

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

**НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ГосНИИ ГА**

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

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ (№ 346)

№ 35

**Москва
2021**

ББК 39.5

НЗ4

Научный вестник ГосНИИ ГА

№ 35

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

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

Учредитель. Издатель. Редакция:

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

Founder, Publisher, Editorial board:

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

Подписной индекс в Объединенном Каталоге
«Пресса России» 70663

© ФГУП Государственный НИИ гражданской авиации, 2021

Редакционная коллегия

- Главный редактор** – Л.Н. Елисов, почетный работник транспорта РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, д-р техн. наук, профессор (ФГУП ГосНИИ ГА)
- Зам. главного редактора** – А.А. Богоявленский, д-р техн. наук (ФГУП ГосНИИ ГА)
- Ответственный секретарь** – И.Б. Губерман, канд. техн. наук (ФГУП ГосНИИ ГА)

Члены редакционной коллегии

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

тел./факс: 8 (495) 956 49 63 (*1018)

e-mail: science@gosniiga.ru

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

Editorial Board

- Chief editor** – Elisov L.N., Honorary Worker of Transport of Russian Federation, Honorary Worker of Higher Education of the Russian Federation, Dr. Sci. (Eng.), Professor, GosNII GA, Moscow, Russian Federation
- Deputy chief editor** – Bogoyavlenskiy A.A., Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation
- Responsible secretary** – Guberman I.B., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation

The members of the Editorial Board

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

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

e-mail: science@gosniiga.ru

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

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

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

№ 35

2021

СОДЕРЖАНИЕ

Эксплуатация воздушного транспорта

Потапенко Ю.А., Лосев А.И. Причины разрушения основного подкоса редукторной рамы вертолета Ми-8Т RA-25611	9
Масленникова Г.Е., Дмитриева С.В., Тажетдинов Р.Р. Исследование изменений расходов топлива ВС отечественной и зарубежной разработки в эксплуатации	17
Разиньков Ф.Ф., Акопян К.Э. Анализ влияния доработок по эксплуатационным бюллетеням на повреждаемость элементов конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8	28
Поваров О.Ю., Арепьев К.А., Попов Д.П. Коррозионное состояние самолетов Ан-28	39
Шарыпов А.Н., Брусникин В.Ю., Коваль С.В., Коньков А.Ю., Семин А.В., Карапетян А.Г. Особенности оценки аутентичности компонентов вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом	50
Благодарящев И.В., Дрозд А.С., Кан А.В., Наумов Р.С., Шапкин В.С. Модель эксплуатации беспилотной авиационной системы при тушении крупных лесных пожаров	59
Егошин С.Ф. Влияние особенностей моделирования пассажирских потоков на выбор оптимального воздушного судна местных воздушных линий	68
Еремин В.А., Глухов Г.Е., Петрухин С.А., Шарыпов А.Н., Коньков А.Ю. Модульный подход в разработке информационной системы мониторинга жизненного цикла компонентов воздушных судов	80
Демин С.С., Калачанов В.Д., Ефимова Н.С., Новиков А.Н. Обеспечение экономической безопасности при финансировании разработки инновационной продукции в авиастроительной отрасли	89
Уткина Е.В. Совершенствование методических подходов к проведению ранжирования пилотных государственных программ Российской Федерации (в сфере транспорта и гражданской авиации)	98

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (на воздушном транспорте)

- Волков А.К., Гладких А.А., Уласюк Т.Г., Заббаров З.Р.** Исследование особенностей распределения внимания операторами досмотра в процессе тренажерной подготовки с применением систем регистрации движения глаз 108
- Дормидонтов А.В., Миронова Л.В., Миронов В.С.** Выбор стратегии противодействия на основе решения многокритериальной задачи нейтрализации угроз на объекте транспортной инфраструктуры 120

Навигация и управление воздушным движением

- Семенов Н.М., Рябинин А.Л., Старцев В.А., Григорин-Рябов В.В., Селиванов А.Ю.** Обобщение опыта эксплуатации бортового оборудования вертолетов типа Ми-8 за период 2014–2019 гг. 131
- Стулов А.В., Кириков Ю.Н., Карасев К.В., Титов А.Н., Ильин А.П., Андриенко О.И.** Состояние внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN), в воздушном пространстве Российской Федерации 142
- Ковтушенко Д.В., Демин Д.С., Никитин А.В.** Подход к формированию полос треугольников для представления элементов аэронавигационной базы данных аэродромов в бортовом формате 152

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF CIVIL AVIATION

No. 35

2021

CONTENTS

Operation of air transport

Potapenko Yu.A., Losev A.I. Reasons for the destruction of the main strut of the gearbox frame of the Mi-8T RA-25611 helicopter	9
Maslennikova G.E., Dmitrieva S.V., Tazhetdinov R.R. Research of changes of fuel consumption of domestic and foreign aircraft in operation	17
Razinkov F.F., Akopyan K.E. Analysis of the impact of improvements to the service bulletins on the damage to the structural elements of the end beams of Mi-8 helicopters	28
Povarov O.Yu., Arep'ev K.A., Popov D.P. Corrosive state of aircraft An-28	39
Sharypov A.N., Brusnikin V.Yu., Koval S.V., Konkov A.Yu., Semin A.V., Karapetyan A.G. Peculiarities of assessing of the authenticity of components of Mi-8/17 type helicopters operated abroad	50
Blagodaryashchev I.V., Drozd A.S., Kan A.V., Naumov R.S., Shapkin V.S. Operating model unmanned aircraft systems in extinguishing large forest fires	59
Egoshin S.F. Influence of passenger flow modeling features on the choice of the optimal aircraft for local airlines	68
Eremin V.A., Glukhov G.E., Petrukhin S.A., Sharypov A.N., Konkov A.Yu. Modular approach in the development of an information system for monitoring the life cycle of aircraft components	80
Demin S.S., Kalachanov V.D., Efimova N.S., Novikov A.N. Ensuring economic security when financing the development of innovative aircraft products	89
Utkina E.V. Improvement of methodological approaches to ranking of pilot state programs of the Russian Federation (in the field of transport and civil aviation)	98

*Safety in emergency situations
(on air transport)*

Volkov A.K., Gladkikh A.A., Ulasyuk T.G., Zabbarov Z.R. Research of peculiarities of attention distribution by aviation security screeners in the process of training with the application of Eye-Tracking registration systems	108
--	-----

Dormidontov A.V., Mironova L.V., Mironov V.S. Choosing a counteraction strategy based on solving a multi-criteria task of neutralizing threats at a transport infrastructure facility.....	120
---	-----

Navigation and air traffic control

Semenov N.M., Ryabinin A.L., Startsev V.A., Grigorin-Ryabov V.V., Selivanov A.Yu. Best practices for operating airborne equipment in Mi-8-type helicopters for the period of 2014–2019	131
---	-----

Stulov A.V., Kirikov Yu.N., Karasev K.V., Titov A.N., Ilyin A.P., Andrienko O.I. Status of performance based navigation (PBN) implementation in the airspace of the Russian Federation	142
---	-----

Kovtushenko D.V., Demin D.S., Nikitin A.V. An approach to formation of triangle strips to represent the elements of the aeronautical database of aerodromes in the flight format	152
---	-----

УДК 629.735.015.4:629.735.45

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ОСНОВНОГО ПОДКОСА РЕДУКТОРНОЙ РАМЫ ВЕРТОЛЕТА МИ-8Т RA-25611

Ю.А. ПОТАПЕНКО, А.И. ЛОСЕВ

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

Аннотация. При выполнении периодического технического обслуживания на вертолете Ми-8Т RA-25611, эксплуатируемом авиакомпанией «ЯМАЛ», произошло разрушение левого переднего основного подкоса чертежный № 8А-0800-10-2 рамы главного редуктора. Ранее в эксплуатации случаев разрушения основных подкосов редукторной рамы на вертолетах семейства Ми-8 зафиксировано не было. В статье приводятся результаты исследования причины разрушения подкоса редукторной рамы. На основе фрактографического анализа, выполненного в том числе на сканирующем электронном микроскопе, показано, что разрушение трубы подкоса имеет многоочаговый многоцикловый усталостный характер и инициировано несплошностью материала в приповерхностном слое трубы, являющейся дефектом обработки материала давлением типа «заков». Особенности разрушения также указывают на наличие в подкосе повышенных растягивающих монтажных напряжений. Длительность усталостного разрушения, рассчитанная на основе результатов измерения шага усталостных микро и макролиний по длине трещины, составила не менее 250 взлетов-посадок вертолета, что в пересчете на среднюю продолжительность полета вертолета после последнего ремонта составляет примерно 180 часов. Согласно Регламенту технического обслуживания вертолета Ми-8 осмотр узлов редукторной рамы выполняется с периодичностью 75 часов, что обеспечивает своевременное выявление разрушения на начальной стадии развития. Выполненные расчеты показывают, что трещина в подкосе редукторной рамы при техническом обслуживании вертолета уже имела, но не была выявлена эксплуатирующим предприятием.

Ключевые слова: трещина, дефект, несплошность, усталость, разрушение, длительность развития трещины

REASONS FOR THE DESTRUCTION OF THE MAIN STRUT OF THE GEARBOX FRAME OF THE MI-8T RA-25611 HELICOPTER

YU.A. POTAPENKO, A.I. LOSEV

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

Abstract. When performing periodic maintenance on the Mi-8T RA-25611 helicopter operated by YAMAL Airlines, the left front main strut drawing no. 8A-0800-10-2 of the main gearbox frame was destroyed. Earlier in operation, there were no cases of destruction of the main struts of the gearbox frame on Mi-8 helicopters. The article presents the results of the study of the cause of the destruction of the gear frame strut. On the basis of the fractographic analysis performed, including on a scanning electron microscope, it is shown that the destruction of the strut pipe has a multi-point multi-cycle fatigue character and is initiated by the discontinuity of the material in the near-surface layer of the pipe, which is a defect in the processing of the material by pressure of the of the «Forging fold» type. The fracture features also indicate the presence of increased tensile mounting stresses in the strut. The duration of fatigue failure, calculated on the basis of the results of measuring the step of fatigue micro and macro lines along the length of the crack, was at least 250 helicopter takeoffs and landings, which in terms of the average duration of the helicopter flight after the last repair is approximately 180 hours. According to the Maintenance Regulations of the

Mi-8 helicopter, the inspection of the gear frame components is carried out at intervals of 75 hours, which ensures timely detection of damage at the initial stage of development. The calculations show that the crack in the gear frame strut during maintenance of the helicopter was already present, but was not identified by the operating company.

Keywords: crack, defect, discontinuity, fatigue, fracture, duration of crack development

Введение

В процессе эксплуатации вертолетов типа Ми-8 в силовых элементах его конструкции возникают различные повреждения, в том числе усталостные трещины и разрушения. Одним из наиболее часто возникающих дефектов являются усталостные трещины на деталях шпангоута № 2 концевой балки [1]. Причины возникновения данных трещин изучены, проанализированы конструктивные мероприятия по их устранению и предотвращению возникновения [2, 3]. Также отмечаются случаи возникновения усталостных разрушений на силовых шпангоутах фюзеляжа № 7 и 10 [4, 5].

На вертолете Ми-8Т RA-25611 авиакомпании «ЯМАЛ» при периодическом техническом обслуживании при опускании вывешенного на подъемниках вертолета раздался резкий хлопок. При последующем осмотре вертолета было выявлено разрушение левого переднего основного подкоса чертежный № 8А-0800-10-21 рамы главного редуктора со смещением частей подкоса друг относительно друга. Ранее при проверке момента затяжки гаек болтов крепления подредукторной рамы к фюзеляжу дефектов выявлено не было. Такое разрушение в эксплуатации произошло впервые.

Постановка задачи

Впервые выявленное разрушение подкоса редукторной рамы вертолета типа Ми-8, которое непосредственно влияет на безопасность полетов, потребовало проведения исследования для установления причин разрушения и его длительности.

Методы исследования

Для установления причин и длительности разрушения левого переднего основного подкоса чертежный № 8А-0800-10-2 рамы главного редуктора был выполнен комплекс исследований, включающий в себя следующие работы:

- изучение технического состояния объекта исследования;
- магнитопорошковый неразрушающий контроль;
- фрактографические исследования изломов;
- анализ статистических данных по аналогичным дефектам;
- обобщение результатов исследования.

Материалы исследования

Конструктивно основной передней подкос является трубой (чертежный № 8А.0800.012¹) с приваренными с одной стороны лапой, которая крепится к шпангоуту № 7 центральной части фюзеляжа, и с другой стороны – вилки, которая крепится к лапе, установленной на редукторе. Рассматриваемая труба изготавливается из трубы А50х3 ГОСТ 8734—75² из стали 30ХГСА, имеющей наружный диаметр 50 мм и толщину стенки 3 мм. В зонах приварки лапы и вилки с каждого края трубы выполняется усиление – утолщение трубы с основного диаметра 50 мм до диаметра 54 мм.

¹ Конструкторская документация на изготовление вертолета Ми-8. «Московский вертолетный завод им. М.И. Миля».

² ГОСТ 8734—75 Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.

Изучение подкоса показало, что его разрушение произошло по трубе (чертеж № 8А.0800.012) по границе наружного диаметра 50 мм и галтельного перехода (R20) к усилению с наружным диаметром 54 мм у лапы крепления к фюзеляжу вертолета. Вблизи зоны разрушения на подкосе деформации механические или коррозионные повреждения отсутствуют. Выполненный контроль магнитопорошковым методом [6] фрагментов подкоса вблизи с зоной его разрушения дефектов не выявил.

Изучение изломов на макроуровне с применением бинокулярного микроскопа с увеличением до 90 крат показало следующее.

Излом можно условно разделить на три основные зоны (рис. 1).

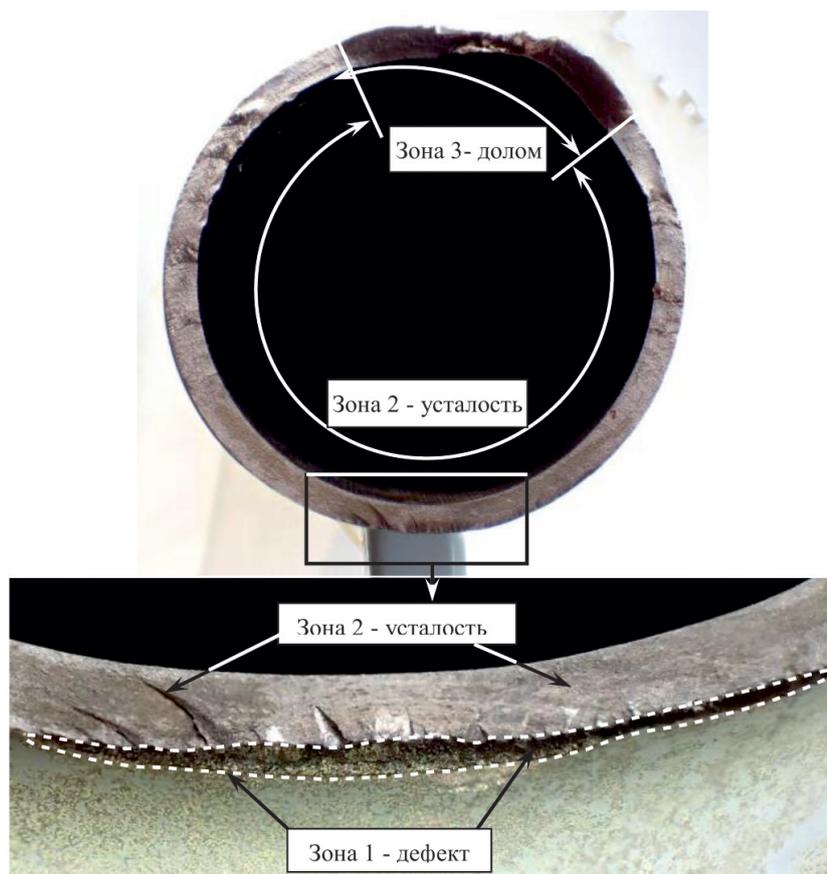


Рис. 1. Вид излома (с указанием различных зон разрушения) левого переднего основного подкоса 8А-0800-10-2 редукторной рамы вертолета Ми-8Т RA-25611

Зона 1. Представляет собой вскрывшуюся несплошность материала и имеет протяженность примерно 25 мм по наружной поверхности. Вглубь материала размер данной зоны варьируется от 0,3 до 1,1 мм. При этом указанная зона располагается под углом примерно 22° к образующей наружной поверхности трубы. Поверхность вскрывшейся несплошности окислена до темно-серого цвета и имеет рельеф в виде полос скольжения, расположенных в направлении образующей трубы. Признаки разрушения материала в данной зоне отсутствуют. Такое состояние поверхности несплошности материала характерно для дефекта обработки материала давлением типа «заков» [7].

Усиление (утолщение) трубы, по границе которого произошло разрушение, в соответствии с требованиями чертежа № 8А.0800.012 выполняется высадкой на горизонтально-ковочной машине или электро-высадной машине. Труба исследуемого подкоса не имеет по внутреннему

диаметру ступеньки, характерной для способа ее изготовления на горизонтально-ковочной машине. Это указывает, что труба изготовлена на электро-высадной машине.

Зона 2. Представляет собой участок усталостного разрушения, расположенный перпендикулярно образующей трубы. Усталостное разрушение развивалось от множества очагов, располагавшихся на границе несплошности зоны 1. Развивавшиеся от различных очагов самостоятельные усталостные трещины по мере развития разрушения сливались в одну магистральную трещину, образуя характерные ступеньки на изломе.

Зона 3. Представляет собой зону долома и характеризуется наличием сколов от пластической деформации материала. Протяженность долома составляет около 30 мм по наружной поверхности трубы, что соответствует примерно 20 % поперечного сечения трубы.

Фрактографическое исследование с применением электронного сканирующего микроскопа подтвердило, что разрушение трубы имеет многоочаговый усталостный характер. Очаги усталости располагаются на границе с зоной дефекта (рис. 2). Зона дефекта имеет сглаженный рельеф, покрытый продуктами окисления, без признаков разрушения материала.

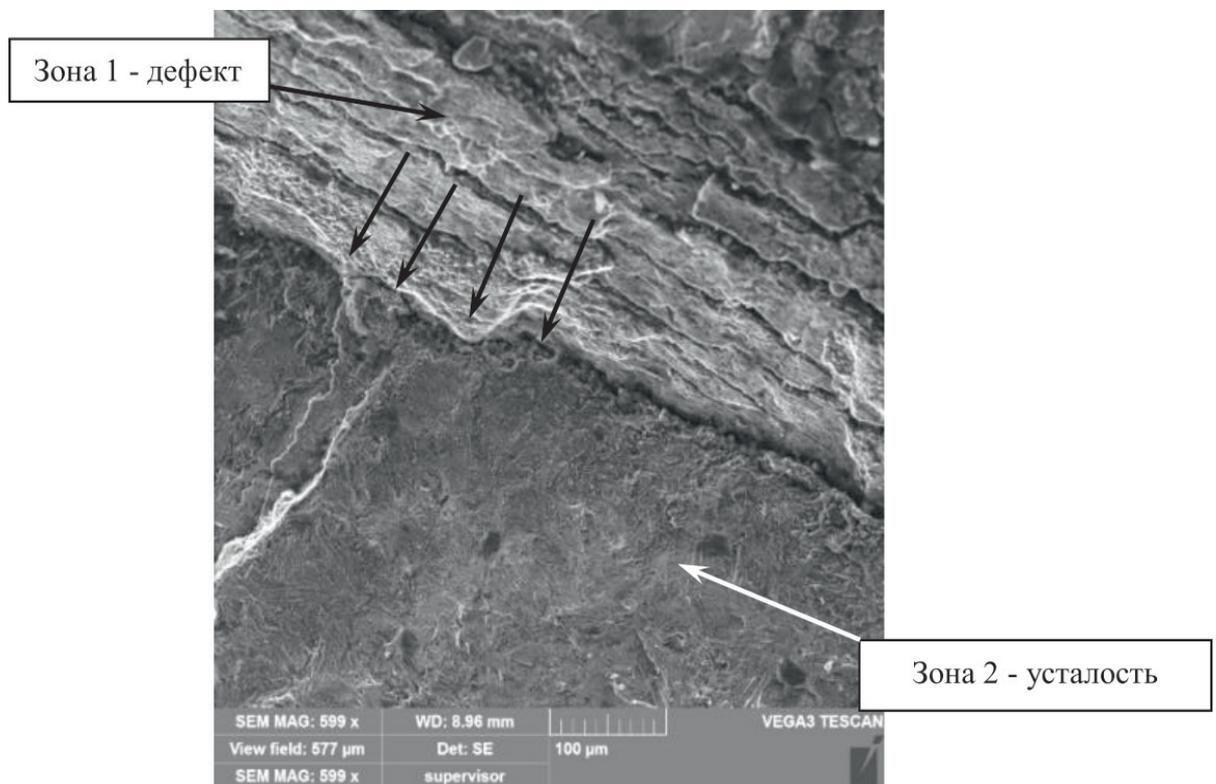


Рис. 2. Вид начальной зоны развития усталости, расположенной на границе с зоной дефекта (очаги усталости указаны стрелками)

Усталостный излом имеет рельеф типа «строчечность», характерный для разрушения металлических материалов в области многоциклового усталости [8, 9]. На изломе выявлены регулярные усталостные линии (рис. 3), образование которых связано с резкой сменой напряженного состояния материала перед фронтом трещины. По мере удаления от очаговой зоны в процессе развития магистральной трещины от усталостных линий стали формироваться зоны ее статического проскальзывания, характеризующиеся ямочным рельефом излома. Зоны статического проскальзывания отчетливо наблюдаются в срединных слоях материала (рис. 3), где стеснение пластической деформации материала выше, чем у поверхностей.

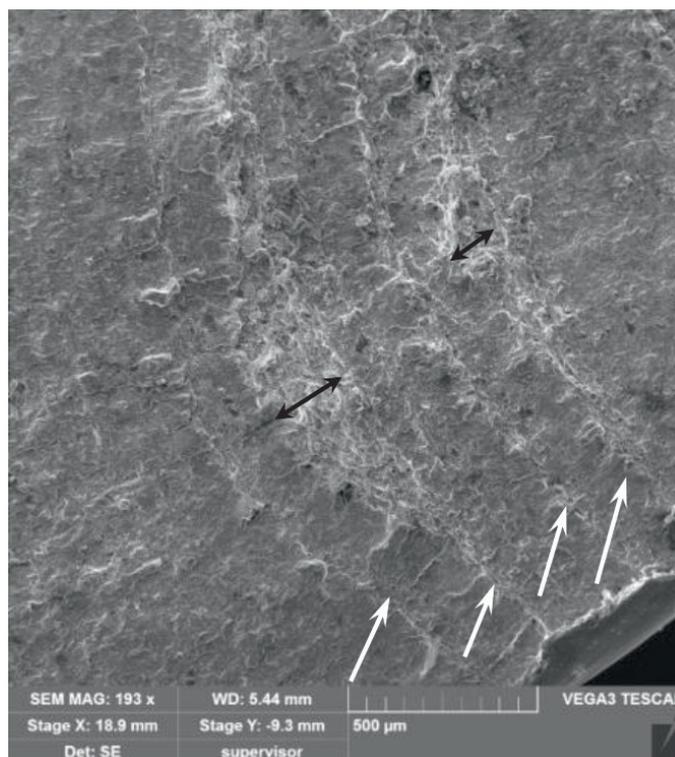


Рис. 3. Вид усталостного излома с рельефом типа «строчечность» и усталостными микролиниями (указаны белыми стрелками); зоны статического проскальзывания с ямочным рельефом в срединных слоях материала (указаны черными стрелками)

Измерение твердости материала (сталь 30ХГСА) трубы показало, что среднее значение твердости составляет $HV30 = 321$. Такая твердость соответствует пределу прочности $\sigma_B = 105 \text{ кг/мм}^2$, что удовлетворяет требованиям, заданным чертежом на изготовление (по ТУ $\sigma_B = 100 \dots 120 \text{ кг/мм}^2$).

Измерение основных геометрических размеров трубы не выявило отклонений в ее изготовлении. Наружный диаметр трубы составляет 50,1 мм (по ТУ чертежа – $\varnothing 49,6 \dots 50,4 \text{ мм}$), толщина стенки трубы вблизи зоны разрушения составляет 3,1 мм (по ТУ чертежа – $2,7 \dots 3,3 \text{ мм}$). В зоне усиления наружный диаметр трубы составляет $\varnothing 53,8 \dots 53,9 \text{ мм}$ (по ТУ чертежа – $\varnothing 53,65 \dots 55,5 \text{ мм}$).

Для оценки длительности усталостного разрушения был выполнен подсчет количества усталостных линий, имеющих на изломе. Усталостные линии образуются на этапах существенного изменения напряженности материала в вершине трещины. Детали редукторной рамы, в том числе передний основной подкос, воспринимают растягивающую нагрузку со стороны несущего винта в процессе всех этапов полета вертолета и сжимающую нагрузку от веса самого редуктора и элементов несущей системы при его стоянке на земле. Поэтому с достаточной для практики исследований точностью можно принять, что каждый участок излома между двумя соседними усталостными линиями отвечает приращению усталостной трещины между двумя последовательными взлетами-посадками вертолета, а количество усталостных линий соответствует числу взлетов-посадок вертолета. Указанный принципиальный подход к измерению скорости развития усталостных трещин представлен в работе [10].

Длительность усталостного разрушения была рассчитана по результатам измерения шага усталостных микро- и макролиний по длине трещины и дальнейшего определения суммарного количества усталостных линий на изломе трещины (рис. 4).

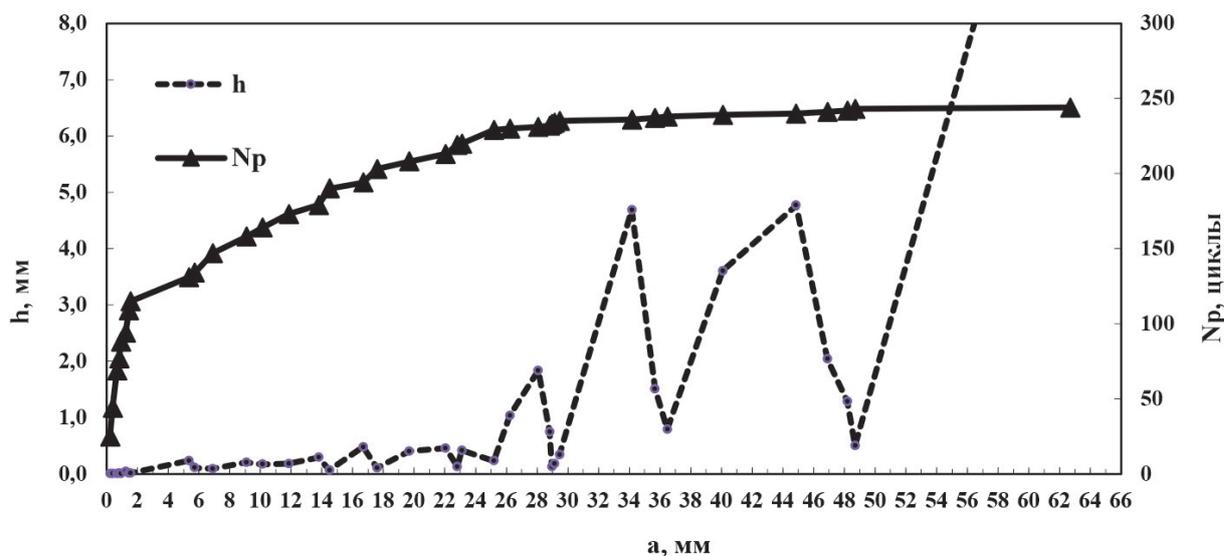


Рис. 4. Зависимости шага усталостных линий – h и длительности развития разрушения – N_r от длины усталостной трещины – a

В результате измерений и расчетов было получено, что суммарная длительность усталостного разрушения подкоса составляет не менее 250 взлетов-посадок вертолета.

Вместе с тем обращают на себя внимание следующие особенности разрушения подкоса редукторной рамы вертолета:

- во-первых, окончательное разрушение (долом) подкоса произошло на стоянке, когда вертолет не работал;
- во-вторых, после разрушения фрагменты подкоса сместились (разошлись) вдоль оси на 2–3 мм друг от друга;
- в-третьих, поверхности ответных изломов не имеют повреждений в виде взаимного истирания, характерного для знакопеременного нагружения (растяжения-сжатия) деталей.

Данные особенности разрушения указывают на действие в подкосе повышенных монтажных растягивающих напряжений, обеспечивающих растяжение подкоса даже при стоянке вертолета, когда в подкосе должны были действовать только сжимающие напряжения от собственного веса главного редуктора и деталей несущей системы.

На основе данных, которыми располагает ФГУП ГосНИИ ГА, случаев разрушения или выявления трещин основных и прицепных подкосов редукторной рамы вертолетов семейства Ми-8 ранее не наблюдалось. По информации АО «НЦВ Миль и Камов» ранее имели место случаи отбраковки подкосов по аналогичным дефектам при производстве на заводе-изготовителе.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что разрушение левого основного переднего подкоса чертежный № 8А-0800-10-2 редукторной рамы имеет многоочаговый усталостный характер. Разрушение обусловлено наличием в приповерхностном слое трубы дефектной зоны в виде несплошности материала в сочетании с воздействием на подкос повышенных монтажных растягивающих напряжений. Несплошность материала представляла собой дефект обработки материала давлением типа «заков».

Длительность развития усталостной трещины составляет не менее 250 полетных циклов нагружения. При средней продолжительности полета вертолета после последнего ремонта 43 минуты длительность развития разрушения составила около 180 часов.

В соответствии с пунктом 2.05.02 Регламента технического обслуживания вертолета типа Ми-8 осмотр узлов редукторной рамы (нижних и верхних) по всем проушинам и кольцевой сварке труб с узлами производится с периодичностью 75 часов. С учетом имеющейся длительности развития разрушения такая периодичность достаточна для своевременного выявления разрушения на начальной стадии развития.

На момент осмотра подкоса при техническом обслуживании вертолета, размер трещины по наружной поверхности составлял около 120 мм, но она не была выявлена. В связи с этим, эксплуатирующей организации необходимо более тщательно выполнять осмотр редукторной рамы по Регламенту технического обслуживания, чтобы исключить случаи пропуска трещин.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Потапенко Ю.А., Трофимов Г.М., Разиньков Ф.Ф. Уточнение периодичности осмотра шпангоута № 2 концевой балки вертолета типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15. С. 92–97.

3. Разиньков Ф.Ф., Акопян К.Э. Анализ эффективности доработок, направленных на предотвращение усталостных повреждений элементов конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 26. С. 19–26.

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

5. Потапенко Ю.А., Лосев А.И. Анализ особенностей разрушения шпангоута № 10 фюзеляжа вертолета Ми-8МТВ-1 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 20. С. 52–62.

6. ГОСТ Р 56512—2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы. 76 с.

7. ГОСТ Р 57511—2017. Поковки и штамповки из алюминиевых сплавов. Термины и определения дефектов. 27 с.

8. Шаняевский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. Уфа: ООО «Монография», 2007. 500 с.

9. Клевцов Г.В., Ботвина Л.Р., Клевцова Н.А., Лимарь Л.В. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций: учебное пособие для вузов. М.: МИСиС, 2007. 264 с.

10. Чегуров М.К., Сорокина С.А. Основы фрактографического анализа изломов образцов из конструкционных сплавов: учебное пособие. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. 79 с.

REFERENCES

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

2. Potapenko Yu.A., Trofimov G.M., Razinkov F.F. Clarification of the frequency of inspection of the frame No. 2 of the end beam of the Mi-8 helicopter. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2016, no. 15, pp. 92–97. (In Russian).

3. Razinkov F.F., Akopyan K.E. Analysis of the effectiveness of improvements aimed at preventing fatigue damage to the structural elements of the end beams of Mi-8 helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII*

GA = *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 26, pp. 19–26. (In Russian).

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

5. Potapenko Yu.A., Losev A.I. Analysis of the features of the destruction of the frame No. 10 of the fuselage of the Mi-8MTV-1 helicopter. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2018, no. 20, pp. 52–62. (In Russian).

6. GOST R 56512–2015. Non-destructive testing. Magnetic powder method. Standard technological processes. 76 p. (In Russian).

7. GOST R 57511–2017. Aluminium alloy open and closed die forgings. Terms and definitions of defects. 27 p. (In Russian).

8. Shanyavskiy A.A. *Modelirovanie ustalostnykh razrushenij metallov. Sinergetika v aviatsii* [Modeling of metal fatigue failure. Synergetics in aviation]. Ufa, Monografiya Publ., 2007, 500 p. (In Russian).

9. Klevtsov G.V., Botvina L.R., Klevtsova N.A., Lyamar L.V. *Fraktodiagnostika razrusheniya metalicheskikh materialov i konstruksij. Uchebnoe posobie* [Fractodiagnosics of destruction of metal materials and structures. A textbook for universities]. Moscow, MISiS Publ., 2007, 264 p. (In Russian).

10. Chegurov M.K., Sorokina S.A. *Osnovy fraktograficheskogo analiza izlomov obraztsov iz konstruksionnykh splavov. Uchebnoe posobie* [Basis of fractographic analysis of the fractured specimens of structural alloys. Textbook]. Nizhnij Novgorod, NSTU named after R.E. Alekseev Publ., 2018, 79 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапенко Юрий Александрович, начальник сектора, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корп. 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: potapenko_ua@ncplg.ru.

Лосев Александр Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корп. 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: alivlos@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Potapenko Yury A., Head of the Sector, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: potapenko_ua@ncplg.ru.

Losev Alexandr I., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: alivlos@mail.ru.

УДК 662.75.012.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ РАСХОДОВ ТОПЛИВА ВС ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ РАЗРАБОТКИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Г.Е. МАСЛЕННИКОВА, С.В. ДМИТРИЕВА, Р.Р. ТАЖЕТДИНОВ

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

Аннотация. В статье описаны результаты исследования массивов оценок расходов топлива, полученных в рейсовых полетах самолетов типа Ан-148, Ту-204-300 и Ту-214, RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100) и А-319-115SJ. Для каждого типа рассматривалась связь изменения расходов топлива с наработками планера и двигателей с начала эксплуатации, а также математическое ожидание и стандартное отклонение массива оценок. Математическое ожидание в данном случае характеризует среднее смещение оценки расходов относительно данных эксплуатационной документации (Руководства по летной эксплуатации (РЛЭ) или Flight Crew Operation Manual), а стандартное отклонение массива оценок – погрешность методики оценки. Наличие значимых коэффициентов корреляции оценок расходов топлива с некоторыми параметрами полета косвенным образом свидетельствует о несоответствии данных РЛЭ фактическим изменениям характеристик при изменении этих параметров. Оценки расходов топлива самолета Ту-204 имеют значимые коэффициенты корреляции с высотой полета, а оценки RRJ-95 – с полетной массой. Одним из наиболее важных результатов выполненных исследований является то, что расходы топлива современных самолетов изменяются по мере наработки планера и двигателей существенно меньше, чем аналогичные показатели самолетов предыдущих поколений.

Ключевые слова: расход топлива, распределение, коэффициент корреляции, параметры полета, среднестатистическое отклонение, влияние наработки, погрешность оценки, Руководство по летной эксплуатации

RESEARCH OF CHANGES OF FUEL CONSUMPTION OF DOMESTIC AND FOREIGN AIRCRAFT IN OPERATION

G.E. MASLENNIKOVA, S.V. DMITRIEVA, R.R. TAZHETDINOV

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

Abstract. The article describes the results of the study of arrays of fuel consumption estimates obtained in the cruise flights of the An-148, Tu-204-300 and Tu-214, RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100) and A-319-115SJ aircraft. For each type, we considered the relationship between the change in consumptions and the operating time of the airframe and engines since the beginning of operation, as well as the mathematical expectation and standard deviation of the array of estimates. In this case, the mathematical expectation characterizes the average bias of the cost estimate relative to the data of the operational documentation (Flight Crew Operation Manual), and the standard deviation of the array of estimates is the error of the estimation method. The presence of significant correlation coefficients of estimates of fuel consumption with flight parameters indirectly indicates the inadequacy of the data presented in the documentation to the actual changes in characteristics. The estimates of the fuel consumption of the Tu-204 aircraft have significant correlation coefficients with the flight altitude, and the estimates of the RRJ-95- with the flight weight. One of the most important results of the research carried out is that the fuel consumption of modern aircrafts changes with

the development of the airframe and engines significantly less than similar indicators of aircrafts of previous generations.

Keywords: fuel consumption, distribution, correlation coefficient, average statistical deviation, flight parameters, impact of operating time, estimation error, Airplane flight manual

Введение

Проблема исследования изменения характеристик самолетов в процессе эксплуатации имеет большую историю. Особый интерес представляют вопросы изменения расходов топлива. Изучение причин и характера изменения расходов топлива сопровождает всю историю бурного развития гражданской авиации от 60-х годов прошлого века и до наших дней [1, 2]. О наличии так называемого «фактора деградации» (увеличения расходов топлива в процессе наработки) свидетельствует в том числе и нормативный документ авиационной администрации [3].

В 70-х годах прошлого века было проведено большое количество работ по исследованию влияния наработки на характеристики различных агрегатов силовой установки и планера, следствием чего явилась возможность эксплуатации авиационной техники по состоянию с плановой заменой агрегатов и систем по мере наработки ресурса, изменяющего функциональные характеристики систем [4]. Результатом этой работы, а также постоянного совершенствования авиационной техники, технологии производства и авиационных материалов явилось как увеличение ресурсов и сроков службы гражданских воздушных судов, так и уменьшение степени зависимости изменения их характеристик от наработок планера и двигателей.

В статье рассматривается характер и количественные оценки изменения расходов топлива в процессе эксплуатации современных воздушных судов на примере нескольких отечественных и зарубежных типов ВС. Используемые массивы данных оценок расходов топлива получены в процедуре сертификации экземпляра ВС [5] на основе методик, разработанных в ГосНИИ ГА [6].

Самолет Ан-148

В базе полетов, собранной ГосНИИ ГА в процессе выполнения оценок летных характеристик для процедуры сертификации экземпляра ВС, присутствуют данные по оценкам расходов топлива в 157 полетах двенадцати экземпляров самолетов Ан-148. Полеты выполнялись в период с 2012 по 2021 год. Плотность распределения оценок расходов топлива в выполненных полетах и основные статистические характеристики массива оценок представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что среднее отклонение оценки часовых расходов топлива от данных РЛЭ составляет 1,1 %, а стандартное отклонение оценок от среднего значения 2,9 %. Стандартное отклонение в данном случае вполне можно рассматривать, как погрешность методики оценивания, включающую в себя погрешность измерения, погрешность моделирования данных РЛЭ и погрешность самих данных РЛЭ. Отклонение от среднего значения, превышающее стандартное отклонение, вполне можно оценивать как вероятность наличия каких-либо особенностей данного полета или данного самолета, влияющих на изменения расходов топлива. О наличии систематических погрешностей в данных РЛЭ может свидетельствовать тот факт, что массив результатов оценивания имеет значимые коэффициенты корреляции с такими параметрами полета, как высота полета ($K = 0,2$) и полетная масса ($K = 0,31$).

Таблица 1

Основные характеристики массива оценок расходов топлива Ан-148

Статистические характеристики массива оценок		
Математическое ожидание	1,1	
Стандартное отклонение	2,9	
Связь результатов оценивания с параметрами модели		
Параметры	Коэффициент корреляции	Коэффициент регрессии
Высота полета	0,23	1,143
Скорость полета	0,06	-
Полетная масса	0,31	0,481
Отклонение температуры от СА ^{*)}	-0,03	-
Связь результатов оценивания с наработками планера и двигателей в часах		
Нарботка планера, СНЭ ^{**)}	0,52	0,0003
Средняя наработка двигателей, СНЭ	0,5	0,0004

Примечания:

^{*)} – стандартная атмосфера;

^{**)} – с начала эксплуатации.

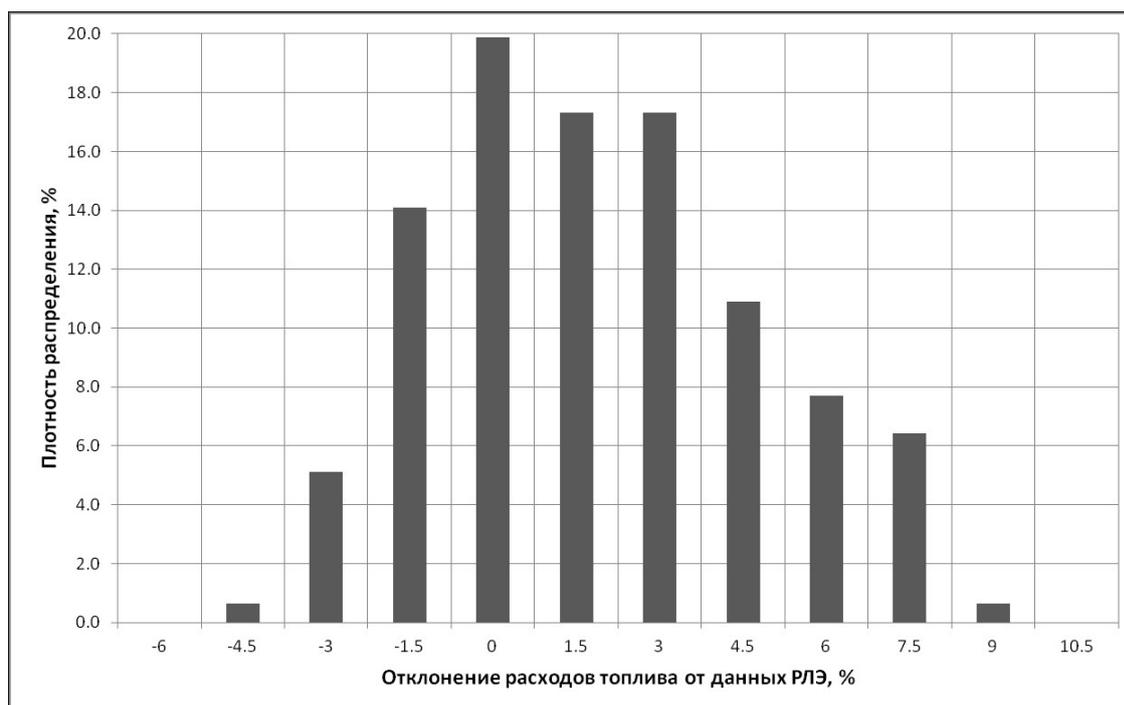


Рис. 1. Распределение оценок расходов топлива самолетов Ан-148

То есть фактический рост часового расхода топлива при изменении полетной массы и высоты полета превышает рассчитанный по данным РЛЭ. Это может быть связано с погрешностями в расчетных высотно-скоростных характеристиках двигателей и аэродинамическом качестве самолета.

На рис. 2 и рис. 3 зависимости изменения расходов топлива от наработки планера и двигателей представлены в графическом виде. Следует отметить, что в исследуемом массиве данных коэффициент взаимной корреляции наработок планера и двигателей составил 0,97. Таким

образом, выделить отдельно влияние наработки планера или наработки двигателей на увеличение расходов топлива не представляется возможным. Но наиболее вероятна связь изменения расходов топлива именно с наработкой двигателей, так как трудно предположить причины увеличения на 3 % лобового сопротивления планера при наработке порядка 10 000 часов.

Следует отметить, что полученный результат по изменению расходов топлива в процессе наработки косвенно свидетельствует о конструктивном и технологическом совершенстве современных авиадвигателей, так как аналогичные исследования, проведенные для самолетов прошлых поколений, говорили о существенно более значимом влиянии наработки на увеличение расходов. Количественная оценка влияния, характеризуемая коэффициентом регрессии для самолетов прошлого поколения, составляла 8 % на 10 тысяч часов наработки [2, 3], что в два раза больше, чем увеличение расходов современных самолетов.

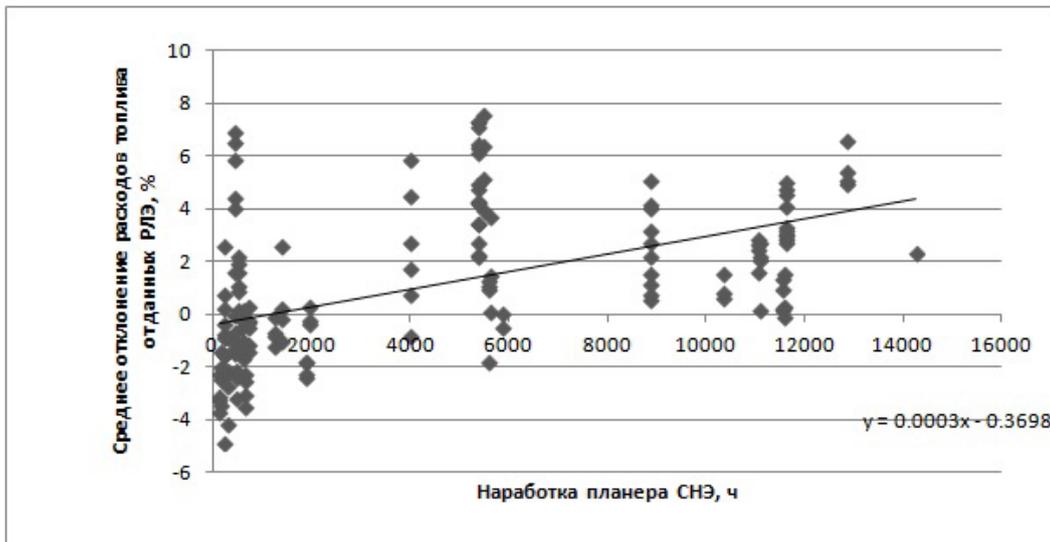


Рис. 2. Влияние наработки планера самолета Ан-148 на изменение расходов топлива

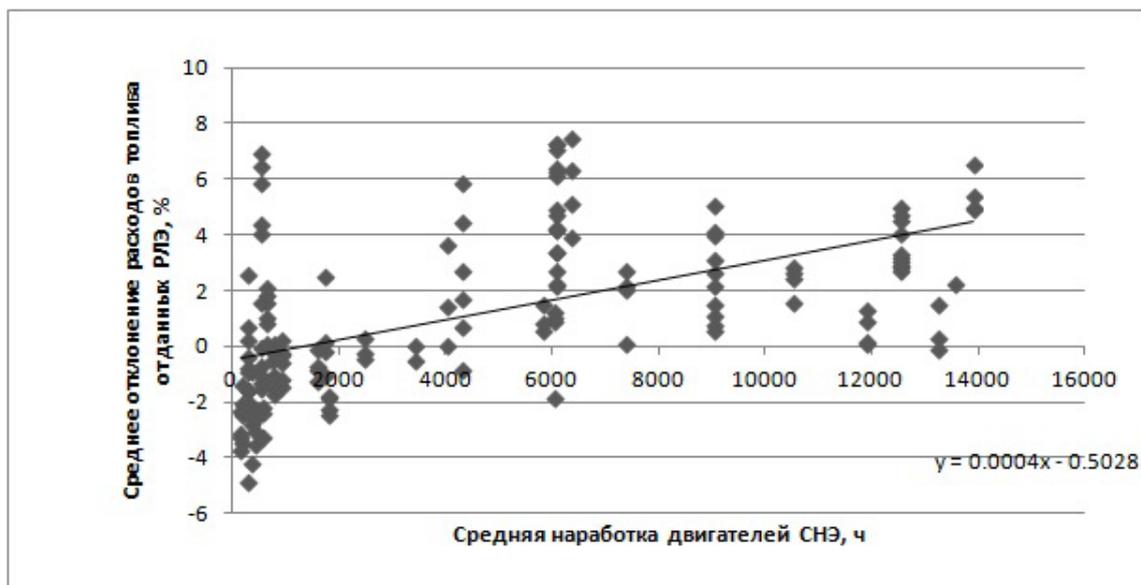


Рис. 3. Влияние наработки двигателей самолета Ан-148 на изменение расходов топлива

Самолеты Ту-204 (Ту-214)

Так как номограммы для характеристик удельной дальности самолетов типа Ту-204-300 и Ту-214, приведенные в РЛЭ [7, 8], идентичны, массивы данных этих двух типов самолетов анализировались вместе.

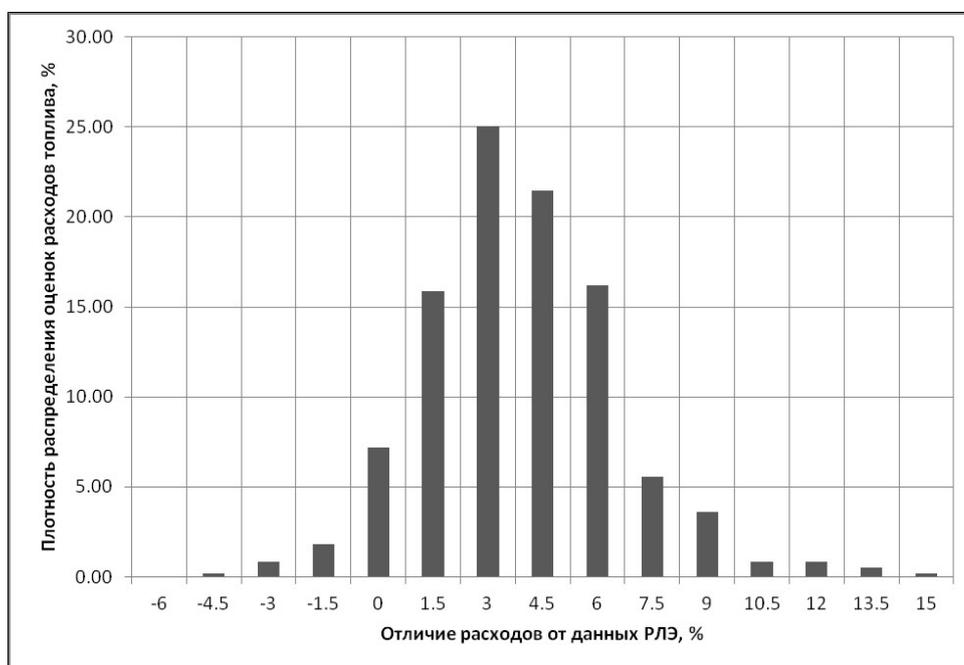


Рис. 4. Распределение оценок расходов топлива самолетов Ту-204 (Ту-214)

На рис. 4 представлена гистограмма распределения отклонений расходов топлива от данных РЛЭ по данным 611 полетов 38 экземпляров самолетов типа Ту-204 (Ту-214), а в табл. 2 представлены основные характеристики массива данных.

Таблица 2

Основные характеристики массива оценок расходов топлива самолетов Ту-204 (Ту-214)

Статистические характеристики массива оценок		
Математическое ожидание	3,1	
Стандартное отклонение	2,7	
Связь результатов оценивания с параметрами модели		
Параметры	Коэффициент корреляции	Коэффициент регрессии
Высота полета	0,35	1,64
Скорость полета	0,17	0,007
Полетная масса	0,03	-
Отклонение температуры от СА	0,08	-
Связь результатов оценивания с наработками планера и двигателей в часах		
Наработка планера, СНЭ	0,49	0,0002
Средняя наработка двигателей, СНЭ	0,39	0,0003

Согласно данным табл. 2 полученные массивы оценок имеют значимый коэффициент корреляции (0,35) с высотой полета. Таким образом, используемая методика оценки часовых

расходов топлива относительно данных РЛЭ не дает возможность сделать оценку, не зависящую от высоты крейсерского полета, так как с ростом высоты полета увеличивается отклонение фактических расходов топлива от данных РЛЭ. Этот факт может быть связан с доработкой двигателей РС-90, а именно доработкой РЭД-90 с уточнением законов регулирования оборотов КВД для увеличения ресурса горячей части двигателя [9].

На рис. 5 и рис. 6 зависимости изменения расходов топлива от наработки планера и двигателей представлены в графическом виде. Следует отметить, что в исследуемом массиве данных коэффициент взаимной корреляции наработок планера и двигателей существенно меньше, чем в массиве данных самолетов Ан-148 и составляет 0,7. Таким образом, можно с определенной степенью вероятности судить об отдельном влиянии наработки планера и наработки двигателей на увеличение расходов топлива. В ранних исследованиях, проведенных в ГосНИИ ГА, опубликованы материалы, указывающие на отсос правого элерона-интерцептора в полете как на одну из причин увеличения часового расхода топлива [10]. Вероятно, именно этот конструктивный недостаток является источником зависимости изменения расходов топлива от наработки планера самолетов Ту-204 (Ту-214).

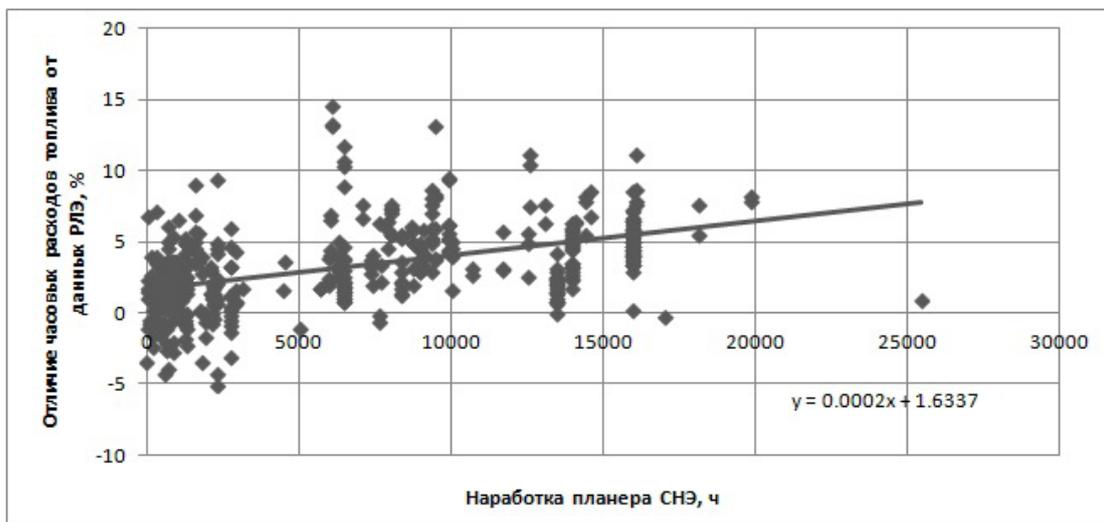


Рис. 5. Влияние наработки планера СНЭ на изменение расходов топлива самолетов Ту-204 (Ту-214)

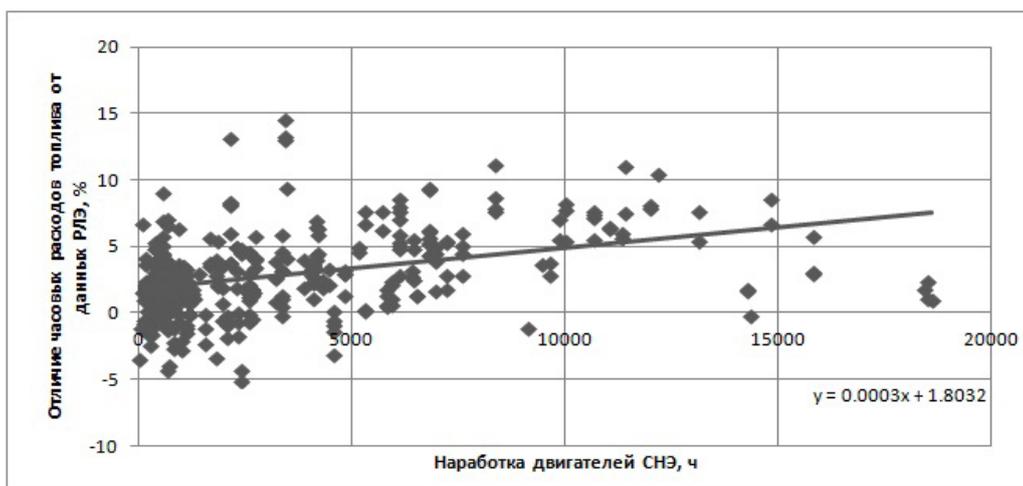


Рис. 6. Влияние наработки двигателей СНЭ на изменение расходов топлива самолетов Ту-204 (Ту-214)

Самолет RRJ-95

Распределение оценок расходов топлива восемнадцати экземпляров самолетов RRJ-95 в 108 рейсовых полетах представлено на рис. 7, статистические характеристики массива оценок – в табл. 3.

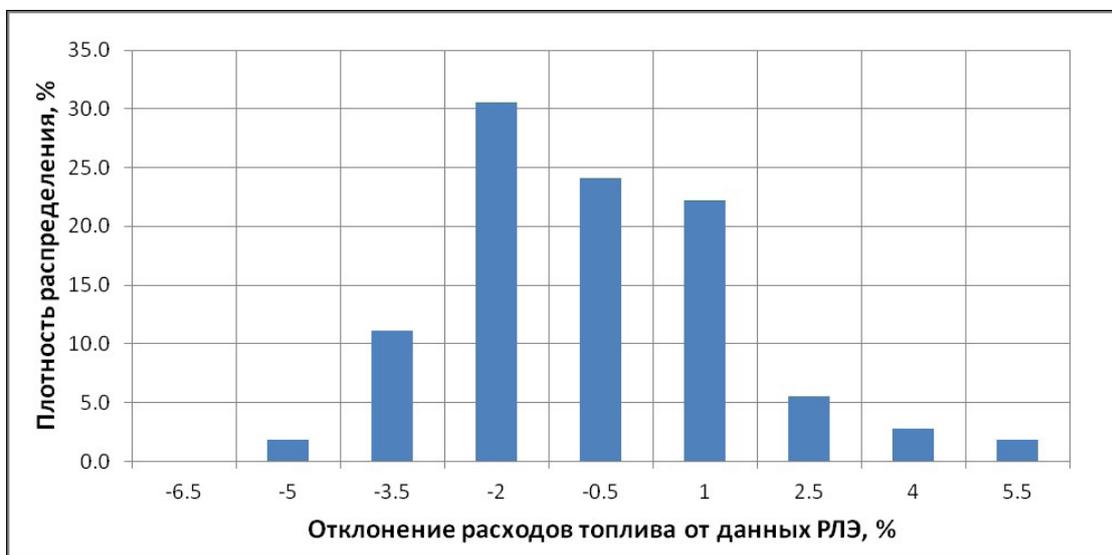


Рис. 7. Распределение оценок расходов топлива самолетов RRJ-95

Таблица 3

Основные характеристики массива оценок расходов топлива самолетов RRJ-95

Статистические характеристики массива оценок		
Математическое ожидание	-0,04	
Стандартное отклонение	1,9	
Связь результатов оценивания с параметрами модели		
Параметры	Коэффициент корреляции	Коэффициент регрессии
Высота полета	0,02	-
Скорость полета	0,05	-
Полетная масса	0,45	0,3
Отклонение температуры от СА	-0,04	-
Связь результатов оценивания с наработками планера и двигателей в часах		
Нарботка планера, СНЭ	0,65	0,0004
Средняя наработка двигателей, СНЭ	0,66	0,0005

Анализируя данные табл. 3, можно отметить, что использованная для оценки характеристик экземпляра модель типовых расходов топлива, построенная по данным РЛЭ, имеет значимый (0,45) коэффициент корреляции с таким параметром как полетная масса самолета. Возможны две причины наличия связи результатов оценивания с одним из параметров полета:

- ошибки построения модели;
- погрешности представления характеристик в номограммах РЛЭ.

В данном случае наиболее вероятной является вторая причина, так как проверка моделированных значений не выявила рассогласований с данными, приведенными в РЛЭ выпуска апреля 2011 года, однако анализ данных о расходах топлива, приведенных в РЛЭ

различных годов издания, выявил наличие расхождений, в том числе по характеру изменения расходов при изменении полетной массы (рис. 8).

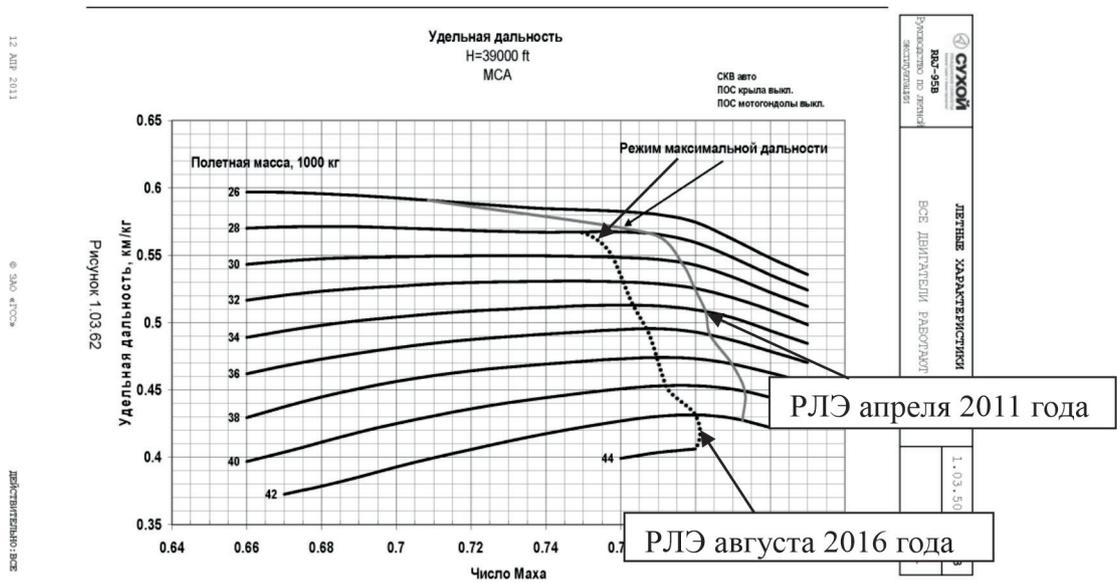


Рис. 8. Расхождения в данных РЛЭ различных годов издания

Наличие существенно больших по сравнению с самолетами Ан-148 и Ту-204 коэффициентов корреляции результатов оценивания с наработками планера и двигателей объясняется тем, что максимальные наработки экземпляров в исследуемом массиве не превышают 10 000 часов, в то время как максимальные наработки Ан-148 составляют 15 000 часов, а Ту-204 – 20 000 часов.

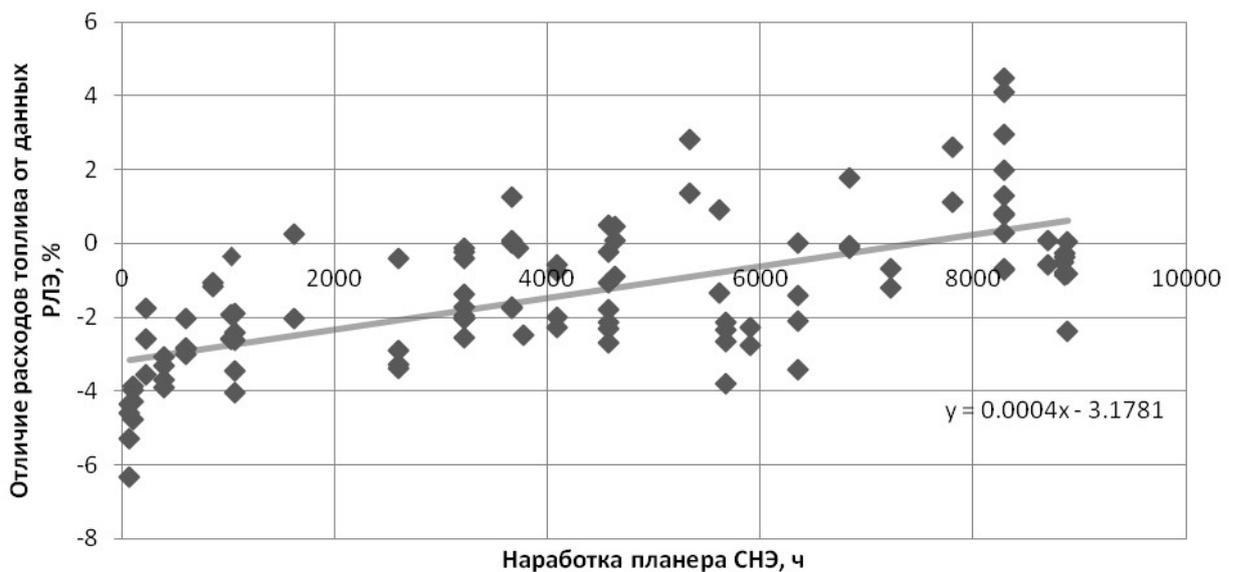


Рис. 9. Влияние наработки планера RRJ-95В на изменение расходов топлива

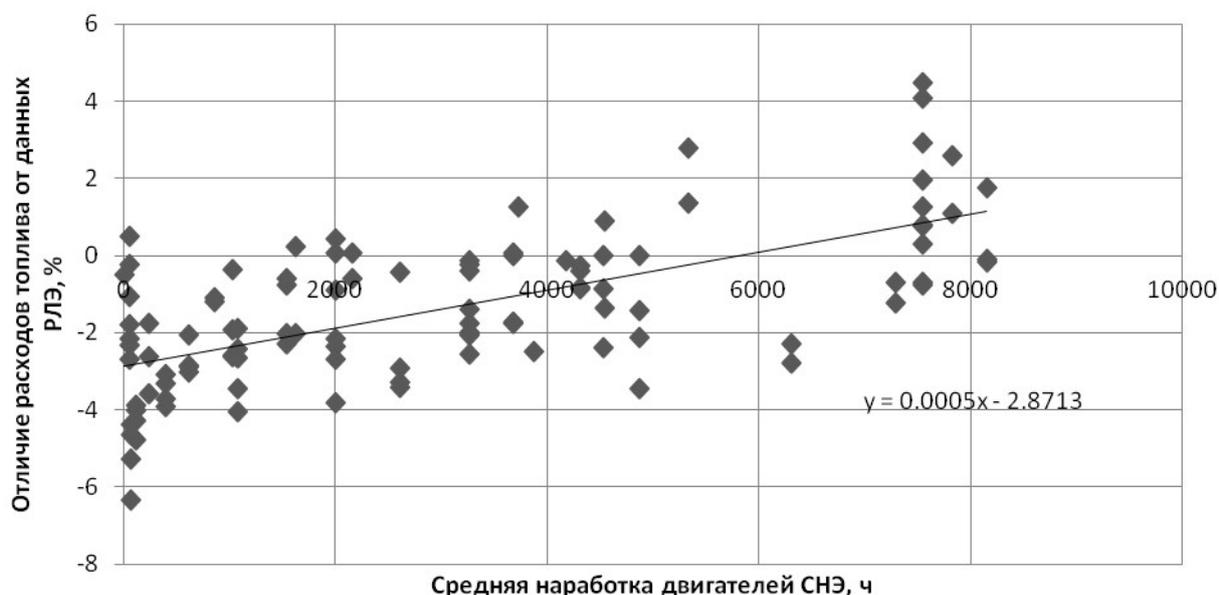


Рис. 10. Влияние средней наработки двигателей СНЭ RRJ-95В на изменение расходов топлива

Самолет А-319-115SJ

Для сравнения изменения оценок расходов топлива в процессе наработки, полученных на самолетах, спроектированных и построенных в РФ и Украине, были проанализированы изменения расходов топлива самолета европейского производства А-319-115SJ. Изучение изменений характеристик самолетов этого типа связано с определенными трудностями административного характера, так как абсолютное большинство самолетов этого типа, эксплуатируемых в РФ, зарегистрированы в других странах (в основном на Бермудских островах) и в соответствии с международными правилами, авиационная администрация России не вправе вмешиваться в процедуры поддержания их летной годности.

Таким образом, база данных оценок летных характеристик, созданная в процессе выполнения работ по оценке летных характеристик в процедуре сертификации экземпляра ВС, содержит данные о характеристиках только двух экземпляров самолетов этого типа, имеющих российскую регистрацию. Однако оценка характеристик этих экземпляров выполнялась регулярно каждые два года с 2014 года по данным нескольких рейсовых полетов, и таким образом был получен массив данных для 31 полета, которые выполнялись на протяжении последних 6 лет эксплуатации. Результаты, полученные при анализе материалов этого массива, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики массива оценок расходов топлива самолетов А-319-115SJ

Статистические характеристики массива оценок		
Математическое ожидание	1,67	
Стандартное отклонение	2,76	
Связь результатов оценивания с наработками планера и двигателей в часах		
Нарботка планера, СНЭ	0,46	0,0017

Следует отметить, что на обоих экземплярах самолетов этого типа на протяжении исследуемого периода эксплуатации двигатели не менялись, поэтому связь изменения оценок расходов топлива отдельно с наработкой двигателей не оценивалась.

Из данных (табл. 4), видно, что, как и у самолетов отечественной разработки, у самолетов А-319-115SJ также наблюдается смещение оценки расходов топлива в сторону увеличения, стандартное отклонение оценки находится в пределах 2-3 %, однако количественно тенденция к увеличению расходов по мере наработки оценивается коэффициентом, существенно большим, чем для остальных исследованных типов, что может быть связано с погрешностью оценивания из-за малого объема анализируемой информации.

Выводы

На основе представленной информации можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Оценки расходов топлива, как самолетов отечественного производства, так и зарубежной разработки, изменяются по мере наработки планера и двигателей. Количественные оценки этих изменений существенно меньше, чем у самолетов предыдущих поколений и составляют $0,3 \div 0,5$ % на тысячу часов наработки (у самолетов прошлого поколения 0,8 %).

2. Смещение математического ожидания массива оценок расходов топлива увеличивается в процессе наработки и изменяется от 0 % (для самолетов типа RRJ-95 с максимальной наработкой в исследуемом массиве 9000 часов) до 3 % (для самолетов типа Ту-204 (Ту-214) с наработками до 25 000 часов).

3. Стандартное отклонение оценок расходов топлива, которое можно одновременно считать погрешностью оценки составляет $2 \div 3$ %, что также существенно меньше, чем у самолетов прошлого поколения (6 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Котик М.Г., Павлов А.В., Пашковский И.М. Летные испытания самолетов. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1968. 423 с.
2. Арепьев К.А., Масленникова Г.Е., Потанина Н.В. Исследования влияния наработки планера и силовой установки на изменение расходов топлива в крейсерском полете самолетов Ту-154М // Научный вестник МГТУ ГА. Серия: «Аэромеханика, прочность, поддержание летной годности ВС». 2002. Вып. № 53. С. 68–71.
3. Об утверждении нормативов расхода топлива и технических скоростей на эксплуатацию воздушных судов: Указание Департамента Воздушного транспорта 10.04.1996 № ДВ-45/И.
4. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию (элементы теории). М.: Транспорт, 1981. 197 с.
5. Федеральные авиационные правила. Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации / в редакции приказов Минтранса РФ от 16.07.2003 №163 и от 03.07.2008. № 96. Министерство транспорта РФ. 12 с.
6. Арепьев К.А., Николас А.В., Масленникова Г.Е. Мониторинг летных характеристик – решаемые задачи и перспективы использования // Научный вестник ГосНИИГА. 2011. № 1. С. 28–34.
7. Самолет Ту-204-300. Руководство по летной эксплуатации. 74.08.0000000 РЛЭ. Издание первое. Книга первая. 2005. 836 с.
8. Самолет Ту-214. Руководство по летной эксплуатации. Издание первое. Книга первая. 2000. 688 с.
9. Maslennikova G.E., Arep'ev K.A., Tazhetdinov R.R., Nikonov V.V., Spryskov V.B Changes in the Cruise Climb Performance of the Il-96-300 Aircraft. Russian Aeronautics. 2019. Vol. 62. Issue 1. pp. 157–162
10. Масленникова Г.Е., Дмитриева С.В., Горшков В.А. Исследование причин изменения расхода топлива самолетов Ту-214 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 26. С. 27–35.

REFERENCES

1. Kotik M.G., Pavlov A.V., Pashkovsky I.M. *Letnye ispytaniya samoletov* [Flight tests of aircraft]. 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 423 p. (In Russian).
2. Arepyev K.A., Maslennikova G.E., Potanin N.V. Investigation of the influence of the operating time of the airframe and the power plant on the change in fuel consumption in the cruising flight of Tu-154M aircraft. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*. Series: «Aeromechanics, Strength, Maintenance of Aircraft Airworthiness». 2002, issue. 53, pp. 68–71. (In Russian).
3. On approval of standards for fuel consumption and technical speeds for the operation of aircraft. Department of Air Transport Directive 10.04.1996 No. DV-45 / I. (In Russian).
4. Barzilovich E.Yu., Voskoboev V.F. *Ehkspluatatsiya aviatsionnykh system po sostoyaniyu (ehlementy teorii)* [Operation of aviation systems by state (elements of theory)]. Moscow, Transport Publ., 1981, 197 p. (In Russian).
5. Federal Aviation Regulations. Aircraft Instance. Requirements and Certification Procedures. 12 p. (In Russian).
6. Arepyev K.A., Maslennikova G.E., Nikolas A.V. Flight Performance Monitoring – The problems and Prospect. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2011, no. 1, pp. 28–34. (In Russian).
7. Aircraft Tu-204-300. Flight manual. 74.08.0000000 RLE. First edition. Book one. 2005, 836 p. (In Russian).
8. Aircraft Tu-214. Flight manual. First edition. Book one. 2005, 688 p. (In Russian).
9. Maslennikova G.E., Arep'ev K.A., Tazhetdinov R.R., Nikonov V.V., Spryskov V.B. Changes in the Cruise Climb Performance of the Il-96-300 Aircraft. *Russian Aeronautics*. January 2019, vol. 62, issue 1, pp. 157–162.
10. Maslennikova G.E., Dmitrieva S.V., Gorshkov V.A. Research the reasons of fuel consumption changes in Tu-214 airplanes. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 2, pp. 27–35. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Масленникова Галина Евгеньевна, доктор технических наук, начальник отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: maslennikova@gosniiga.ru.

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

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

ABOUT THE AUTHORS

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

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

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

УДК 629.735.015.4:629.735.45

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОРАБОТОК ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ БЮЛЛЕТЕНЯМ НА ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОНЦЕВЫХ БАЛОК ВЕРТОЛЕТОВ ТИПА МИ-8

Ф.Ф. РАЗИНЬКОВ, К.Э. АКОПЯН

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

Аннотация. В работе приведены основные результаты анализа влияния доработок элементов конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8 по эксплуатационным бюллетеням, направленным на предотвращение их усталостных разрушений и устранение дефекта в виде ослабления крепления между собой, на повреждаемость шпангоутов № 2 и стенок лонжеронов концевых балок. Показано, что доработка, введенная в 1991 году бюллетенем № М1733-БД-Г, заключающаяся в установке усиливающей накладки на правый борт концевых балок вертолетов типа Ми-8, позволила практически полностью устранить образование усталостных трещин в этой зоне, однако, наиболее вероятно, привела к изменению нагруженности в сопряженных с ней элементах, в первую очередь – в шпангоутах № 2 и стенках лонжеронов. В то же время доработка, введенная в 1990 году бюллетенем № М2369-БЭ-Г, заключающаяся в замене заклепок крепления стенки лонжерона к шпангоуту № 3 на болты, позволила полностью устранить данный дефект, однако, вероятно, также привела к изменению нагруженности лонжерона концевой балки. Анализ влияния проведенных в соответствии с эксплуатационными бюллетенями доработок на интенсивность образования трещин в шпангоутах № 2 и стенках лонжеронов проведен методом сопоставления наработок вертолетов, при которых проводились доработки, и последующим выявлением трещин в элементах конструкции концевых балок.

Ключевые слова: вертолет Ми-8, концевая балка, шпангоут, обшивка, стенка лонжерона, усталостное повреждение, бюллетень, доработка

ANALYSIS OF THE IMPACT OF IMPROVEMENTS TO THE SERVICE BULLETINS ON THE DAMAGE TO THE STRUCTURAL ELEMENTS OF THE END BEAMS OF MI-8 HELICOPTERS

F.F. RAZINKOV, K.E. AKOPYAN

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

Abstract. The paper presents the main results of the analysis of the impact of modifications to the structural elements of the end beams of Mi-8 helicopters according to service bulletins, aimed at preventing their fatigue damage and eliminating the defect in the form of loosening their attachment to each other, on the damage to the frames No. 2 and the webs of the spars of the end beams. It is shown that the modification introduced in 1991 by bulletin No. M1733-BD-G, which consists of installing a reinforcing lining on the starboard side of the end beams of Mi-8 helicopters, made it possible to almost completely eliminate the formation of fatigue cracks in this zone, but most likely led to a change in the load in the elements associated with it, primarily in the frames No. 2 and the webs of the spars. At the same time, the modification introduced in 1990 by bulletin No. M2369-BE-G, which consists in replacing the rivets for fixing the spar web to the frame No. 3 with bolts, completely eliminated this defect, but probably also led to a change in the load distribution in the spar of the end beam. The analysis of the impact of the modifications carried out in accordance with the service bulletins on the intensity of crack formation in the frames No. 2 and the webs of the spars was carried out by comparing

flight hours accumulated by the helicopters by the time of the modifications, and the subsequent detection of cracks in the structural elements of the end beams.

Keywords: Mi-8 helicopter, end beam, frame, skin, spar web, fatigue damage, bulletin, revision

Введение

В гражданской авиации Российской Федерации по состоянию на 01.03.2021 в эксплуатации находилось 444 вертолета типа Ми-8, изготовленных Казанским вертолетным заводом (КВЗ) и Улан-Удэнским авиационным заводом (У-УАЗ).

Производство вертолетов данного типа на указанных заводах было организовано в разное время. Так, КВЗ серийно выпускал вертолеты типа Ми-8 всех модификаций для гражданской авиации, начиная с 1967 года. С 1982 года производство вертолетов Ми-8 для гражданской авиации на этом заводе осуществлялось небольшими партиями. На У-УАЗ, наоборот, начиная с 1981 года, серийное производство вертолетов типа Ми-8 для гражданской авиации было только организовано и продолжалось вплоть до 1994 года.

Вследствие этого в настоящее время доля заявленных к эксплуатации в гражданской авиации РФ вертолетов типа Ми-8, изготовленных КВЗ, составляет около 16 %, в том числе 10 вертолетов, изготовленных с 1982 по 1998 годы, остальные изготовлены в период с 1975 по 1981 год; изготовленных У-УАЗ, – около 84 %, в том числе 12 вертолетов, изготовленных для государственной авиации в 1975 – 1979 годах, которые позже были включены в Государственный реестр гражданских воздушных судов Российской Федерации, остальные изготовлены в период с 1981 по 1993 год включительно.

В связи с тем, что вертолеты данного типа выпускались двумя авиационными заводами, они имеют некоторые конструктивные отличия. В частности, шпангоуты № 2 концевых балок (КБ) вертолетов, имеющих наработку с начала эксплуатации (СНЭ) не менее 11 000 часов, доработаны с целью их усиления по разным бюллетеням: концевые балки вертолетов, изготовленных У-УАЗ, доработаны по бюллетеням от 31.03.1976 № М433-ДК и от 24.01.1980 № М744-ДК, а концевые балки вертолетов, изготовленных КВЗ, – по бюллетеню от 30.07.1984 № М1511-БД-Г.

Несмотря на общую заявленную цель – усиление шпангоутов № 2 КБ, направленное на устранение причин образования в них усталостных трещин, доработки, выполненные по разным бюллетеням, внесли конструктивные отличия, как в шпангоуты, так и в конструкцию концевых балок. По этой причине анализ в данной статье проведен отдельно для вертолетов, имеющих конструктивные различия концевых балок, т.е. отдельно для концевых балок вертолетов производства КВЗ и У-УАЗ.

Следует отметить, что некоторое количество шпангоутов № 2 концевых балок вертолетов, изготовленных У-УАЗ, в настоящее время также доработаны по бюллетеню № М1511-БД-Г, в частности, такой доработке подвергались все концевые балки в случае проведения замены поврежденного шпангоута № 2. В связи с тем, что при замене какого-либо элемента конструкции концевой балки изменяется ранее существовавшая нагруженность, в работе рассмотрены только те концевые балки, в которых не проводилась замена шпангоутов № 2, а также концевые балки, которые в процессе эксплуатации не переставлялись с одного вертолета на другой.

Как следует из данных, приведенных в отчете [1], наибольшее количество усталостных повреждений, обусловленных виброакустическими (многоцикловыми) нагрузками, выявлено на двух основных элементах конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8: шпангоутах № 2 и стенках лонжеронов.

Помимо бюллетеней, направленных на предотвращение усталостных разрушений шпангоутов № 2 КБ, о которых упомянуто выше, промышленностью были разработаны и внедрены бюллетени, направленные на усиление обшивки концевой балки (от 07.08.1991

№ М1733-БД-Г) и устранение ослабления заклепок крепления стенок лонжеронов к шпангоутам № 3 концевых балок (от 27.11.1990 № М2369-БУ-Г).

Цель исследования

Целью исследования является оценка влияния доработок концевых балок, введенных эксплуатационными бюллетенями, на усталостную прочность шпангоутов № 2 и стенок лонжеронов концевых балок вертолетов типа Ми-8.

Объекты исследования

Объекты исследования – элементы конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8: шпангоут № 2 и стенка лонжерона.

Анализ влияния усиления обшивки концевой балки по бюллетеню № М1733-БД-Г на повреждаемость шпангоута № 2 КБ

В статье [2] было отмечено, что в период 1981–1986 гг. ряд разрушений концевых балок, произошедших как на стенде, так и в эксплуатации в зоне наименьшей долговечности, обозначил необходимость усиления конструкции концевой балки в зоне между шпангоутами № 3-4, стрингерами № 3-5 по правому борту, признанной Разработчиком критической для фюзеляжей вертолетов Ми-8 всех типов и модификаций [3].

Доработка, введенная в 1991 году бюллетенем № М1733-БД-Г, в виде установки усиливающей накладкой на правый борт концевых балок вертолетов типа Ми-8, позволила практически полностью устранить образование усталостных трещин в этой зоне.

В то же время, в статье [2] предполагается, что установка усиливающей накладки на правый борт концевой балки изменяет нагруженность сопряженных элементов конструкции концевых балок таким образом, что интенсивность усталостных разрушений шпангоутов № 2 КБ значительно возрастет.

О возможном влиянии усиления обшивки концевой балки на изменение интенсивности повреждаемости шпангоутов № 2 КБ, имеющей при наработках вертолетов СНЭ, при которых проводится доработка по бюллетеню № М1733-БД-Г, характерный «ступенчатый» характер, ранее упоминалось в работах [4–8].

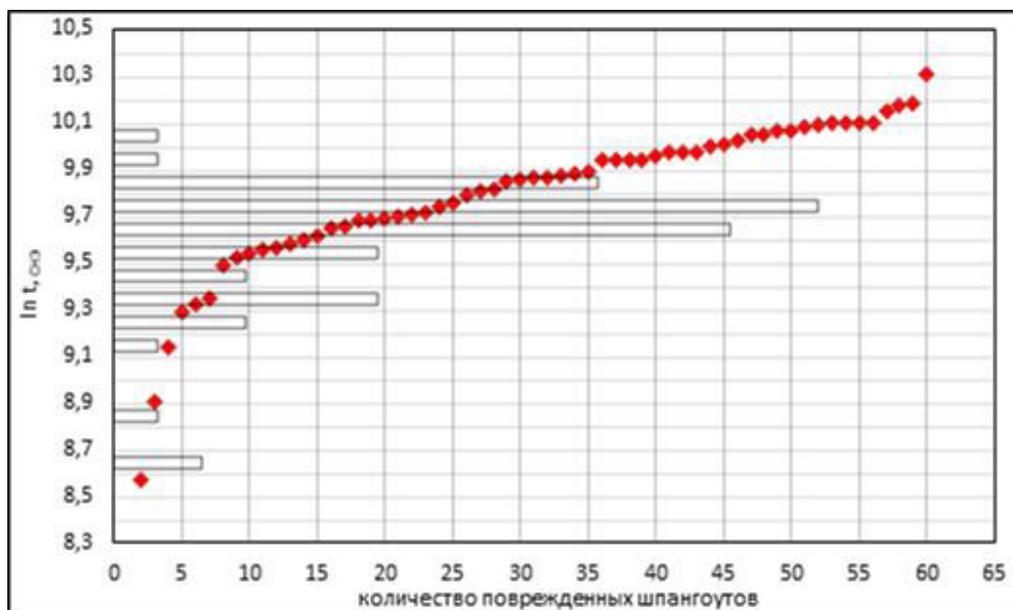
С целью оценки влияния усиления обшивки правого борта КБ накладкой по бюллетеню № М1733-БД-Г на образование усталостных трещин шпангоутов № 2 КБ были проанализированы и сопоставлены наработки СНЭ, при которых на вертолетах проводилась доработка по бюллетеню и при которых были выявлены трещины в шпангоутах № 2 КБ. Следует напомнить, что доработка в соответствии с требованиями бюллетеня № М1733-БД-Г выполняется на вертолетах, имеющих наработку 11 000 часов СНЭ. Начиная с 1991 года, установка усиливающей накладки на правый борт концевой балки проводилась при изготовлении вертолетов.

В настоящее время имеются сведения о наработках СНЭ 60 вертолетов производства КВЗ и 95 вертолетов производства У-УАЗ, при которых в шпангоутах № 2 их концевых балок были выявлены усталостные трещины.

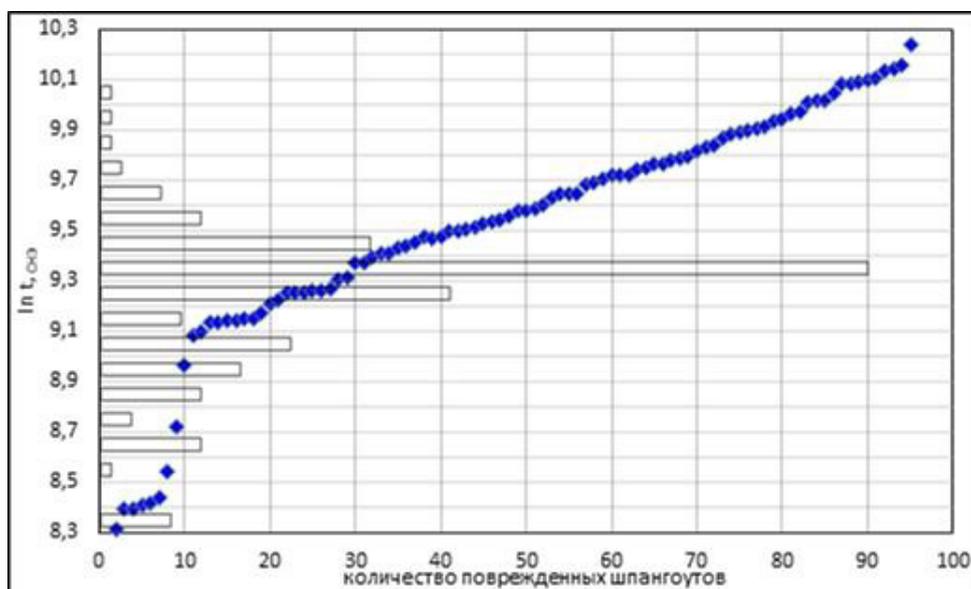
На 12 концевых балках вертолетов, изготовленных У-УАЗ, усиление обшивки по бюллетеню № М1733-БД-Г было проведено при их изготовлении (СНЭ=0), приблизительно 57 % концевых балок были доработаны по бюллетеню при наработках вертолетов СНЭ в интервале 9900-13400 часов. Для вертолетов типа Ми-8, изготовленных КВЗ в 70-е, начале 80-х годов прошлого века, имевших к дате введения бюллетеня № М1733-БД-Г наработку СНЭ больше 11 000 часов, более чем на 61 % вертолетов доработка концевых балок проведена в интервале

наработок вертолетов СНЭ 16 200 – 19 000 часов. Всего на одной концевой балке установка усиливающей накладки на обшивку проведена при изготовлении вертолета на КВЗ.

Совмещенные гистограммы распределения наработок вертолетов при проведении доработок по бюллетеню № М1733-БД-Г и точечные гистограммы распределения наработок СНЭ до выявления трещин в шпангоутах № 2 КБ приведены на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Совмещенные гистограммы распределения наработок СНЭ вертолетов при проведении доработок по бюллетеню № М1733-БД-Г и точечные гистограммы распределения наработок СНЭ до выявления трещин в шпангоутах № 2 КБ: вертолетов производства КВЗ – а; вертолетов производства У-УАЗ – б

Из гистограмм, приведенных на рис. 1, следует, что интенсивность выявления усталостных трещин в шпангоутах № 2 КБ существенно изменяется после доработок концевых

балок по бюллетеню № М1733-БД-Г, как для вертолетов производства КВЗ, так и для вертолетов производства У-УАЗ.

Средняя величина наработки вертолета от доработки концевой балки по бюллетеню № М1733-БД-Г до выявления усталостной трещины в шпангоуте № 2 КБ составляет:

- для вертолетов производства КВЗ – $\Delta t \approx 7340$ часов;
- для вертолетов производства У-УАЗ – $\Delta t \approx 6030$ часов.

Рассчитанные с использованием стандартной программы «Excel» коэффициенты корреляции между значениями наработок СНЭ до выполнения доработки по бюллетеню № М1733-БД-Г и до выявления трещин в шпангоутах № 2 КБ, составили:

- для вертолетов производства КВЗ – $R \approx 0,78$;
- для вертолетов производства У-УАЗ – $R \approx 0,69$.

Анализ влияния усиления обшивки концевой балки по бюллетеню № М1733-БД-Г и доработки концевой балки по бюллетеню № М2369-БУ-Г на повреждаемость стенок лонжеронов КБ

На ранних стадиях эксплуатации трещины в стенках лонжеронов практически не выявлялись. Так, по данным работы [9], с 1967 по 1974 гг. была зарегистрирована всего одна трещина в стенке лонжерона между шпангоутами № 3-4 КБ, за это же время, согласно той же работе, в шпангоутах № 2 КБ было зарегистрировано более 50 усталостных трещин.

Наиболее часто встречающимся дефектом стенок лонжеронов КБ являлось ослабление заклепок крепления его к шпангоуту № 3 КБ. По данным исследования [10] только на одном авиаремонтном заводе «№ 21 АРЗ» в течение 1990 года подобные дефекты были выявлены на концевых балках 21-го вертолета. Следует напомнить, что к шпангоуту № 3 КБ крепится промежуточный редуктор, поэтому изменение жесткости концевой балки вследствие ослабления заклепок крепления стенки лонжерона к данному шпангоуту могло негативно повлиять на работоспособность и исправность трансмиссии вертолета.

В связи с этим бюллетенем от 27.11.1990 № М2369-БУ-Г заклепки крепления стенки лонжерона к шпангоуту № 3 КБ были заменены на болты. Серийно доработка по данному бюллетеню была внедрена на КВЗ, начиная с вертолета Ми-8Т, имеющего заводской номер 8664, на У-УАЗ – с вертолета с заводским номером 98841998. Введение доработки по данному бюллетеню привело к полному устранению дефекта в виде ослабления крепления стенки лонжерона к шпангоуту № 3 КБ.

В то же время, по данным дефектации, на авиационных ремонтных заводах «№ 21 АРЗ» и «№ 26 АРЗ», в течение 1989-1990 годов в зоне шпангоутов № 3 стенок лонжеронов десяти концевых балок, наряду с ослаблением заклепок, были выявлены усталостные трещины [10].

В настоящее время стенки лонжеронов концевых балок вертолетов типа Ми-8 являются вторым элементом конструкции КБ по количеству выявляемых усталостных трещин (после шпангоута № 2 КБ). На сегодня зарегистрированы 94 трещины на стенках лонжеронов 66-ти концевых балок [1]. Из них 42 концевые балки вертолетов производства У-УАЗ, 24 – производства КВЗ.

Распределение общего количества трещин по зонам стенок лонжеронов концевых балок представлено на рис. 2, из которого следует, что около четверти (~ 26 %) всех выявленных к настоящему времени усталостных трещин в стенках лонжеронов КБ расположено в непосредственной близости от болтового соединения стенок лонжеронов и шпангоутов № 3 КБ.

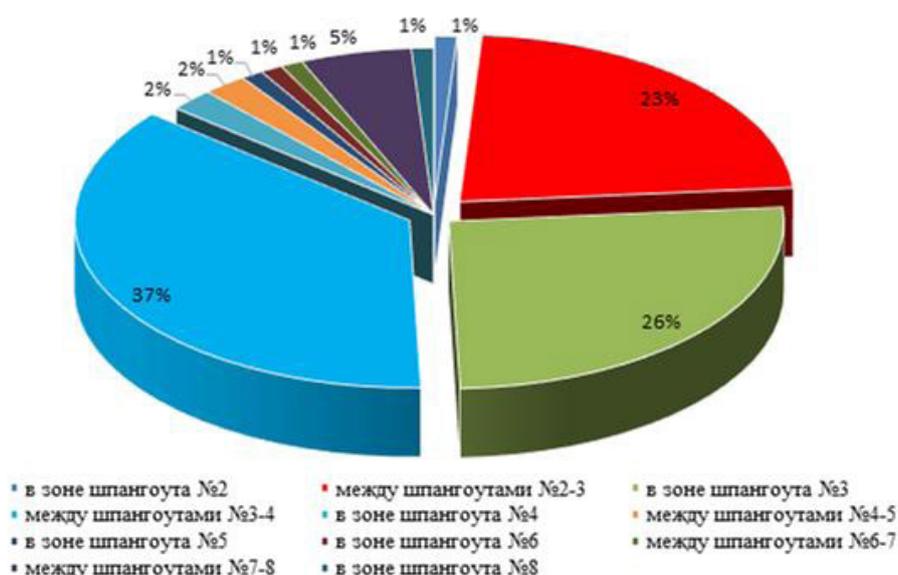


Рис. 2. Гистограмма распределения трещин по зонам стенок лонжеронов концевых балок вертолетов типа Ми-8

На рис. 3 приведены точечные диаграммы изменения наработки СНЭ вертолетов до выявления трещин в стенках лонжеронов концевых балок.

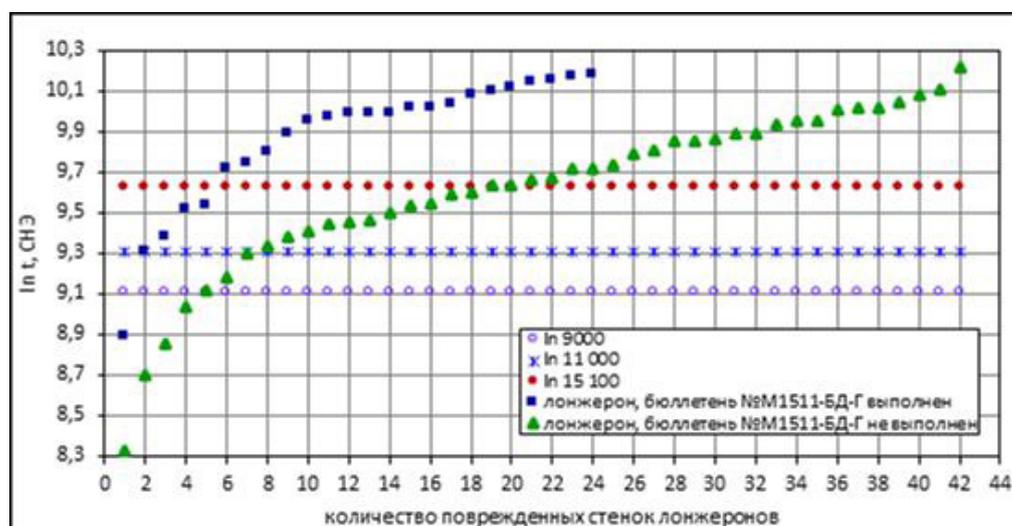
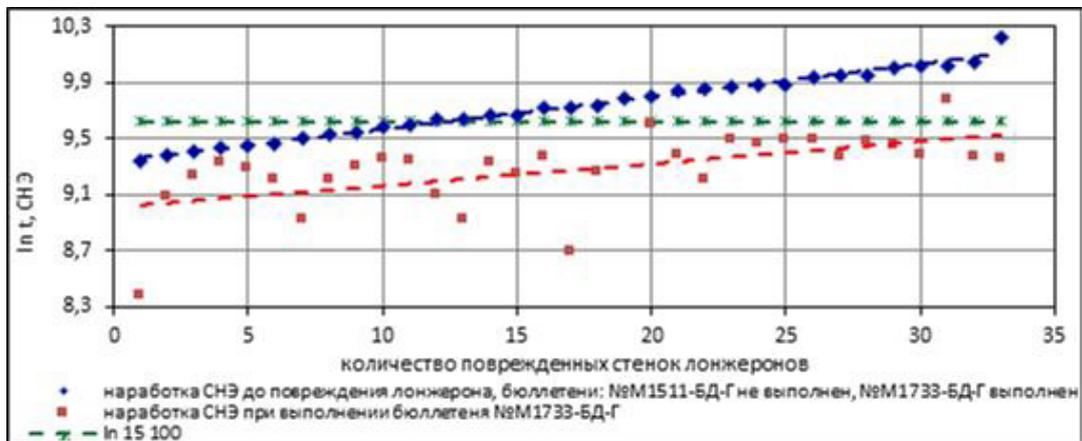


Рис. 3. Точечные гистограммы распределения наработок СНЭ вертолетов до выявления трещин в стенках лонжеронов концевых балок, недоработанных и доработанных по бюллетеню № M1511-БД-Г

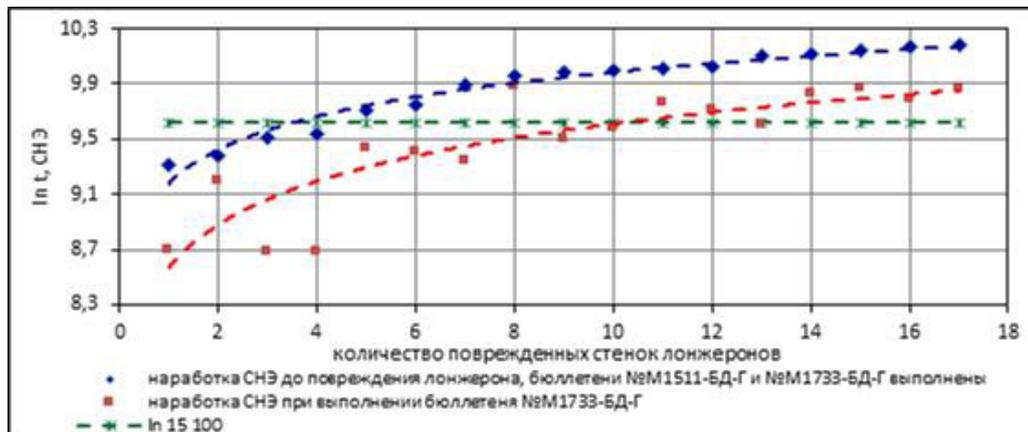
Из представленных на рис. 3 точечных гистограмм следует, что и в этом случае, как и в случае со шпангоутом № 2 КБ, имеет место изменение интенсивности выявления трещин в стенках лонжеронов при наработках, близких к наработкам вертолетов СНЭ, при которых проводилось усиление обшивки концевых балок по бюллетеню № M1733-БД-Г.

Для концевых балок вертолетов производства У-УАЗ, доработанных по бюллетеню № M1733-БД-Г в эксплуатации (при наработке вертолетов СНЭ больше 0), построены совмещенные точечные гистограммы изменения наработки СНЭ до выявления трещины в стенке

лонжерона и наработки, при которой на этой же концевой балке была проведена доработка по указанному бюллетеню (рис. 4а). Аналогичные совмещенные точечные гистограммы построены для концевых балок производства КВЗ (рис. 4б).



а



б

Рис. 4. Точечные гистограммы распределения и экспоненциальные – а, логарифмические – б аппроксимации изменения наработок СНЭ вертолетов производства У-УАЗ (а) и КВЗ (б)

Наряду со значениями логарифмов наработок СНЭ на гистограммы нанесены значения логарифма наработки, равной 15 100 часам, которая, по мнению Разработчика, является пределом долговечности концевой балки, не доработанной по бюллетеню № М1733-БД-Г.

На вертолетах типа Ми-8 производства У-УАЗ из числа проанализированных имеется всего одна концевая балка, на которой данный бюллетень выполнен при наработке более 15 100 часов СНЭ, в то время как на вертолетах производства КВЗ таких концевых балок семь.

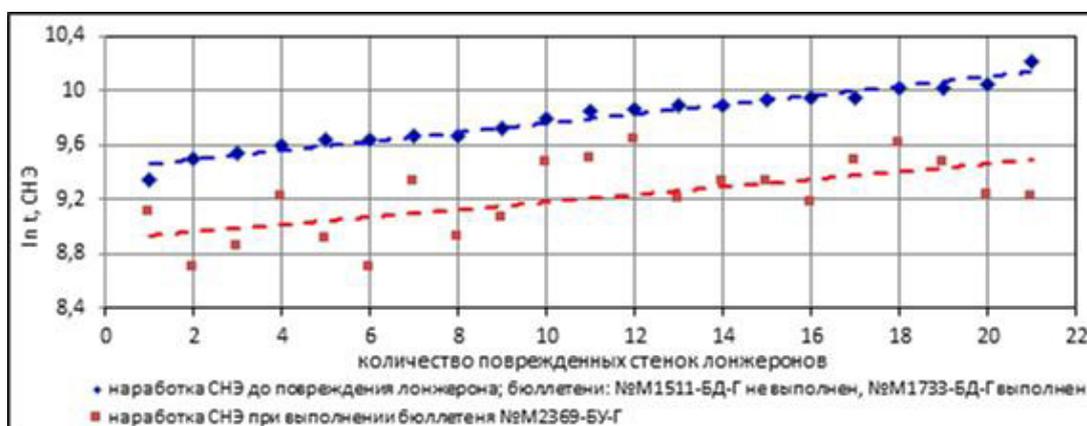
Рассчитанные с использованием стандартной программы «Excel» коэффициенты корреляции между значениями наработок СНЭ до выполнения доработки по бюллетеню № М1733-БД-Г и до выявления трещин в стенках лонжеронов концевых балок, составили:

- для вертолетов производства КВЗ – $R \approx 0,89$;
- для вертолетов производства У-УАЗ – $R \approx 0,52$.

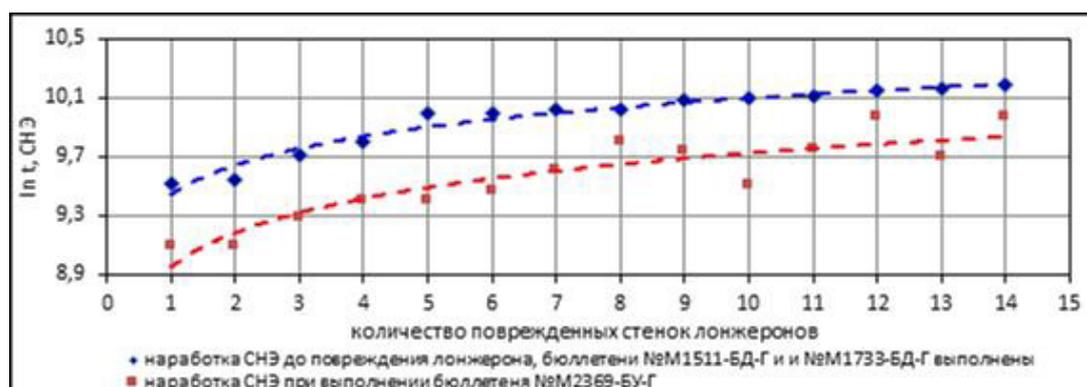
С целью выявления влияния изменения конструкции КБ (замены заклепок крепления стенки лонжерона к шпангоуту № 3 на болты) на изменение повреждаемости стенки лонжерона проводился анализ, включавший сопоставление наработок вертолетов СНЭ до выполнения доработок по бюллетеню № М2369-БЭ-Г и до последующего выявления трещин в стенках

лонжеронов. При анализе учитывались только наработки СНЭ концевых балок, на которых замена заклепок на болты проводилась в эксплуатации (при наработках СНЭ больше 0).

Совмещенные точечные гистограммы распределения наработок до выполнения доработки по бюллетеню № М2369-БЭ-Г и до последующего выявления трещин в стенках лонжеронов приведены на рис. 5а (для вертолетов производства У-УАЗ) и 5б (для вертолетов производства КВЗ).



а



б

Рис. 5. Точечные гистограммы распределения и экспоненциальные – а, логарифмические – б аппроксимации изменения наработок СНЭ вертолетов производства У-УАЗ (а) и КВЗ (б)

Рассчитанные с использованием стандартной программы «Excel» коэффициенты корреляции между значениями наработок СНЭ до выполнения доработки по бюллетеню № М2369-БЭ-Г и до выявления трещин в стенках лонжеронов концевых балок составили:

- для вертолетов производства КВЗ – $R \approx 0,90$;
- для вертолетов производства У-УАЗ – $R \approx 0,60$.

Таким образом, для концевых балок вертолетов типа Ми-8 производства КВЗ выявлена достаточно тесная корреляция между наработкой СНЭ до выполнения доработок как по бюллетеню № М1733-БД-Г, так и по бюллетеню № М2369-БЭ-Г, и последующим выявлением трещин в стенках лонжеронов, в то время как для концевых балок вертолетов типа Ми-8 производства У-УАЗ такой тесной корреляции не наблюдается.

Выводы

По результатам проведенного исследования установлено следующее.

1. Установка усиливающей накладки на правый борт концевой балки вертолетов типа Ми-8 по бюллетеню № М1733-БД-Г неизбежно приводит к изменению нагруженности ряда

сопряженных с ней элементов конструкции, в первую очередь шпангоутов № 2 и, наиболее вероятно, стенок лонжеронов, в результате чего интенсивность образования трещин в этих элементах конструкции концевых балок значительно возрастает.

2. Изменение конструкции концевой балки в соответствии с бюллетенем № М2369-БЭ-Г, приведшее к полному устранению дефекта в виде ослабления крепления стенки лонжерона к шпангоуту № 3 КБ, также приводит к изменению нагруженности стенки лонжерона, что, в свою очередь, увеличивает ее повреждаемость в процессе эксплуатации.

3. Наиболее тесная корреляция между наработками вертолетов СНЭ, при которых проводились доработки по бюллетеням № М1733-БД-Г и № М2369-БЭ-Г, и были выявлены усталостные трещины, как в шпангоутах № 2, так и в стенках лонжеронов, наблюдается для концевых балок вертолетов производства КВЗ, на которых проведена доработка шпангоута № 2 концевых балок по бюллетеню № М1511-БД-Г.

Таким образом, усиление одного из силовых элементов многоэлементной конструкции при многопутном нагружении, реализованное на элементах конструкции концевой балки вертолетов типа Ми-8 при доработках по эксплуатационным бюллетеням, наиболее вероятно приводит к изменению нагруженности и вибронпряженности ряда других конструктивных элементов и возрастанию интенсивности образования трещин, обусловленных виброакустическим (многоцикловым) нагружением, в элементах, напряженность которых увеличилась. При этом доработка каждого следующего элемента такой конструкции наиболее вероятно приводит к более тесной корреляции между наработками, при которых проводилось его усиление, и наработками, при которых в сопряженных с ним элементах конструкции выявлялись трещины усталостного характера.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

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

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

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

7. Анализ возможности увеличения межремонтных ресурсов вертолетов типа Ми-8, Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ гражданской авиации Российской Федерации // Отчет НЦ ПЛГ ВС ГосНИИ ГА № 132/55-МРР-Ми-8 / 16, 2016. 119 с.

8. Обобщение и анализ опыта эксплуатации парка вертолетов типа Ми-8 гражданской авиации РФ за период 2008–2012 гг. // Отчет ГосНИИ ГА № 132/Ми-8 - 2013, 12.03.2013. 23 с.

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

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

REFERENCES

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

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

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

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

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

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

7. Analysis of the possibility of increasing the inter-repair resources of Mi-8, Mi-8MTV-1 and Mi-8AMT helicopters of the civil aviation of the Russian Federation. Report of NC PLG VS GosNII GA no. 132/55-MRR-Mi-8 / 16, 2016. 119 p. (In Russian).

8. Compilation and analysis of operating experience Park of helicopters Mi-8 civil aviation of the Russian Federation for the period 2008–2012. Report GosNII GA No. 132/Mi-8 - 2013, 12.03.2013, 23 p. (In Russian).

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

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Акопян Карен Эдуардович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по поддержанию летной годности воздушных судов, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Михалковская, д. 67, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: akopyan_ke@ncplg.ru.

ABOUT THE AUTHORS

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

Akopyan Karen E., Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director for Aircraft Airworthiness Maintenance, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: akopyan_ke@ncplg.ru.

УДК [629.735.015.4:620.193]:629.735.33Ан-28

КОРРОЗИОННОЕ СОСТОЯНИЕ САМОЛЕТОВ АН-28

О.Ю. ПОВАРОВ, К.А. АРЕПЬЕВ, Д.П. ПОПОВ

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

Аннотация. Важной и неотъемлемой частью работ по поддержанию летной годности в процессе эксплуатации самолета является мониторинг технического состояния и условий его эксплуатации. Мониторинг технического состояния конструкции воздушного судна проводится путем сбора и анализа данных о дефектах, выявленных в процессе эксплуатации и при проведении углубленных исследований и оценок технического состояния каждого конкретного экземпляра, получаемых от эксплуатантов и из организаций, выполняющих техническое обслуживание самолета. Исследование и оценка технического состояния конструкции планера и своевременное выявление в процессе эксплуатации повреждений и дефектов, их устранение, последующий анализ и внедрение мероприятий на экземпляре ВС и при необходимости на всем парке данного типа воздушных судов являются составляющими процесса мониторинга технического состояния. В 2019 году Государственным научно-исследовательским институтом гражданской авиации (ГосНИИ ГА) выполнена работа по анализу данных о фактических условиях эксплуатации парка самолетов Ан-28, а также техническом состоянии конструкции и функциональных систем парка самолетов Ан-28. Работа выполнена в связи с планируемым увеличением назначенного срока службы самолетов. В статье рассмотрены результаты анализа материалов исследований технического состояния самолетов Ан-28, выполненных с участием специалистов ГосНИИ ГА, приведены обобщенные результаты в части коррозионного состояния конструкции и рекомендации по дальнейшей эксплуатации парка воздушных судов Ан-28.

Ключевые слова: воздушное судно Ан-28, эксплуатация, срок службы, конструкция самолета, техническое состояние, коррозионное состояние, мониторинг, исследование

CORROSIVE STATE OF AIRCRAFT AN-28

O.YU. POVAROV, K.A. AREP'EV, D.P. POPOV

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

Abstract. Monitoring of technical state and operating conditions of the aircraft is an important and integral part of maintenance of airworthiness during operation of the aircraft. Monitoring of the technical state of aircraft design is carried out by collecting and analyzing data on defects detected during operation and during in-depth studies and assessments of technical state of each specific copy received from operators and from the Maintenance Organizations. Investigation and assessment of the airframe design technical state and timely detection of damages and defects during operation, their elimination subsequent analysis and implementation of measures on the aircraft copy and, if necessary, on the entire fleet of this type of aircraft are components of the technical state monitoring process. In 2019 The State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA) carried out work on the analysis of data on the actual operating conditions of the fleet of aircraft An-28, and also the technical state of design and functional systems of the fleet of aircraft An-28. This work was performed in connection with the planned increase in the assigned service life of aircraft. The article examines the results of the analysis of the materials of the studies of the technical state of aircraft An-28, carried out with the participation of the specialists of GosNII GA, are given the generalized results in the part of the corrosive state of construction and recommendations for further operation of the fleet of aircraft An-28.

Keywords: aircraft An-28, operation, the period of service, the construction of aircraft, technical state, corrosive state, monitoring, a study

Введение

В связи с планируемым увеличением назначенного срока службы самолетов Ан-28 с 30 до 40 календарных лет в 2019 году специалистами ФГУП ГосНИИ ГА была выполнена работа по анализу данных о фактических условиях эксплуатации парка самолетов Ан-28, а также техническом состоянии конструкции и функциональных систем парка самолетов Ан-28 [1]. В статье представлены результаты анализа, которые уточнены по материалам выполненных исследований самолетов Ан-28 в 2020 году.

В соответствии с требованиями АП-25 (25.571 (а)(4)) и МОС 25.571 учет опыта эксплуатации парка самолетов является необходимым компонентом работ по обоснованию возможности и условий увеличения допустимых в эксплуатации наработок (ресурсов и сроков службы) [2, 3].

В соответствии с установленной практикой проведенное исследование включало в себя:

- оценку фактических условий эксплуатации, анализ типовых профилей полета (режимов, веса, продолжительности) и сравнение их с прогнозом;

- классификацию и анализ произошедших авиационных событий в эксплуатации и их причин;

- классификацию и анализ характера и причин дефектов конструкции, выявленных в процессе эксплуатации, в том числе определение основных коррозионных повреждений конструкции, методы их обнаружения и устранения;

- оценку полноты мероприятий по устранению выявленных дефектов и по предупреждению их повторного появления;

- обобщение опыта выполнения доработок и ремонтов конструкции;

- классификацию отказов функциональных систем и причин их возникновения;

- анализ потоков отказов и оценку надежности функциональных систем.

По результатам проведенного анализа разработаны рекомендации по учету опыта эксплуатации при обосновании возможности и условий увеличения срока службы парка самолетов Ан-28, а также рекомендации по совершенствованию системы их технического обслуживания и поддержания летной годности.

Данная статья является обзором раздела «Коррозионное состояние самолета Ан-28» вышеупомянутого отчета [1] и содержит данные о фактическом коррозионном состоянии конструкции самолетов Ан-28 парка ГА РФ.

Для оценки характеристик эксплуатируемого в РФ парка самолетов Ан-28 (табл. 1) приведены значения суммарного годового налета, среднего годового налета на одно ВС, а также количество эксплуатируемых самолетов. Объем информации, поступившей в ГосНИИ ГА для анализа, базируется на характеристиках этого эксплуатируемого парка ВС.

Таблица 1

Характеристики эксплуатируемого в РФ парка самолетов Ан-28

Годы	Суммарный годовой налет		Средний годовой налет на одно ВС		Кол-во ВС в эксплуатации
	л.ч.	пос.	л.ч.	пос.	
2011	2300	1392	381	235	8
2012	3905	2385	433	264	9
2013	4062	2609	544	351	8

Продолжение таблицы 1

Годы	Суммарный годовой налет		Средний годовой налет на одно ВС		Кол-во ВС в эксплуатации
	л.ч.	пос.	л.ч.	пос.	шт.
2014	3625	2362	497	321	8
2015	2819	1817	403	260	7
2016	2210	1279	441	255	5
2017	4278	2494	611	356	7
2018	3716	2131	619	355	6
2019	4685	2900	937	580	5
2020	4145	2395	829	479	5

Как видно из таблицы, отмечается снижение количества эксплуатируемых самолетов при одновременном увеличении интенсивности эксплуатации, что свидетельствует о достаточной востребованности данного типа самолетов в настоящее время.

Общие сведения о самолете

Легкий многоцелевой самолет Ан-28 с двумя турбовинтовыми двигателями ТВД-10Б и двумя воздушными винтами АВ-24АН предназначен для полетов на местных воздушных линиях с целью перевозки пассажиров, багажа, почты и грузов в простых и сложных метеоусловиях по правилам визуальных полетов и правилам полетов по приборам над сушей и водным пространством, в равнинной и горной местностях.

Ниже приводятся данные самолета Ан-28:

Длина самолета 13,1 м

Размах крыла 22,0728 м

Высота самолета (на стоянке, при пустом самолете) 4,9 м

Количество членов экипажа 2 чел.

Количество пассажиров 17 чел.

Массовые характеристики:

– масса пустого самолета3900 кг;

– центровка22% САХ;

– максимальная взлетная масса...6500 кг (7000 кг – для самолетов, определенных бюллетенем № 28-004-БЭ);

– максимальная посадочная масса...6500 кг;

– максимальная масса коммерческой загрузки.....1750 кг;

– максимальная масса топлива (плотность 0,78 г/см.куб).....1529 кг;

– крейсерская скорость 330 км/ч;

– практическая дальность полета:

• с коммерческой загрузкой 900 кг.....1230 км;

• с коммерческой загрузкой 1250 кг..... 900 км;

– крейсерская высота полета 3000 м.

В пассажирской (грузовой) кабине самолета Ан-28 установлены 17 кресел, которые могут складываться к бортам в случае перевозки грузов. Большой грузовой люк и бортовое погрузочное устройство позволяют производить быструю погрузку/выгрузку различных грузов.

Самолет Ан-28 имеет Сертификат летной годности типа СТ № 11-28, выданный Госавиарегистром СССР 07.02.1986 по результатам контрольных и сертификационных испытаний в соответствии с Нормами летной годности гражданских самолетов СССР (НЛГС-2). В соответствии с ТУ на поставку самолетов Ан-28 ресурс до списания (проектный ресурс) самолета составляет 20 000 л.ч., 30 000 полетов или 15 лет эксплуатации с подтверждением его Разработчиком на основании испытаний, НИР и других материалов.

Дополнением к Сертификату Типа самолета Ан-28 №СТ11-28/Д06, выданному 29.05.2007 Авиарегистром МАК, самолетам Ан-28 установлен назначенный ресурс и срок службы 15 000 полетов, 15 000 летных часов и 30 лет без выполнения капитального ремонта, которые достигаются поэтапным увеличением назначенного ресурса и срока службы экземпляра ВС.

Процедура поэтапного увеличения назначенного ресурса и срока службы описана в действующей эксплуатационной документации (ЭД): разделе 005РЭ «Сроки службы» Руководства по технической эксплуатации самолета Ан-28. Процедура предусматривает периодические исследования технического состояния самолета по типовой Программе с участием специалистов Разработчика и Сертификационных центров государства регистрации. В настоящее время действует типовая Программа Д 4-28-2007 [7].

Объем исследований

Была проанализирована эксплуатационная документация самолета Ан-28 на предмет достаточности задач по обеспечению осмотров (внутренних и внешних) конструкции планера. Регламент ТО [9, 10] содержит перечень задач по осмотру конструкции планера снаружи, узлов стыковки силовых элементов, а также подпольного пространства пассажирской кабины. Такие осмотры проводятся с установленной периодичностью через 200 летных часов (форма Ф1), 600 летных часов (форма Ф2) и 1200 летных часов (форма Ф3).

Неотъемлемой частью эксплуатационной документации самолета Ан-28 является типовая Программа Д 4-28-2007 [7], исследования по которой проводятся с периодичностью 1 раз в год и/или через 1000 летных часов, 1000 полетов.

Следующие задачи по внутреннему осмотру конструкции включены в типовую Программу Д 4-28-2007 [7]: осмотр фюзеляжа изнутри, осмотр кессонов крыла изнутри, осмотр кессонов стабилизатора и килей изнутри. Указанные работы выполняются с периодичностью от 1 года до 6 лет.

Таким образом, для своевременного обнаружения и устранения возможных очагов коррозионных повреждений конструкции в действующей ЭД предусмотрены смотровые работы с установленной периодичностью согласно Регламенту технического обслуживания (РО) [9, 10] и Руководству по технической эксплуатации (РЭ) [8], а также осмотры по типовой Программе Д 4-28-2007 [7] (и Дополнениям к ней).

Для примера в табл. 2 приведен комплекс смотровых работ по контролю конструкции крыла самолета Ан-28, который позволяет оценить состояние конструкции крыла самолета Ан-28, включая внутренние полости. Аналогично обеспечиваются внешний и внутренний осмотры конструкции фюзеляжа, стабилизатора, килей.

Основной информации о техническом состоянии конструкции самолета Ан-28 в данном отчете являлись акты исследования и оценки технического состояния самолетов Ан-28, оформленные по результатам выполнения работ по типовой Программе Д 4-28-2007 [7] с участием представителей ГосНИИ ГА за период 2007-2020 годы.

Таблица 2

Перечень задач по осмотру конструкции крыла с целью выявления и устранения коррозии

№ п/п	Пункт ЭД	Содержание работы	Периодичность	Номер ТК, РЭ	Допустимые размеры Метод устранения
1.	РО 4.057.01	Осмотр верхней и нижней поверхности крыла	200	ТК 603, 57.00.00	Коррозия не допускается: - удаление коррозии до 0,3 мм на кессоне центроплана, до 0,2 мм на кессоне отъемной части крыла; - восстановление лакокрасочного покрытия (см. ТК 801, РЭ 20.02.00); - более - ремонт по согласованию с Разработчиком
2.	РО 4.057.03	Осмотр лонжеронов крыла в доступных местах	600	ТК 604, 57.00.00	Коррозия не допускается: - удаление коррозии до 0,3 мм. S=5 кв.см; - восстановление ЛКП (20.02.00); - более - ремонт по согласованию с Разработчиком.
3.	РО 4.057.04	Узлы стыковки крыло-фюзеляж, отъемной части крыла (ОЧК) с центропланом.	1200	ТК 501. 57.40.00	Коррозия не допускается: - удаление коррозии до 0,3мм. S=5 кв.см; - восстановление лакокрасочного покрытия (20.01.00); - более - ремонт по согласованию с Разработчиком
4.	Программа Д 4-28-2007	Отсеки баков-кессонов крыла между нервюрами № 21-0-21 крыла. Произвести демонтаж съемных панелей крыла	4-6 лет	п. 5.2.3	Ремонт по согласованию с Разработчиком
5.	Дополнения к типовой программе Д 4-28-2007	Внутренний силовой набор правой и левой ОЧК между нервюрами крыла № 21–29. При демонтированных съемных лентах	4-6 лет	Дополнения к типовой программе Д 4-28-2007 при индивидуальном продлении	Ремонт по согласованию с Разработчиком
6.	Дополнения к типовой программе Д 4-28-2007	Стенка и полка 2-го лонжерона ОЧК между нервюрами № 25 и № 29 крыла справа и слева. После демонтажа внешних интерцепторов и съемных перегородок	4-6 лет	Дополнения к типовой программе Д 4-28-2007 при индивидуальном продлении	Ремонт по согласованию с Разработчиком

Следует отметить, что к настоящему времени по самолету Ан-28 в ГосНИИ ГА собран обширный материал по дефектам и неисправностям, выявленным в условиях эксплуатации при поэтапном увеличении ресурсов и/или срока службы. Этот материал, представленный в 64 технических актах по исследованию и оценке технического состояния самолетов, сведен в базу данных, проанализирован и обобщен в отчете [1].

Результаты исследований

В данный раздел включены наиболее массовые дефекты конструкции самолета, обнаруженные в процессе исследования технического состояния самолетов Ан-28 при поэтапном установлении назначенного ресурса и срока службы с участием Разработчика самолета и ГосНИИ ГА, за период 2008–2020 годы.

В результате анализа указанных материалов определены основные коррозионные дефекты конструкции (рис. 1). На такие дефекты приходится 70 % всех коррозионных дефектов конструкции. Также на данные дефекты приходятся все ремонты или замены элементов конструкции, выполненные в эксплуатации.

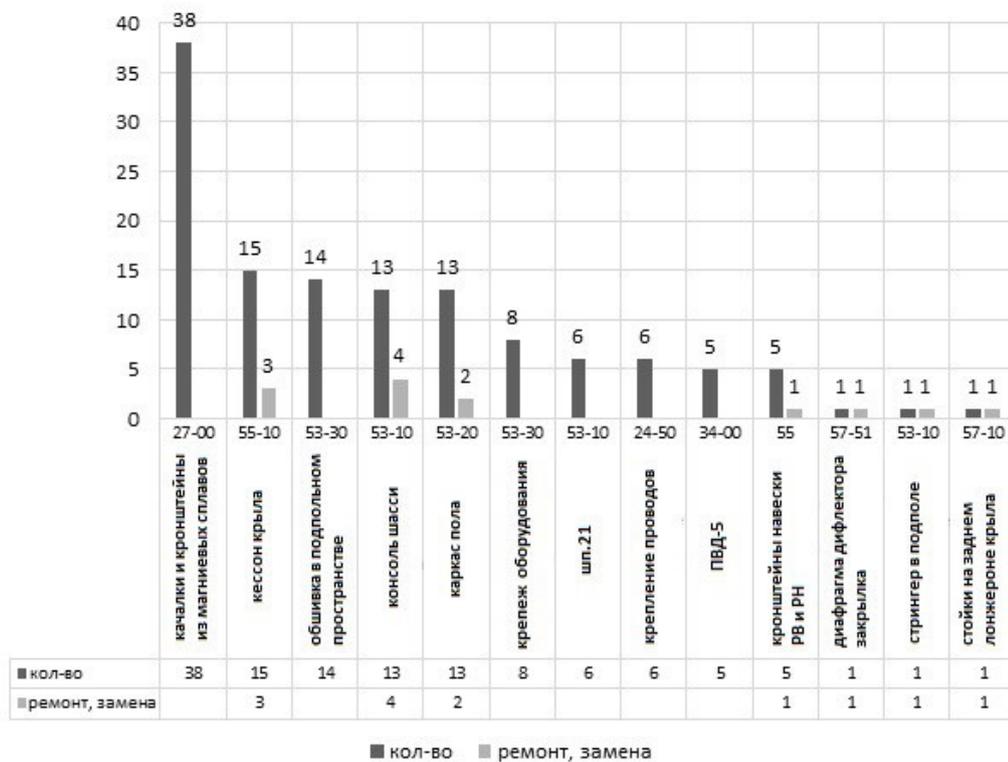


Рис. 1. Массовые и повторяющиеся коррозионные дефекты самолета Ан-28

Более полное описание коррозионных дефектов, с указанием наименования дефекта и его характеристики, приведено в табл. 3.

Таблица 3

Описание коррозионных дефектов самолета Ан-28

№ п/п	Наименование дефекта	Характеристика	Примечание
1.	Точечная коррозия магниевых кронштейнов и качалок системы управления, установленных на заднем лонжероне крыла и стабилизатора	Массовый	Коррозия носит местный локальный характер. По Заклчению Разработчика допускается глубина коррозионного поражения 0,2 мм, кроме зон проушин и силовых ребер. Если очаги коррозии расположены с обеих сторон детали, то суммарная глубина поражения не должна превышать 0,4 мм. Данный дефект характерен для всех самолетов (выявлялся на 75 % парка ВС).

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Наименование дефекта	Характеристика	Примечание
2.	Коррозия головок болтов крепления элементов конструкции крыла внутри кессона крыла	Повторяющийся	Коррозия в основном носит поверхностный характер (глубиной до 0,1 мм). Коррозионные поражения наблюдаются на болтах кронштейнов верхнего узла подкоса крыла между нервюрами №№ 14-16, болтах крепления агрегатов топливной системы, фитингах переднего лонжерона. За период с 2012 по 2020 годы выявлено 15 случаев коррозии на 6 самолетах. В 3-х случаях на одном ВС устранение коррозии потребовало проведения замены болтов крепления.
3.	Очаги коррозии обшивки фюзеляжа и стрингерного набора в подпольном пространстве фюзеляжа	Повторяющийся	Допустимое повреждение стрингеров и обшивки до 0,1 мм. При больших размерах выполняется ремонт согласно ТК 802, 53.00.00 РЭ. В одном случае был выполнен ремонт стрингера.
4.	Очаги коррозионного повреждения нижних поясов низинок шпангоутов № 14 и № 15 в консоли шасси	Повторяющийся	Коррозия имеет расслаивающий характер. Допустимая глубина поражения до 0,5 мм с площадью менее 20 мм ² . При больших размерах коррозии выполняется ремонт по ТУ № 06/20-2003 Ан-28. За период 2012-2020 годы было выполнено 4 таких ремонта.
5.	Коррозия элементов каркаса пола пассажирской кабины	Повторяющийся	Коррозии подвержены следующие элементы каркаса пола: обшивка, полки, уголки и др. В 2-х случаях выявленной сквозной коррозии был выполнен ремонт.
6.	Поверхностная коррозия винтов и болтов крепления	Повторяющийся	Выявляется на болтах и винтах крепления съемных панелей конструкции, крышках люков, крепления кронштейнов антенн и датчиков.
7.	Коррозия стенки низинки шпангоута № 21	Повторяющийся	Коррозия выявляется на стенке низинки шпангоута № 21.
8.	Коррозия на элементах крепления электропроводов	Редко повторяющийся	Коррозия выявляется на следующих элементах: винты крепления наконечников проводов.
9.	Коррозия приемника полного давления ПВД-5	Редко повторяющийся	Коррозия выявляется на нагревательном элементе, корпусе и винтах крепления кронштейна ПВД-5.
10.	Кронштейны навески РВ и РН	Редко повторяющийся	Кронштейны расположены на задних лонжеронах киля и стабилизатора. В одном случае (сквозная расслаивающая коррозия) произведена замена кронштейна.

По результатам анализа установлено, что большинство коррозионных дефектов устраняется по действующей ЭД. Для коррозионного повреждения нижних поясов низинок шпангоутов № 14 и № 15 в консоли шасси в 2003 году дополнительно разработано и введено в действие Техническое указание ТУ № 06/20-2003 Ан-28 «Устранение коррозии нижнего пояса шпангоутов № 14 и № 15».

За время эксплуатации с 2007 года по декабрь 2020 года выполнены 13 ремонтов (замен) элементов конструкции самолета, из них: 11 ремонтов, носящие повторяющийся и единичный характер, относятся к типовым ремонтам, а два ремонта можно отнести к нетиповым (табл. 4).

Установлено, что большинство ремонтов является типовыми, то есть действующая ЭД самолета Ан-28 позволяет эксплуатанту выявлять и самостоятельно устранять данные дефекты без обращения к Разработчику.

Таблица 4

Нетиповые ремонты конструкции планера самолетов Ан-28

№ п/п	Наименование дефекта	Характеристика	Способ ремонта	Примечание
1	Коррозия глубиной 0,5–0,8 мм головок двух болтов 28.00.2103.001.003 и двух болтов 28.00.2103.001.001 крепления кронштейна верхнего узла подкоса крыла с кронштейном балки изнутри кессона крыла между нервюрами № 15–16 правыми	Единичный, нетиповой	По рекомендациям Разработчика болты заменены. Момент затяжки гаек $M_{кр}=4,59$ кг*м для болта 28.00.2103.001.001. Момент затяжки гаек $M_{кр}=8,16$ кг*м для болта 28.00.2103.001.003. Головки болтов покрыты двумя слоями герметика ВИТЭФ-1НТ согласно ТК № 801/57.10.00 РЭ	Коррозия обнаружена на самолете RA-28901, (1АЙ008-01) при продлении срока службы с 22 до 23 лет в июле 2012 г. Согласно записям в формуляре планера самолет находился на хранении в период с 08.12.2009 по 04.07.2012
2	Расслаивающая коррозия нижнего торца двух вертикальных стоек по радиусу сопряжения полков, $S=35 \times 10$ мм и $S=15 \times 10$ мм на стенке заднего лонжерона крыла в районе нервюр № 22–23 справа.	Единичный, нетиповой	Выполнена выборка коррозии путем подрезки стоек. Решением Разработчика место ремонта допущено к эксплуатации с контролем через 200 л.ч.	Обнаружено на самолете RA-28714 (1АЙ006-24). Срок службы – 31 год

В двух случаях нетиповых ремонтов, которые носят единичный характер, потребовалась разработка корректирующих мероприятий в виде рекомендации Разработчика по дальнейшей эксплуатации. При этом коррозия болтов крепления конструктивных элементов в кессоне крыла (табл. 2, п. 2), потребовавшая демонтажа и замены болтов, была выявлена на самолете Ан-28 после его длительного хранения.

В соответствии с рекомендациями [4, 5] выполнен анализ изменения количества коррозионных повреждений на одно ВС (поток повреждений) в зависимости от срока службы ВС (рис. 2).

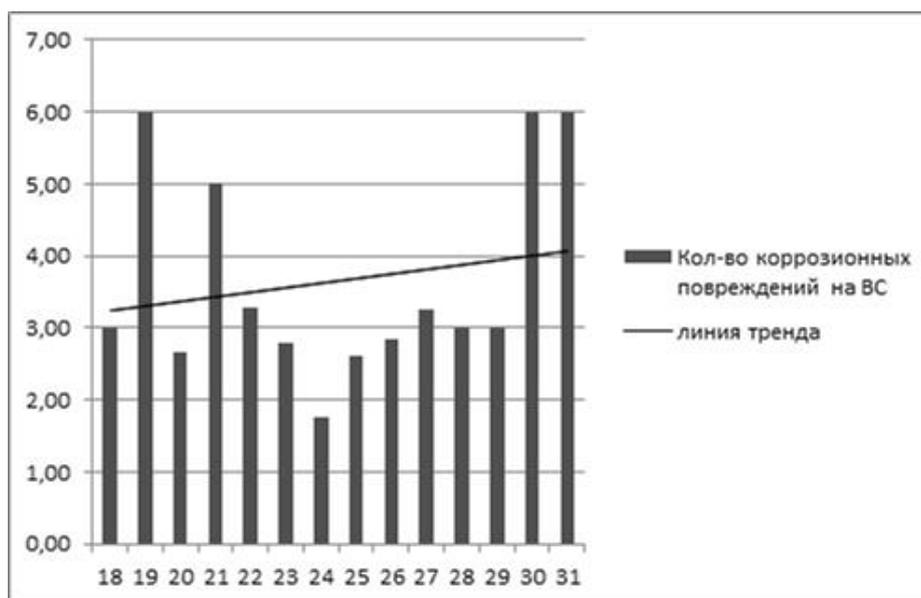


Рис. 2. Количество коррозионных повреждений на ВС в зависимости от их срока службы

Из рис. 2 видно, что поток коррозионных повреждений на самолетах Ан-28 с увеличением срока службы имеет незначительную тенденцию к увеличению, что свидетельствует о достаточно стабильной ситуации с коррозионным состоянием самолетов Ан-28.

Антикоррозионные покрытия на самолете Ан-28 аналогичны покрытиям, примененным на других самолетах ГП «Антонов». Анализ опыта эксплуатации парка самолетов типа «Ан» с календарным сроком службы 45–55 лет свидетельствует о том, что антикоррозионные защитные покрытия металлических элементов силовой конструкции планера, применяемые ГП «Антонов», обеспечивают возможность надежной и безопасной эксплуатации элементов планера этих самолетов в течение значительных сроков службы. К особенностям самолета Ан-28, положительно влияющим на коррозионное состояние конструкции, относятся негерметичный фюзеляж и отсутствие туалетной комнаты.

Следует отметить, что основные коррозионные повреждения силовой конструкции самолетов Ан-28 обнаружены в процессе исследования их технического состояния при поэтапном установлении назначенного ресурса и/или срока службы.

Как показывает опыт эксплуатации самолетов Ан-28, действующий регламент и поэтапное установление назначенного ресурса и/или срока службы с периодичностью не более одного года обеспечивают поддержание удовлетворительного технического состояния элементов конструкции планера и систем.

Выводы

Коррозионное состояние конструкции планера самолета Ан-28 на этапе отработки назначенного срока службы 29-30 лет удовлетворительное. Большинство коррозионных дефектов устраняется по действующей эксплуатационной документации. Новых повторяющихся коррозионных дефектов конструкции при сроке службы самолета 29-30 лет обнаружено не было. Вновь выявленные коррозионные повреждения: расслаивающая коррозия нижнего торца двух вертикальных стоек по радиусу сопряжения полок на стенке заднего лонжерона ОЧК в районе нервюр № 22 и № 23 крыла справа, расслаивающая сквозная коррозия кронштейна, установленного на киле, среднего узла навески правого РН, носят единичный характер. В эксплуатации рекомендованы дополнительные осмотры данных зон.

При разработке Специальных Программ при увеличении срока службы после длительного хранения самолета (более 1 года) необходимо вносить в объем исследования работы по осмотру внутренних отсеков баков кессонов между нервюрами крыла № 21 левой и № 21 правой (с демонтажом панелей) и осмотру внутреннего силового набора правой и левой отъемных частей крыла между нервюрами № 21–29 (с демонтажом съемных лент).

При эксплуатации самолетов Ан-28 без капитального ремонта регулярные осмотры самолетов по индивидуальным программам с участием Разработчика и сертификационных центров ГосНИИ ГА, доказавшие свою необходимость и эффективность, являются обязательным условием отработки назначенного срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обобщение опыта эксплуатации самолетов Ан-28. Отчет / ГосНИИ ГА. 2019.
2. Бутушин С.В. и др. Обеспечение летной годности воздушных судов гражданской авиации по условиям прочности. М.: МГТУ ГА, 2013. 772 с.
3. Громов М.С., Арепьев А.Н. Основные результаты исследований в области совершенствования технической эксплуатации и поддержания летной годности гражданских самолетов и вертолетов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. №15. С. 7–13.
4. Семин А.В. Процедура поддержания летной годности длительно эксплуатируемых воздушных судов и ее практическая реализация // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2. С. 75–82.

5. Бутушин С.В., Никонов В.В., Семин А.В. Анализ статистики эксплуатационных повреждений воздушных судов гражданской авиации с большим налетом // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 179. С. 19–31.
6. Бутушин С.В., Ковалевский С.А., Шапкин В.С. Анализ коррозионных повреждений силовой конструкции планера самолетов типа Ан-24 // Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 41–46.
7. Программа № Д4-28-2007 исследования технического состояния самолета Ан-28, проводимого с целью поэтапного увеличения назначенного ресурса и срока службы с 3000 до 15000 летных часов, с 3000 до 15000 полетов, с 15 до 30 лет (типовая Программа) / ГП «Антонов», ФГУП ГосНИИ ГА. 2007. 16 с.
8. Самолет Ан-28. Руководство по технической эксплуатации. 28.00.0000.000.000 РЭ2. 1985. 388 с.
9. Самолет Ан-28. Регламент технического обслуживания. 28.00.0000.000.000.РО1. 1985. 82 с.
10. Самолет Ан-28. Регламент технического обслуживания. 28.00.0000.000.000.РО2. 1985. 206 с.

REFERENCES

1. Generalization of the experience of operating An-28 aircraft. Report. The State Scientific Research Institute of Civil Aviation. 2019. (In Russian).
2. Butushin S.V. and others. *Obespechenie letnoj godnosti vozdushnykh sudov grazhdanskoj aviatsii po usloviyam prochnosti* [Guarantee of airworthiness of the air vessels of civil aviation on strength conditions]. Moscow, MSTU CA Publ., 2013, 722 p. (In Russian).
3. Gromov M.S., Arep'ev A.N. Basic results of studies in the region of improving of technical operation and maintenance of the airworthiness of commercial airplanes and helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2015, no. 15, pp. 7–13. (In Russian).
4. Semin A.V. The procedure of the maintenance of the airworthiness of the prolongedly operable air vessels and its practical realization. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2012, no. 2, pp. 75–82. (In Russian).
5. Butushin S.V., Nikonov V.V., Semin A.V. Analysis of the statistics of the operational damages of the air vessels of civil aviation with the large attack. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Herald of MSTU CA*, 2012, no. 179, pp. 19–31. (In Russian).
6. Butushin S.V., Kovalevsky S.A., Shapkin V.S. The Analyses of corrosion damages of the power of the airframe of the aircraft type An-24. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2008, no. 130, pp. 41–46. (In Russian).
7. Program of No. D4-28-2007 of the analysis of the technical state of aircraft An-28/GP «Antonov», GosNII GA, 2007, 16 p. (In Russian).
8. Aircraft An-28. Aircraft Maintenance Manual. 28.00.0000.000.000 RE2. 1985, 388 p. (In Russian).
9. Aircraft An-28. Maintenance Schedule. 28.00.0000.000.000.RO1. 1985, 82 p. (In Russian).
10. Aircraft An-28. Maintenance Schedule. 28.00.0000.000.000.RO2. 1985, 206 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Поваров Олег Юрьевич, начальник группы, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: povarov_ou@ncplg.ru.

Арепьев Константин Анатольевич, заместитель директора Научного Центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: aka@ncplg.ru.

Попов Денис Павлович, ведущий инженер, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: popov_dp@ncplg.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Povarov Oleg Yu., Head of Group, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: povarov_oy@ncplg.ru.

Arep'ev Konstantin A., Deputy Director of Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: aka@ncplg.ru.

Popov Denis P., Leader Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: popov_dp@ncplg.ru.

УДК 629.735.45.017.1.004.5

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ АУТЕНТИЧНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ВЕРТОЛЕТОВ ТИПА МИ-8/17, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗА РУБЕЖОМ

А.Н. ШАРЫПОВ, В.Ю. БРУСНИКИН, С.В. КОВАЛЬ, А.Ю. КОНЬКОВ, А.В. СЕМИН, А.Г. КАРАПЕТЯН

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

Аннотация. Настоящая статья посвящена проблеме использования и выявления на вертолетах типа Ми-8/17 неаутентичных компонентов, эксплуатируемых как отечественными, так и зарубежными эксплуатантами. В статье освещены вопросы возникновения проблемы аутентичности компонентов ВС гражданской авиации как за рубежом, так и в России, пути ее решения на законодательном уровне, а также особенности проведения работ по выявлению неаутентичных компонентов вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых иностранными авиакомпаниями. Приведены статистические данные результатов работ по оценке аутентичности компонентов вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом, а также сравнительный анализ показателей оценки аутентичности компонентов подобных вертолетов, эксплуатируемых в Российской Федерации. Приведены примеры влияния на безопасность полетов использования неаутентичных компонентов ВС, а также определены основные причины появления неутвержденных компонентов на вертолетах типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом и основные мероприятия, направленные на их предотвращение.

Ключевые слова: авиационная техника, аутентичность, компоненты воздушного судна, контроль оборота компонентов ВС, защита от фальсификации, жизненный цикл, информационная система

PECULIARITIES OF ASSESSING OF THE AUTHENTICITY OF COMPONENTS OF MI-8/17 TYPE HELICOPTERS OPERATED ABROAD

A.N. SHARYPOV, V.YU. BRUSNIKIN, S.V. KOVAL, A.YU. KONKOV, A.V. SEMIN, A.G. KARAPETYAN

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

Abstract. This article is devoted to the problem of using and detecting inauthentic components on Mi-8/17 helicopters operated by both domestic and foreign operators. The article highlights the issues of the emergence of the problem of the authenticity of components of civil aviation aircraft, both abroad and in Russia, the ways of its solution at the legislative level, as well as the specifics of the work to identify inauthentic components of Mi-8/17 helicopters operated by foreign airlines. The statistical data of the results of work on the assessment of the authenticity of components of the Mi-8/17 helicopters operated abroad, as well as a comparative analysis of the indicators for assessing the authenticity of the components of such helicopters operated in the Russian Federation are presented. Examples of the impact on flight safety of the use of inauthentic aircraft components are given, and the main reasons for the appearance of unapproved components on Mi-8/17 helicopters operated abroad and the main measures aimed at their prevention are identified.

Keywords: aviation technology, authenticity, aircraft components, control of aircraft components turnover, protection against falsification, life cycle, information system

Введение

Использование на воздушных судах (ВС) неаутентичных компонентов, то есть, не соответствующих требованиям государства регистрации [1], в ряде случаев может привести к авиационным происшествиям с самыми тяжелыми последствиями. История гражданской авиации (ГА) насчитывает целый ряд авиационных происшествий, причиной которых явилось использование на ВС неаутентичных компонентов, в том числе и за рубежом, например:

– сентябрь 1989 года, катастрофа самолета Convair CV-580 авиакомпании Partnair, пролив Скагеррак (под Хиртсхальсом, Дания);

– ноябрь 2007 года, катастрофа вертолета Ми-8МТВ-1 авиакомпании «ЮТэйр», Либерия.

Расследование показало, что причиной этих катастроф было использование контрафактных деталей при ремонте и ТО самолета и вертолета: в первом случае – болтов крепления киля к фюзеляжу самолета, у которых было только 60 % от необходимой прочности; во втором – контрафактного комплекта лопастей № МХББ 215001.

Эти примеры показывают, что работы по оценке аутентичности компонентов ВС важны и актуальны не только для отечественной гражданской авиации, но и для всего международного авиационного сообщества.

Нормативная база проведения работ по оценке аутентичности

Одним из первых к решению этой проблемы приступило Федеральное управление гражданской авиации США (Federal Aviation Administration – FAA), которое в 90-х годах прошлого столетия разработало и ввело ряд нормативных документов, регулирующих вопросы мониторинга жизненного цикла компонентов ВС. По этому же пути пошло и Европейское агентство по авиационной безопасности (European Aviation Safety Agency – EASA), которое на основе выпусков FAA и собственных наработок разрабатывает директивы с информацией о сомнительных компонентах и проводит мероприятия по их выявлению в эксплуатации и изъятию из оборота.

Международная организация гражданской авиации (International Civil Aviation Organization – ICAO) также пытается решить данную проблему. В январе 2000 года в Монреале было проведено международное совещание группы экспертов, по результатам которого в своем Руководстве по летной годности DOC 9760 AN/967 [2] ICAO разработала главу 9 «Аутентичность и работоспособность составных частей ВС», где на законодательном уровне сформулировала и ввела новое понятие – «аутентичность».

Таким образом, ИКАО, начиная с 2001 года, определила суть и термины данной проблемы, введя процедуры, на основании которых в ее странах-участницах было начато проведение работ по оценке аутентичности компонентов ВС.

Не осталась в стороне от решения данной проблемы и Россия. Опираясь на рекомендации ИКАО в Федеральном государственном унитарном предприятии Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации (ФГУП ГосНИИ ГА) с учетом специфики ГА и авиапромышленного комплекса России, была разработана и 19.03.2004 Указанием ГСГА Минтранса России введена в действие «Методика оценки аутентичности компонентов ВС № 24.10-966 ГА (2-ая редакция)» [3]. В настоящее время это единственный межведомственный документ по вопросам оценки аутентичности компонентов ВС, определяющий взаимоотношения предприятий авиационной промышленности и авиапредприятий гражданской авиации.

В Методике определены критерии, процедуры и технология проведения работ по оценке аутентичности компонентов ВС, согласно требованиям главы 9 DOC 9760 AN/967, и адаптированные к условиям эксплуатации российских гражданских ВС.

На этой основе методы оценки аутентичности в 2003 году были включены в Федеральные авиационные правила «Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации»

(ФАП-132), как обязательные работы при сертификации экземпляра ВС, поэтому в целях обеспечения информационного сопровождения данных ФАП, ФГУП ГосНИИ ГА приступил к созданию Информационно-аналитической системы мониторинга летной годности ВС (ИАС МЛГ ВС).

Оценка аутентичности компонентов ВС, как важнейший этап мониторинга жизненного цикла компонентов ВС, должна выполняться на всей цепочке поставок авиационных изделий, начиная с предприятий авиационной промышленности и до предприятий и организаций гражданской авиации [4]. К сожалению, в сложившихся рыночных отношениях эта цепочка во многих случаях не может обойтись без посредников – организаций-поставщиков авиационно-технического имущества (АТИ). Такие организации, как правило, и являются одним из основных источников поставок неаутентичных авиационных изделий. С целью пресечения их незаконного оборота ФГУП ГосНИИ ГА были разработаны и приказом ФСВТ России от 03.05.2000 №112 введены Федеральные авиационные правила «Обязательная сертификация организаций, осуществляющих поставку авиационно-технического имущества» (ФАП-112).

Одним из основных критериев оценки соответствия организаций-поставщиков АТИ требованиям данных ФАП, которая, начиная с 2001 года, была возложена на аккредитованный в Системе сертификации на воздушном транспорте Центр сертификации авиационно-технических средств ФГУП ГосНИИ ГА, явилась обязательная оценка способности данных организаций проводить работы по контролю поставляемых ими авиационных изделий, в соответствии с «Методикой оценки аутентичности компонентов ВС № 24.10-966ГА (2-я редакция)».

Таким образом, с проведением вышеперечисленного комплекса работ по разработке вопросов оценки аутентичности компонентов ВС, в том числе и на этапе обязательной сертификации поставок, были приняты правильные стратегические решения, направленные на пресечение оборота неаутентичных компонентов ВС.

Особенности эксплуатации вертолетов типа Ми-8/17 за рубежом

Вертолет Ми-8/17 является одним из самых массовых вертолетов в истории развития мировой авиации. В настоящее время в 92 странах мира зарегистрировано более пяти тысяч вертолетов семейства Ми-8/17. Согласно данным из открытых источников по состоянию на 2016 год, порядка 2000 вертолетов типа Ми-8/17 эксплуатировалось 83-мя иностранными военными операторами, среди которых, по количеству эксплуатируемых ВС, выделяются такие страны, как Китай, Азербайджан, Афганистан, Алжир, Пакистан, Венесуэла и др.

Например, в настоящее время на вооружении Национального воздушного корпуса Афганистана находятся порядка 80 вертолетов Ми-17, из них 63 машины в военно-транспортной модификации (Ми-17В-5) были поставлены по контракту с «Рособоронэкспортом». Данные вертолеты достаточно эффективно используются армией Афганистана для выполнения самых различных задач, в том числе и боевых.

По истечении определенного времени возникла ситуация, при которой эксплуатация части вертолетов была приостановлена по причине боевых повреждений, поломок, а также отработки межремонтных ресурсов и сроков службы. Вопросами восстановления летной годности этих вертолетов занимается Министерство обороны США через соответствующие иностранные компании подрядчиков, которые отбираются по тендеру и которые должны соответствовать установленным требованиям, в том числе требованиям об обязательном проведении работ по оценке аутентичности компонентов совместно с ФГУП ГосНИИ ГА. Это означает, что при выполнении капитального ремонта каждого вертолета заказчик, в лице Минобороны США, требует от подрядчиков (центров технического обслуживания и ремонта (ТОиР), авиационных ремонтных заводов (АРЗ)) выполнения данных работ, с оформлением Актов оценки аутентичности компонентов ВС, совместно с ФГУП ГосНИИ ГА.

Такие работы, начиная с 2010 года, успешно проводятся специалистами ФГУП ГосНИИ ГА с целым рядом иностранных компаний, выполняющих капитальные ремонты отечественных ВС типа Ми-8/17, принадлежащих иностранным заказчикам и включенных в соответствующие реестры зарубежных стран.

Порядок проведения работ по оценке аутентичности компонентов ВС типа Ми-8/17, эксплуатируемых в зарубежных реестрах

Участниками таких работ являются:

- авиапредприятия;
- центры ТОиР;
- авиаремонтные заводы (АРЗ);
- ФГУП ГосНИИ ГА;
- предприятия-разработчики и предприятия-изготовители компонентов ВС;
- организации-поставщики АТИ.

Порядок, технология и процедуры данных работ определены Программой и технологическими инструкциями выполнения работ по оценке аутентичности компонентов ВС, которая согласовывается и подписывается Исполнителем и Заказчиком работ при заключении договора.

Основными нормативными документами, используемыми при проведении данных работ, являются Методика оценки аутентичности компонентов ВС № 24.10-966ГА (2-я редакция) и другие нормативные и руководящие документы в области российской и международной гражданской авиации [3, 5–8].

Результаты работ по оценке аутентичности компонентов вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом и эксплуатируемых в России

Результаты работ по оценке аутентичности компонентов ВС типа Ми-8/17, эксплуатируемых иностранными компаниями, в сравнении с российскими эксплуатантами, согласно информации, которая имеется в Центральной базе данных (ЦБД) ИАС МЛГ ВС ФГУП ГосНИИ ГА за период 2010-2020 гг., представлены в таблице.

Таблица

Оценка аутентичности компонентов ВС типа Ми-8/17,
эксплуатируемых иностранными и российскими эксплуатантами

Эксплуатанты вертолетов типа Ми-8/17	Общее количество компонентов ВС, внесенных в ЦБД	Количество компонентов ВС, прошедших проверку через заводы	Количество неутвержденных и сомнительных компонентов	Количество компонентов-двойников	% неутвержденных и сомнительных компонентов (от проверенных)
Зарубежные эксплуатанты	6772	4578	1054	80	23
Российские эксплуатанты	143634	29424	1677	1731	5,7

Результаты работ по оценке аутентичности за последние 10 лет указывают на разницу значений по выявленным неутвержденным компонентам ВС зарубежных и отечественных эксплуатантов вертолетов типа Ми-8/17 более чем в 4 раза (см. рисунок).

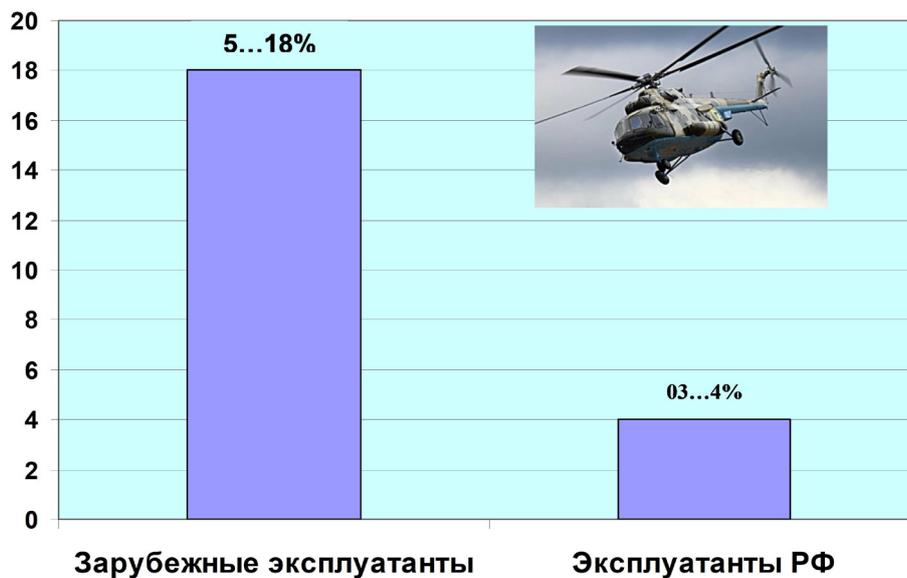


Рисунок. Сравнительный анализ выявленных неутвержденных компонентов ВС типа Ми-8/17, эксплуатируемых в РФ и за рубежом

Это связано в основном с тем, что российский парк вертолетов, благодаря работам по мониторингу жизненного цикла и оценке аутентичности компонентов ВС, которые проводятся уже около 20 лет, в значительной степени избавился от использования на своих ВС достаточно большого количества неутвержденных и сомнительных компонентов.

В эксплуатации парка вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом, наблюдается другая картина. Большой процент выявленных неутвержденных и сомнительных компонентов ВС данного типа вертолетов связан в основном с тем, что первичные поставки вертолетов за рубеж осуществлялись в конце 90-х – начале 2000-х годов. В то время работы по оценке аутентичности компонентов ВС находились только в теоретических разработках и практически не проводились.

Предприятия-изготовители комплектующих изделий для авиационной техники в это время находились в трудном положении, что создавало дефицит комплектующих изделий и не позволяло в полной мере обеспечить сборочные предприятия конечной продукции новыми агрегатами.

Основные причины появления неутвержденных компонентов на ВС типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом

Основными объективными и субъективными причинами, порождающими проблему появления на ВС, как эксплуатируемых в России, так и за рубежом, неаутентичных компонентов, являются:

- недостаточный уровень разработки, а в некоторых случаях и отсутствие законодательных и нормативно-правовых актов, определяющих ответственность за производство, поставку и эксплуатацию неаутентичных компонентов ВС;
- устаревшая нормативно-техническая документация и пономерная документация на компоненты ВС, базирующаяся на «бумажной» системе идентификации компонентов ВС;
- недостаточный уровень авторского сопровождения со стороны предприятий-изготовителей компонентов ВС;

– недостатки в организации работы авиапредприятия и предприятий промышленности в части наличия системных нарушений контроля и регулирования процессов производства, ремонта и эксплуатации компонентов ВС, в том числе и выполнения руководящих документов авиационных властей;

– недостаточный уровень подготовки специалистов, занимающихся вопросами оценки аутентичности;

– недостаточная эффективность системы государственного контроля и регулирования поставок компонентов ВС, отсутствие обязательной системы оценки организаций-посредников, работающих в этой сфере;

– отсутствие единого информационного пространства эксплуатации компонентов ВС, что резко снижает уровень межотраслевого взаимодействия между предприятиями авиационной промышленности и организациями ГА.

От советского производства на складах оставался достаточно большой запас комплектующих изделий и агрегатов, которые создавали некоторый соблазн по установке их на изготавливаемые вертолеты, предварительно «омолодив» их путем переоформления подлинной пономерной документации на другую, но уже с другой, более поздней датой выпуска, что сразу же вводило эти комплектующие в ранг контрафактных. Таким образом, уже на этапе сборки новых ВС на них устанавливались агрегаты с неявным жизненным циклом.

Отсутствие должного контроля за поставками запасных частей, появление их из неизвестных источников в значительной степени повлияли на аутентичность используемых компонентов в процессе эксплуатации ВС. В большинстве случаев зарубежные эксплуатанты использовали не совсем легальные способы доставки запасных частей из непроверенных источников, используя при этом поставщиков из стран ближнего зарубежья. В отдельных случаях такими недобросовестными поставщиками выступали различные посредники, в том числе и из Российской Федерации.

Кроме того, сами зарубежные эксплуатанты, а это, как правило, эксплуатанты из азиатских, африканских стран и стран Латинской Америки, мало внимания уделяли вопросам поддержания летной годности парка вертолетов, в том числе и вопросам аутентичности их компонентов.

Следует отметить также и недостаточное послепродажное сопровождение, в том числе и логистическое, эксплуатации ВС со стороны российских предприятий-разработчиков и предприятий-изготовителей. Все это негативно сказывается на состоянии аутентичности компонентов ВС вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом, о чем наглядно свидетельствуют представленные в данной статье результаты работ, проведенных ФГУП ГосНИИ ГА.

Пути решения данной проблемы известны. Они прописаны как в рекомендациях ИКАО, так и в российских нормативных документах. В целом они сводятся к следующему:

– совершенствование нормативно-правовой базы в вопросах мониторинга жизненного цикла компонентов ВС и внедрение электронной эксплуатационной документации;

– разработка и использование информационных систем мониторинга жизненного цикла компонентов ВС и цифровых методов идентификации компонентов ВС;

– обязательное проведение работ по оценке аутентичности компонентов на всем парке эксплуатируемых ВС и в течение всего периода эксплуатации;

– введение в авиапредприятиях системы контроля поставок АТИ с оценкой деятельности организации-поставщика;

– обеспечение контроля аутентичности поставляемых компонентов ВС в организациях-поставщиках АТИ, что в настоящее время успешно выполняется в рамках СДС ОГА, введенной ФГУП ГосНИИ ГА;

– решение вопросов межгосударственного и межотраслевого взаимодействия в вопросах эксплуатации ВС за рубежом;

– введение уголовной ответственности за поставку неаутентичных компонентов ВС.

Выводы

Анализ работ, проведенных ФГУП ГосНИИ ГА по оценке аутентичности компонентов ВС вертолетов типа Ми-8/17, эксплуатируемых за рубежом, показал, что ситуация с аутентичностью их компонентов находится на достаточно низком уровне и более чем в 4 раза хуже, чем на аналогичных ВС, эксплуатируемых в Российской Федерации.

Главной причиной данной ситуации являются упущения зарубежных эксплуатирующих предприятий в вопросах контроля использования на ВС компонентов с неявным жизненным циклом, полученных от сомнительных источников поставки, а также слабый уровень послепродажного сопровождения эксплуатации авиационной техники предприятиями авиационной промышленности России.

Анализ работ, проводимых на АРЗ совместно с ФГУП ГосНИИ ГА по оценке аутентичности компонентов ВС при выполнении капитальных ремонтов вертолетов типа Ми-8/17, позволяет достаточно эффективно выявлять неаутентичные компоненты.

В целях исключения использования на вертолетах типа Ми-8/17 неаутентичных компонентов в период их эксплуатации, иностранным эксплуатантам рекомендуется проводить мониторинг жизненного цикла компонентов ВС в ИАС МЛГ ВС согласно «Методике оценки аутентичности компонентов ВС № 24.10-966ГА (2-я редакция)».

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусникин В.Ю., Коваль С.В., Николаев А.Л., Нормативное регулирование в области противодействия незаконному обороту авиационной техники и ее комплектующих изделий // Научный вестник ГосНИИ ГА, 2017. № 16. С. 27–36.

2. ICAO Doc. 9760-AN/967. Руководство по летной годности. Ч. III. Государство регистрации. Глава 9. Поддержание летной годности воздушного судна. Раздел 9.10. Подлинность и работоспособность составных частей воздушного судна. 3-е изд. Montreal, Quebec Canada, 2014. С. 9–11.

3. Методика оценки аутентичности компонентов ВС № 24.10-966ГА (2-я редакция). Росавиация. 2004. 49 с.

4. Стратегия по противодействию незаконному обороту промышленной продукции в Российской Федерации на период до 2020 года и плановый период до 2025 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 05.12.2016 г. № 2592-р. 23 с.

5. ГОСТ Р 54080—2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Информационно-аналитическая система мониторинга летной годности воздушных судов. Общие требования. 20 с.

6. ГОСТ Р 55256—2012. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Процедуры проведения работ по оценке аутентичности компонентов воздушных судов гражданской авиации. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с.

7. ГОСТ 27692—2012. Документация эксплуатационная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание формуляров. М.: Стандартинформ, 2014. 53 с.

8. ГОСТ 27693—2012. Документация эксплуатационная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание паспортов, этикеток и талонов летной годности. М.: Стандартинформ, 2014. 40 с.

9. Sharypov A., Brusnikin V., Koval S., Glukhov G., Gubanov O. Aircraft Components Life Cycle Monitoring as a Tool for Identifying Inauthentic Aviation Equipment Items, International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. 9(7). Pp. 612–620.

10. Брусникин В.Ю., Коньков А.Ю., Шарыпов А.Н. О некоторых результатах работ по оценке аутентичности компонентов ВС при мониторинге летной годности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2010. № 311. С. 132–138.

11. Кирпичев И.Г., Гаранин С.А. Интеграция предприятий авиационной промышленности в единое информационное пространство сопровождения эксплуатации авиационной техники // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2011. № 1. С. 169–174.

12. Кирпичев И.Г. 10 лет аутентичных бед. Что делать? // Авиасоюз. 2012. № 5. С 3–5.

REFERENCES

1. Brusnikin V.Yu., Koval S.V., Nikolaev A.L. Regulation of the combating illicit trafficking in aircraft and its components products. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2017, no.16, pp. 27–36. (In Russian).

2. ICAO DOC 9760-AN/967. Airworthiness Manual. Part III. State of registry. Chapter 9. Continuing airworthiness of aircraft. Art. 9.10 Authenticity and serviceability of aircraft parts. Third edition, Montreal, Quebec Canada, 2014-III, pp. 9–11. (In Russian).

3. Methodology of assessing the authenticity of aircraft components №24.10-966 GA (2-d edition), 49 p. (In Russian).

4. Strategy for counteraction to illicit trafficking in industrial output in the Russian Federation until 2020 and planning period till 2925. The Order of the Government of the RF of 5.12.2016 no. 2592-p., 23 p. (In Russian).

5. GOST R 54080—2010. Air transport. System of maintenance and repair of the aircraft aircraft equipment. Information and analytical system of monitoring of the flight validity of aircrafts. General requirements, 20 p. (In Russian).

6. GOST R 55256—2012. Air transport. System of maintenance and repair of the aircraft equipment. Procedures of work according to authenticity of components of airs of civil aviation. General requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 15 p. (In Russian).

7. GOST 27692—2012. Operational documentation for aviation equipment. Construction, presentation, design and content of forms. Moscow, Standartinform Publ, 2014, 53 p. (In Russian).

8. GOST 27693—2012. Operational documentation for aviation equipment. Construction, presentation, design and content of passports, labels and airworthiness coupons. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 40 p. (In Russian).

9. Sharypov A., Brusnikin V., Koval S., Glukhov G., Gubanov O. Aircraft Components Life Cycle Monitoring as a Tool for Identifying Inauthentic Aviation Equipment Items, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, 9(7), pp. 612–620.

10. Brusnikin V.Yu., Konkov A.Yu., Sharypov A.N. On some results of work on the assessment of the authenticity of aircraft components in the monitoring of airworthiness. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2010, no. 311, pp. 132–138. (In Russian).

11. Kirpichev I.G., Garanin S.A. Integration of enterprises of the aviation industry into a common information space of maintenance of operation of the aircraft equipment. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2011, no. 1, pp. 169–174. (In Russian).

12. Kirpichev I.G. 10 years of authentic troubles. What to do?. *Aviasoyuz*, 2012, no. 5, pp. 3–5. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарыпов Андрей Николаевич, заместитель директора центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: sharypov@mlgvs.ru.

Брусникин Валерий Юрьевич, директор центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: brusnikin@mlgvs.ru.

Коваль Сергей Васильевич, заместитель начальника отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: koval@mlgvs.ru.

Коньков Александр Юрьевич, заместитель начальника отдела информационно-аналитического центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: konkov@mlgvs.ru.

Семин Александр Викторович, начальник отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: semin@ncplg.ru.

Карапетян Арман Гегамович, начальник отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: karapetyan@mlgvs.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Sharypov Andrey N., Deputy Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: sharypov@mlgvs.ru.

Brusnikin Valeriy Yu., Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: brusnikin@mlgvs.ru.

Koval Sergey V., Deputy Head of Department of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: koval@mlgvs.ru.

Konkov Alexander Yu., Deputy Head of Department of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: konkov@mlgvs.ru.

Semin Alexander V., Head of the Department of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: semin@ncplg.ru.

Karapetyan Arman G., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: karapetyan@mlgvs.ru.

УДК 623.746–519:[656.7.076:614.841.42]

МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

И.В. БЛАГОДАРЯЩЕВ, А.С. ДРОЗД, А.В. КАН, Р.С. НАУМОВ, В.С. ШАПКИН

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»,
г. Москва, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается построение модели работы беспилотного авиационного комплекса при тушении крупных лесных пожаров на основе полумарковских процессов случайного блуждания изделия по различным режимам работы со случайным временем пребывания в них. Рассмотрены сценарий и пример возможного использования БАС при тушении крупномасштабных пожаров в Центральной России. Приведено описание реального процесса эксплуатации БПЛА с указанием особенностей. Обоснована возможность использования полумарковской модели с дискретным набором состояний для математического описания процесса работы БАС. Разработанная полумарковская модель может быть использована для определения известных показателей эффективности подготовки беспилотного летательного аппарата к полету в различных условиях его использования. Приведен пример расчета параметров полумарковской модели работы БАС при выполнении операции по тушению крупного лесного пожара в Центральной России. Показано, что разработанная модель эксплуатации крупногабаритных БПЛА позволяет учитывать не только нестационарный характер процессов, связанных с эксплуатацией беспилотных летательных аппаратов, но и строить графики зависимости известных показателей эффективности технической эксплуатации БПЛА от характеристик внешней среды в борьбе с распространением пожара.

Ключевые слова: крупные лесные пожары, тушение пожаров, крупноразмерная беспилотная авиационная система, эксплуатация беспилотных авиационных систем, беспилотные воздушные суда, развитие технологий, цифровизация, полезная нагрузка

OPERATING MODEL UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN EXTINGUISHING LARGE FOREST FIRES

I.V. BLAGODARYASHCHEV, A.S. DROZD, A.V. KAN, R.S. NAUMOV, V.S. SHAPKIN

National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article discusses the construction of a model for the operation of an unmanned aircraft system when extinguishing large forest fires on the basis of semi-Markov processes of random walk of a product through a variety of operating modes with random times of stay in them. A scenario and an example of a possible use of UAS in extinguishing large-scale fires in central Russia are considered. A description of the real process of the UAV operation is given, with an indication of the features. The possibility of using a semi-Markov model with a discrete set of states for the mathematical description of the UAS operation process has been substantiated. The developed semi-Markov model can be used to determine the known performance indicators of the preparation of an unmanned aircraft system for flight under various conditions of its use. An example is given of calculating the parameters of a semi-Markov model of UAS operation when performing an operation to extinguish a large forest fire in central Russia. It is shown that the developed model for the operation of large-size UAS makes it possible to take into account not only the non-stationary nature of the processes associated with the operation of unmanned aircraft, but also to plot

the dependence of the known indicators of the efficiency of the technical operation of UAVs on the characteristics of the external environment in the fight against the spread of fire.

Keywords: large forest fires, fire fighting, large-scale unmanned aircraft system, operation of unmanned aircraft systems, unmanned aircraft, technology development, digitalization, payload

Введение

Земли лесного фонда Российской Федерации составляют 1,2 млрд га. Без авиации их защита и охрана от пожаров невозможна. Ежегодно возникает 20 – 30 тысяч лесных пожаров на площади 3 – 10 млн га, комплексный ущерб оценивается на уровне 25 – 100 млрд рублей. В пожароопасный сезон для решения задач лесной отрасли привлекается около трехсот воздушных судов в объеме 40 – 45 тыс. летных часов, что составляет лишь половину от нормативных потребностей [1, 2].

Широкое применение систем космического мониторинга дает общее понимание ситуации, но не позволяет получить оперативную информацию с необходимыми параметрами точности. В целях применения беспилотных воздушных судов (БВС) для решения задач мониторинга и прогнозирования лесных пожаров требуется разработка нормативных документов, положений и правил по мониторингу лесных пожаров и радиационно–пирологическому мониторингу лесов, утверждаемых Федеральной службой лесного хозяйства России. Действующие в настоящее время ГОСТы [2, 3, 4] не в полной мере определяют правила использования беспилотных воздушных судов (БВС).

Однако значительный опыт использования беспилотных воздушных судов (БВС) взлетной массой до 30 кг показал, что они помогают успешно решать определенные задачи тактического уровня [5]. Для задач стратегического уровня требуются более сложные беспилотные авиационные комплексы – крупноразмерные беспилотные авиационные системы (БАС). С целью всесторонней оценки эффекта от внедрения таких крупноразмерных БАС необходимо иметь модель их технической эксплуатации в различных условиях.

Одним из возможных сценариев применения крупноразмерных БАС является доставка грузов наземным подразделениям, осуществляющим непосредственное тушение лесного пожара.

Краткое описание сценария применения БАС

Площади крупных лесных пожаров составляют от одного до десяти тыс. га с периметром несколько десятков километров. Рассмотрим следующий сценарий действий подразделений при тушении пожаров с использованием БАС.

1. На возможно близкое к месту действующего крупного лесного пожара расстояние прибывает команда специалистов, оснащенных БАС, с одним или несколькими БВС вертолетного типа взлетной массой до 500 кг [6].

2. Командир БАС осуществляет деятельность в оперативном взаимодействии с руководителем тушения лесного пожара (РТП).

3. Руководители наземных подразделений, расположенных на разных участках, формируют и предоставляют командиру БАС перечень необходимого к доставке оборудования с указанием ориентировочного времени и места доставки. Учитывая высокую динамичность лесного пожара, по истечении указанного времени наземное подразделение перемещается к новому месту базирования и в грузе не нуждается.

4. При поступлении заявки от руководителя наземного подразделения осуществляется подготовка БВС к полету и оснащение его соответствующим грузом.

5. В зависимости от погодных условий, времени суток и задымления в районе пожара РТП дает разрешение на полет БВС.

При невозможности доставить груз, БВС возвращается с ним на место взлета, где происходит расснаряжение (снятие, демонтаж) невостребованного груза.

Модель эксплуатации БАС

Модель эксплуатации крупноразмерных БАС при тушении крупных лесных пожаров включает следующие 5 режимов, это:

- 1 – подготовка БВС к полету и оснащение его грузом для доставки;
- 2 – ожидание разрешения на выполнение полета от РТП;
- 3 – выполнение полета;
- 4 – расснаряжение груза;
- 5 – отказ в полете и потеря БВС.

Процесс эксплуатации БАС с одним БВС при тушении крупного лесного пожара можно описать с помощью графа (рис. 1).

В одном из режимов БВС может находиться случайное время \emptyset до перехода в другой режим. Переход БВС из режима с номером i в режим с номером j осуществляется с вероятностью π_{ij} , которая определяется только особенностями режима i и не зависит от того, каким образом БВС попало в данный режим. Закон распределения времени пребывания в режиме зависит как от номера этого режима, так и от номера режима, в который возможен переход БВС в следующий момент времени. Моменты переходов БВС $\xi_n (n = 1, 2, \dots)$ равны сумме длительностей его пребывания во всех предыдущих режимах.

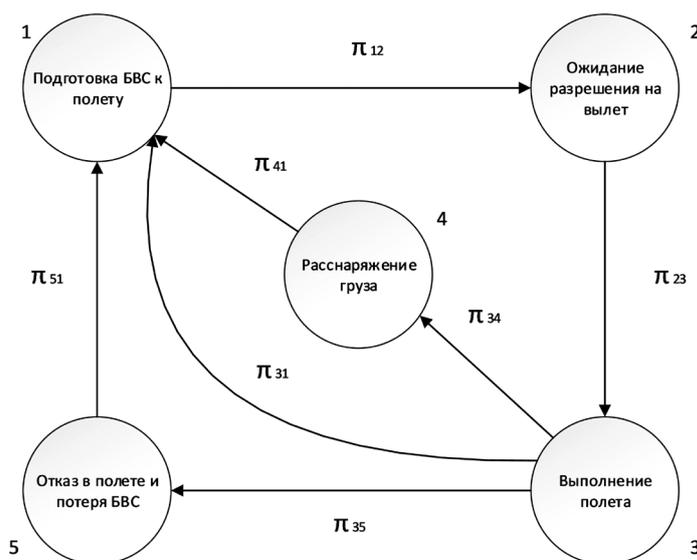


Рис. 1. Граф, описывающий организацию эксплуатации БАС с одним БВС при тушении крупного лесного пожара

Описанный процесс эксплуатации БВС имеет следующие особенности:

- направления перехода на графе режимов зависят от состояния, которое имеет БВС в данном режиме, и не зависят от режимов, в которых БВС уже побывало;
- время пребывания БВС в каждом режиме может быть как детерминированным, так и случайным.

Указанные особенности дают возможность использовать для математического описания процесса эксплуатации БАС полумарковскую модель с дискретным множеством состояний [7–9].

Под полумарковским процессом понимается двумерный дискретно-непрерывный скачкообразный процесс:

$$Z(t) = \{N(t), \theta(t)\} = \{N(t), \theta(t) : t \in [\xi_{n-1}, \xi_n], \xi_n = \xi_{n-1} + \min \theta_{ij}, n = 1, 2, \dots\} \quad (1)$$

где $N(t) \in \{1, 2, \dots, m\}$ – дискретный марковский процесс (марковская цепь) относительно моментов времени $\xi_n, (n = 1, 2, \dots)$ с условными вероятностями перехода:

$$\pi_{ij} = P(N(\xi_n) = j | N(\xi_{n-1}) = i); \quad \sum_{i=1}^m \pi_{ij} = 1 \quad (2)$$

$\theta_{(ij)}$ – непрерывная случайная величина с условной функцией распределения произвольного вида.

$$F_{ij}(t) = P(\theta(\xi_n) < t | N(\xi_{n-1}) = i; N(\xi_n) = j) \quad (3)$$

Полумарковский процесс $Z(t)$ однозначно задается двумерным распределением $\{P; F\}$, где $P = (\pi_{ij})_{m \times m}$; $F = (F_{ij}(t))_{m \times m}$ – матрицы соответствующих распределений, причем характеристикой узла графа служит минимальное время $\theta_i = \min \{\theta_{ij}\}$ пребывания БВС в нем, а характеристикой дуги – вероятность перехода π_{ij} .

В соответствии с графом (рис. 1), БВС, находясь в режиме 1 может через время $\theta_1 = \min \{\theta_{12}\}$ с вероятностью π_{12} перейти в режим 2. По окончании времени $\theta_2 = \min \{\theta_{23}\}$ БВС с вероятностью π_{23} может перейти в режим 3.

При попадании в режим 3 через время $\theta_3 = \min \{\theta_{31}, \theta_{34}, \theta_{35}\}$ БВС с вероятностью π_{34} может перейти в режим 4, либо с вероятностью π_{35} в режим 5, либо с вероятностью π_{31} вернуться в режим 1. При попадании в режимы 4 или 5, по истечении времени $\theta_4 = \min \{\theta_{41}\}$ с вероятностью π_{41} или, соответственно, по истечении времени $\theta_5 = \min \{\theta_{51}\}$, с вероятностью π_{51} БВС возвращается в режим 1.

При потере (крушении) БВС предполагается, что имеется запас аналогичных объектов, из числа которых осуществляется замена вышедшего из строя БВС на исправный.

Для вероятностей π_{ij} должны выполняться необходимые условия нормировки:

$$\pi_{12} = 1; \pi_{23} = 1; \pi_{31} + \pi_{34} + \pi_{35} = 1; \pi_{41} = 1, \pi_{51} = 1. \quad (4)$$

Изложенная выше модель в основном учитывает все возможные ситуации, которые могут возникнуть в процессе реальной эксплуатации БАС в условиях тушения крупных лесных пожаров.

Поскольку исходный граф G является связным, то можно выделить некоторое число независимых элементарных циклов графа $\nu(G)$ (цикломатическое число), которое определяется по формуле:

$$\nu(G) = l(G) - r(G) + 1, \quad (5)$$

где $l(G)$ – число дуг графа;

$r(G)$ – число узлов графа.

Для графа G (рис. 1) цикломатическое число равно: $\nu(G) = 7 - 5 + 1 = 3$.

Представим эти циклы цепочкой переходов между узлами графа:

$$\begin{aligned} &1-2-3-1; \\ &1-2-3-4-1; \\ &1-2-3-5-1. \end{aligned}$$

Время пребывания БВС в одном цикле эксплуатации θ_3 определяется длительностью времени перехода БВС по любому из рассматриваемых контуров графа G:

$$\theta_3 = \begin{cases} \theta_1 + \theta_2 + \theta_3, & 1-2-3-1; \\ \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4, & 1-2-3-4-1; \\ \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_5, & 1-2-3-5-1. \end{cases} \quad (6)$$

Вероятность перехода БВС по любому контуру равна произведению вероятностей перехода между узлами. Так, например, переход $1-2-3-1$ осуществляется с вероятностью $\pi_{12} \pi_{23} \pi_{31}$; переход $1-2-3-4-1$ с вероятностью $\pi_{12} \pi_{23} \pi_{34} \pi_{41}$; переход $1-2-3-5-1$ с вероятностью $\pi_{12} \pi_{23} \pi_{35} \pi_{51}$.

Интерпретируя переходы БВС по контурам графа как случайные события, осуществляемые с определенной вероятностью, находим условное математическое ожидание времени θ_3 , относительно полной группы этих несовместных событий:

$$t_y = M(M[\theta_3]) = \pi_{12} \pi_{23} \pi_{31} M[\theta_1 + \theta_2 + \theta_3] + \pi_{12} \pi_{23} \pi_{34} \pi_{41} M[\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4] + \pi_{12} \pi_{23} \pi_{35} \pi_{51} M[\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_5]. \quad (7)$$

Применяя к полученному выражению повторно операцию математического ожидания и выполняя преобразования приведения подобных членов с учетом соотношений (4), получаем окончательное выражение для среднего времени пребывания в одном цикле эксплуатации:

$$\begin{aligned} t_y &= \pi_{31}(t_1 + t_2 + t_3) + \pi_{34}(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + \pi_{35}(t_1 + t_2 + t_3 + t_5) = \\ &= \pi_{31}t_1 + \pi_{31}t_2 + \pi_{31}t_3 + \pi_{34}t_1 + \pi_{34}t_2 + \pi_{34}t_3 + \pi_{34}t_4 + \pi_{35}t_1 + \pi_{35}t_2 + \pi_{35}t_3 + \pi_{35}t_5 = \\ &= t_1 + t_2 + t_3 + \pi_{34}t_4 + \pi_{35}t_5, \end{aligned} \quad (8)$$

где $t_i = M[\theta_i]$ – условное математическое ожидание времени нахождения БВС в i -м режиме.

С помощью выражения (8) определяем стационарные вероятности пребывания БВС в различных режимах эксплуатации.

$$\rho_1 = \frac{t_1}{t_y}; \quad \rho_2 = \frac{t_2}{t_y}; \quad \rho_3 = \frac{t_3}{t_y}; \quad \rho_4 = \frac{\pi_{34}t_4}{t_y}; \quad \rho_5 = \frac{\pi_{35}t_5}{t_y}. \quad (9)$$

Сумма вероятностей пребывания БВС в режиме 1 (ρ_1) и в режиме 2 (ρ_2) есть не что иное, как коэффициент технической готовности БВС к применению:

$$K_{TT} = \frac{t_1 + t_2}{t_y}, \quad (10)$$

а вероятность нахождения БВС в режиме 3 (ρ_3) определяет коэффициент использования:

$$K_{И} = \frac{t_3}{t_4}. \quad (11)$$

В качестве примера рассмотрим вычисление вероятностей переходов π_{ij} и условных математических ожиданий t_i полумарковской модели эксплуатации БАС при выполнении операции по тушению крупного лесного пожара в средней полосе России.

Зададим полумарковский процесс матрицей $T = (T_{ij})_{m \times m}$ независимых случайных величин, характеризующих время пребывания БВС в различных состояниях до перехода в другие состояния с функцией распределения $G_{ij}(t)$.

Случайные величины T_{ij} характеризуют время пребывания БВС в состоянии i до перехода в состояние j , как если бы этот переход был единственно возможным, т.е. осуществлялся независимо от других переходов.

$$G_{31}(t) = 1(t - \tau_{пол}) = \begin{cases} 0, & t < \tau_{пол}; \\ 1, & t \geq \tau_{пол}; \end{cases} \quad G_{34}(t) = e^{-\frac{t}{T_{сп}}}; \quad G_{35}(t) = 1 - e^{-\lambda_{отк} t}, \quad (12)$$

где $\tau_{пол}$ – средняя продолжительность полета БВС;

$T_{сп}$ – среднее время базирования наземной группы в одном месте;

$\lambda_{отк}$ – интенсивность отказов БВС в полете, приводящих к его потере.

Вероятности переходов π_{ij} и функции распределения $G_{ij}(t)$ связаны между собой следующим соотношением:

$$\pi_{ij} = \int_0^{\infty} \prod_{k \neq j, i} [1 - G_{ik}(t)] dG_{ij}(t), \quad (13)$$

следовательно

$$\begin{aligned} \pi_{31} &= \int_0^{\infty} (1 - G_{34}(t))(1 - G_{35}(t)) dG_{31}(t) = \int_0^{\infty} (1 - e^{-\frac{t}{T_{сп}}}) \cdot e^{-\lambda_{отк} t} \delta(t - \tau_{пол}) dt = \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\lambda_{отк} t} \delta(t - \tau_{пол}) dt - \int_0^{\infty} e^{-(\frac{1}{T_{сп}} + \lambda_{отк})t} \delta(t - \tau_{пол}) dt = e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} - e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}})\tau_{пол}}; \\ \pi_{34} &= \int_0^{\infty} (1 - G_{31}(t))(1 - G_{35}(t)) dG_{34}(t) = \int_0^{\infty} 1(t - \tau_{пол}) \cdot e^{-\lambda_{отк} t} de^{-\frac{t}{T_{сп}}} = \\ &= \frac{1}{T_{сп} \lambda_{отк} + 1} \left(e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}})\tau_{пол}} + \lambda_{отк} T_{сп} \right); \\ \pi_{35} &= \int_0^{\infty} (1 - G_{31}(t))(1 - G_{34}(t)) dG_{35}(t) = \int_0^{\infty} 1(\tau_{пол} - t) (1 - e^{-\frac{t}{T_{сп}}}) \lambda_{отк} e^{-\lambda_{отк} t} dt = \\ &= \int_0^{\infty} 1(\tau_{пол} - t) \lambda_{отк} e^{-\lambda_{отк} t} dt - \int_0^{\infty} 1(\tau_{пол} - t) e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}})t} \lambda_{отк} dt = 1 - e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} - \frac{T_{сп} \lambda_{отк}}{T_{сп} \lambda_{отк} + 1} \left(1 - e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}})\tau_{пол}} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Условные математические ожидания времени нахождения БАС в i -ом режиме $t_i = M[\theta_i]$

будут равны:

$$\begin{aligned} t_1 &= M[\theta_1] = \tau_{подг} ; \\ t_2 &= M[\theta_2] = \tau_{зан} ; \\ t_4 &= M[\theta_4] = \tau_{расчл} ; \\ t_5 &= M[\theta_5] = \tau_n ; \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned} t_3 &= M[\theta_3] = \tau_{пол} (1 - G_{34}(t))(1 - G_{35}(t)) + \int_0^{\tau_{пол}} tdG_{34}(t) + \int_0^{\tau_{пол}} tdG_{35}(t) = \tau_{пол} (1 - e^{-\frac{\tau_{пол}}{T_{сп}}}) e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} + \\ &+ \int_0^{\tau_{пол}} t d e^{-\frac{t}{T_{сп}}} - \int_0^{\tau_{пол}} t d e^{-\lambda_{отк} t} = \tau_{пол} e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} - \tau_{пол} e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}}) \tau_{пол}} + (\tau_{пол} e^{-\frac{\tau_{пол}}{T_{сп}}} + (T_{сп} e^{-\frac{\tau_{пол}}{T_{сп}}} - T_{сп} - \\ &- \tau_{пол} e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} - \frac{1}{\lambda_{отк}} e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}} + \frac{1}{\lambda_{отк}} = \tau_{пол} (e^{-\frac{\tau_{пол}}{T_{сп}}} - e^{-(\lambda_{отк} + \frac{1}{T_{сп}}) \tau_{пол}}) - T_{сп} (1 - e^{-\frac{\tau_{пол}}{T_{сп}}}) + \frac{1}{\lambda_{отк}} (1 - e^{-\lambda_{отк} \tau_{пол}}), \end{aligned}$$

где $\tau_{подг}$ – среднее время подготовки БВС к полету и оснащения грузом для доставки;
 $\tau_{зан}$ – среднее время между поступлениями разрешений на выполнение полета от РТП;
 $\tau_{расчл}$ – среднее время расснаряжения груза с БВС
 τ_n – среднее время, через которое произойдет пополнение отказавших в полете потерянных БВС.

Выводы

Разработанная модель эксплуатации крупноразмерных БАС при тушении крупных лесных пожаров позволяет учесть нестационарный характер процессов, связанных с эксплуатацией беспилотной авиации, а также построить зависимости известных показателей эффективности технической эксплуатации БВС от характеристик внешней среды при борьбе с распространением огня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршунов Н.А. Воздушные роботы призваны на защиту и охрану лесов // Авианорама. 2015. № 4. С. 14–20. URL: <https://www.aviapanorama.ru/2015/08/vozdushnye-roboty-prizvany-na-zashhitu-i-okhranu-lesov/> (дата обращения: 31.03.2021).
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 дек. 2006 г. № 200–ФЗ (ред. 21.04.2020 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Об утверждении Правил тушения лесных пожаров: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 8 июля 2014 г. № 313. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. ГОСТ Р 22.1.09—99. Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Коршунов Н.А. Воздушные роботы для защиты и охраны лесов: от аппаратов к системам! // Авианорама. 2017. № 3. URL: <https://www.aviapanorama.ru/2015/08/vozdushnye-roboty-prizvany-na-zashhitu-i-okhranu-lesov/> (дата обращения: 31.03.2021).
6. Кошкин Р.П. Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. № 10. С. 16–25.
7. Исследование актуальных и перспективных технологических задач охраны, защиты и мониторинга лесов с применением беспилотных авиационных систем (БАС): отчет о НИР (итоговый): 42–44 / ФБУ ВНИИЛМ; рук. Коршунов Н.А.; исполн.: Сидоренкова Е.М. [и др.]. Пушкино, 2020. 197 с.

8. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. М: Машиностроение, 1995. 240 с.

9. Буравлев А.И. Эксплуатация комплексов авиационного вооружения. М: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. 287 с.

10. Благодарящев И.В., Бульдяшов А.Б., Тиньков Л.А. Модель эксплуатации авиационной техники в условиях боевых действий в ходе локального военного конфликта // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. т. 79. № 1. С. 63–67.

REFERENCES

1. Korshunov N.A. Air robots are called upon to protect and protect forests. *Aviapanorama = Aviation panorama*, 2015, no. 4, pp. 14–20. Available at: <https://www.aviapanorama.ru/2015/08/vozduzhnye-roboty-prizvany-na-zashhitu-i-oxranu-lesov/> (accessed: 31 March 2021). (In Russian).

2. Forest Code of the Russian Federation of 4 December. 2006 No. 200–FZ (revised on 21.04.2020). Access from the reference legal system «ConsultantPlus». (In Russian).

3. On the approval of the Rules for extinguishing forest fires. Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated July 8, 2014 No. 313. Access from the reference legal system «ConsultantPlus». (In Russian).

4. GOST R 22.1.09—99. State standard of the Russian Federation. Safety in emergencies. Monitoring and forecasting forest fires. General requirements. Access from the reference legal system «ConsultantPlus» (In Russian).

5. Korshunov N.A. Aerial robots for the protection and protection of forests: from apparatuses to systems! *Aviapanorama = Aviation panorama*, 2017, no. 3. Available at: https://www.aviapanorama.ru/2015/08/vozduzhnye-roboty-prizvany-na-zashhitu-i-oxranu-lesov (accessed: 31 March 2021). (In Russian).

6. Koshkin R.P. The main directions of development and improvement of unmanned aircraft systems. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2015, no. 10, pp. 16–25. (In Russian).

7. Research of actual and promising technological problems of forest protection, protection and monitoring with the use of unmanned aircraft systems (UAS). Research report (final): 42–44. FBU VNIILM; man. Korshunov N.A.; execut. Sidorenkova E.M. [et al.]. Pushkino, 2020, 197 p. (In Russian).

8. Buravlev A.I., Dotsenko B.I., Kazakov I.E. *Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem dinameskikh system* [Management of the technical state of dynamic systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995, 240 p. (In Russian).

9. Buravlev A.I. *Ehkspluatatsiya kompleksov aviatsionnogo vooruzheniya* [Operation of aircraft armament complexes]. Moscow, VVIA im. prof. N.E. Zhukovskiy Publ., 2006, 287 p. (In Russian).

10. Blagodaryashchev I.V., Bul'dyashov A.B., Tin'kov L.A. Model of operation of aviation equipment in the conditions of military operations during the local military conflict. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-measuring and control systems*, 2007, vol. 79, no. 1, pp. 63–67. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Благодарящев Игорь Вадимович, доцент, кандидат технических наук, главный специалист отделения мониторинга программ беспилотных авиационных систем департамента беспилотных авиационных систем, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: blagdar@rambler.ru.

Дрозд Александр Степанович, начальник отделения мониторинга программ беспилотных авиационных систем департамента беспилотных авиационных систем, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: dasbird@mail.ru.

Кан Анна Владимировна, кандидат технических наук, начальник аналитического отдела департамента координации и сопровождения программ, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: avkan@nrczh.ru.

Наумов Роман Сергеевич, директор департамента беспилотных авиационных систем, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: vozr2001@mail.ru.

Шапкин Василий Сергеевич, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта РФ, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: shapkinvs@nrczh.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Blagodaryashchev Igor V., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist of the Head of The Department of monitoring of unmanned aircraft systems programs of the department of unmanned aircraft systems, The National Researcher Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Street, 7, building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: blagdar@rambler.ru.

Drozd Alexander S., Head of the Department of monitoring of unmanned aircraft systems programs of the department of unmanned aircraft systems, The National Researcher Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Street, 7, building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: dasbird@mail.ru.

Kan Anna V., Candidate of Technical Sciences, Head of the Analytical Department of the Department for Coordination and Support of Programs, The National Researcher Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Street, 7, building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: avkan@nrczh.ru.

Naumov Roman S., Director of the Department of Unmanned Aircraft Systems, The National Researcher Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Street, 7, building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: vozr2001@mail.ru.

Shapkin Vasily S., Winner of the Russian Federation Government Award for Science and Technology, Honored Transport Worker of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy General Director, The National Researcher Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Street, 7, building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: shapkinvs@nrczh.ru.

УДК 519.86:656.7.072

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОТОКОВ НА ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

С.Ф. ЕГОШИН

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»,
г. Жуковский, Российская Федерация*

Аннотация. В статье затрагивается проблема расчета пассажирских потоков местных воздушных линий в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах Российской Федерации. Повышение качества моделирования спроса на авиаперевозки является существенным фактором при решении задачи выбора оптимального воздушного судна. На основе статистических данных за 2014-2017 гг. проведен анализ количества пассажиров, которые обслуживались аэропортами местных авиалиний. Показано, что фактическая подвижность населения отдаленных районов заметно превышает 1 полет/человека в год. Полученное значение существенно больше среднестатистической годовой авиационной подвижности населения в стране, что связано с безальтернативностью применения авиации как доступного транспорта для осуществления местных перевозок. Разработана математическая модель годовой авиационной подвижности населения районов, удаленных от регионального центра на расстояние более 300 км. Вместе с тем расчеты на основе данной модели совместно с ранее разработанной экономико-математической моделью себестоимости местных авиаперевозок показывают, что закономерность выбора оптимального воздушного судна изменяется слабо: самолеты вместимостью 19 человек обслуживают авиалинии небольшой протяженности между столичным и местным аэропортами, а на дальних расстояниях более эффективны самолеты небольшой пассажироместимости.

Ключевые слова: местные авиаперевозки, транспортная доступность, местные воздушные линии, удаленные и труднодоступные регионы, подвижность населения, структура затрат, экономико-математическое моделирование

INFLUENCE OF PASSENGER FLOW MODELING FEATURES ON THE CHOICE OF THE OPTIMAL AIRCRAFT FOR LOCAL AIRLINES

S.F. EGOSHIN

National Research Center “Zhukovsky Institute”, Zhukovsky, Russian Federation

Abstract. The article addresses the problem of calculating the passenger flows of local airlines in remote, inaccessible and sparsely populated regions of the Russian Federation. Improving the quality of modeling demand for air transportation is a significant factor in solving the problem of choosing the optimum aircraft. Based on statistical data for 2014-2017, an analysis of the number of passengers served by airports of local airlines has been carried out. It is shown that the actual mobility of the population in remote areas notably exceeds 1 flight / person per year. The obtained value is significantly higher than the average annual aviation mobility of the population in the country, which is associated with the non-alternative use of aviation as an affordable transport for local transportation. A mathematical model of the annual aviation mobility of the population of areas remote from the regional center at a distance of more than 300 km has been developed. At the same time, calculations based on this model together with the previously developed economic and mathematical model of the cost of local air transportation show that the pattern of choosing the optimal aircraft changes only slightly: aircraft with a capacity

of 19 people serve short-haul airlines between the capital and local airports, and small-passenger airplanes are more efficient at long distances.

Keywords: local air services, transport accessibility, local airlines, remote and difficult of access regions, movement of population, structure of costs, economic and mathematical modeling

Введение

Настоящая работа выполнена в продолжение исследований [1–4], посвященных проблеме повышения транспортной доступности и улучшения качества жизни в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах (ОТДМР) Российской Федерации. Общеизвестно, что любая транспортная система выстраивается в соответствии с существующими потребностями людей, то есть обуславливается задачами, которые она призвана решать.

Наиболее эффективным инструментом поиска оптимальной структуры транспортной системы является математическое моделирование. Оно включает в себя ряд необходимых шагов, в частности, задание расположения пунктов отправления/ назначения, выбор доступных транспортных средств и выбор необходимых транспортных связей.

В случае авиатранспортной системы местных воздушных линий (МВЛ) первоочередной задачей, которую эта система призвана решать, является необходимость обеспечить связь мест компактного проживания населения (пункты отправления) и столицы региона (пункт назначения). Отсюда наиболее востребованной и вместе с тем наиболее простой структурой транспортной системы, решающей эту задачу, будет звездообразная транспортная сеть, в которой пункты отправления и назначения связываются прямыми авиалиниями, без промежуточных посадок: в настоящее время по такому принципу выполняется ~ 90 % рейсов МВЛ.

Если в простейшей постановке задачи задать подобную транспортную сеть и не учитывать влияние серийности производства летательного аппарата (ЛА) на его стоимость (что корректно для больших серий из нескольких сотен ЛА), то поиск оптимального воздушного судна (ВС) сведется к выбору ЛА, который был бы экономически наиболее эффективен на каждой отдельно взятой линии. Общий потребный парк ВС будет являться следствием учета всей совокупности авиалиний. Непременным условием моделирования при этом следует считать необходимость перевозки всех пассажиров, а возможным дополнительным условием – обеспечение некоторых априорно введенных параметров регулярности и интенсивности движения ВС (как это делалось в работах [1–3]).

Чтобы рассчитать затраты на перевозку всего пассажиропотока, необходимо, в числе прочего, рассчитать количество пассажиров на каждой авиалинии. Это может быть сделано с помощью коэффициента годовой подвижности населения γ : $n = \gamma N$, где n – пассажиропоток авиалинии [пасс./ед. времени]; а N – численность населения, обслуживаемого удаленным аэропортом МВЛ.

Рассмотрим каждую из величин, определяющих пассажиропоток n .

Численность населения N , обслуживаемого одним аэропортом, в общем случае зависит от его расположения относительно столицы региона. В работах [1–3] для раскрытия качественного эффекта было упрощенно принято, что N непосредственно не зависит от удаленности аэропорта (плотность населения ρ постоянна). В то же время, характерной особенностью распределения населения на территории субъектов РФ, где необходима организация МВЛ, является сильное убывание численности населения с ростом удаленности от столицы региона.

Как было показано в [4], аналитическая аппроксимация фактической плотности населения ρ [чел./кв. км], рассчитанная методом минимизации среднеквадратичного отклонения, может быть задана по формуле:

$$\rho = \frac{1,5 \times 10^7}{L^{2,65}}, \quad (1)$$

где L – расстояние [км] от столичного аэропорта до «единицы площади» на территории субъекта.

Другими словами, по мере удаления от столицы плотность населения убывает быстрее, чем квадрат расстояния. Такое интенсивное падение и приводит к обособлению проблемы местного сообщения в России как проблемы организации транспорта на территориях с плотностью населения порядка 1 чел./кв. км.

Что же касается годовой подвижности населения, то она достаточно сложным образом зависит от многих социально-экономических факторов. В первом приближении, для проведения расчетов пользуются среднестатистической годовой подвижностью [1, 2, 5]. В частности, в работе [5] задавались значения $\gamma = 0,1$ полетов/(чел.–год) для ситуации начала 2000-х годов и $\gamma = 1$ полет/(чел.–год) для перспективной. Однако недостаток подобного моделирования связан с тем, что для МВЛ, функционирующих не на условиях рыночной экономики, а существующих за счет государственных дотаций, выбор значения γ должен отличаться от средних значений, соответствующих авиаперевозкам в масштабах страны в целом.

Для уточнения результатов, полученных ранее в [4], предпринята попытка усложнить математическую модель через более корректное рассмотрение фактора годовой подвижности населения: вводится предположение, что γ может быть задана как функция от удаленности места проживания (что фактически тождественно удаленности обслуживающего аэропорта МВЛ).

Моделирование подвижности населения

Ранее годовая подвижность моделировалась двумя способами [4]:

1. $\gamma = const$ (по аналогии с [5], и значения варьировались в диапазоне $0,2 \div 0,5$ как средние, соответствующие 2005–2015 гг.);

2. $\gamma = 0,0018 \times L - 0,44$ при $300 \text{ км} \leq L \leq 800 \text{ км}$ (что соответствовало $\gamma = 0,1$ при $L = 300 \text{ км}$ с последующим линейным ростом до $\gamma = 1$ при $L = 800 \text{ км}$; выбор коэффициентов производился на основании общих рассуждений о характере γ применительно к местным авиаперевозкам, но с учетом среднестатистических значений).

Как можно видеть, оба способа задания γ являются приблизительными, а потому, требующими уточнения.

Новая математическая модель годовой подвижности населения ОТДМР может быть построена с использованием следующих источников статистических данных (дополнительных к расписанию движения воздушных судов от ПАО «ТКП»), таких как:

– отчетность ФАВТ (Росавиация) «Сведения об объеме перевозок через аэропорты Российской Федерации» по форме № 15 ГА;

– данные о наличии наземных транспортных связей, взятые с интернет-портала «Яндекс» [6];

– данные Всероссийской переписи населения за 2015 год, как наиболее актуальные сведения о численности населения России [7].

Указанная особенность последнего из упомянутых источников накладывает ограничения на возможность использования более свежих данных о перевозках: во избежание существенной погрешности при определении годовой подвижности, количество пассажиров и количество жителей должны относиться к одному временному периоду.

Делается выборка из аэропортов, фигурирующих в отчетности Росавиации, которые привлекались только для осуществления местных авиаперевозок: для этих аэропортов в

расписании движения ВС отсутствуют региональные и магистральные рейсы. Количество аэропортов в данной выборке составляет 96 штук (при общем количестве 261).

Однако сложность расчета подвижности в этом случае заключается в невозможности определить, население какой территории обслуживается с помощью каждого отдельного аэропорта. Оценочно эти численности населения были получены по принципу «приписывания» поселений к ближайшему аэропорту МВЛ при условии, что время наземной поездки до него не превышает двух – трех часов. Считается, что в противном случае, при несоблюдении этого времени смысл местной поездки как таковой теряется, так как на ее осуществление в одну сторону тратится большая часть рабочего дня, а пассажиру во многих случаях необходимо вернуться домой (далее условно случай «наличие наземной связи»).

Для более точных оценок в сформированном множестве аэропортов выделяется подмножество из 60 изолированных аэропортов, для которых наземная транспортная связь отсутствует или составляет более 3000 км. В данном случае (по аналогии со случаем «отсутствие наземной связи») с более высокой степенью достоверности можно утверждать, что обслуживаемое аэропортом население будет состоять преимущественно из жителей городского или сельского поселения, рядом с которым этот аэропорт расположен.

Из обеих выборок исключаются отдельные аэропорты, для которых фиксируется пассажиропоток, на порядок превосходящий количество людей, проживающих в близлежащем поселении. Эти аэропорты используются преимущественно для перевозки вахтовых смен (пассажиры, не учитываемые в статистике коммерческих перевозок, но попадающие в статистику, предоставляемую аэропортами о количестве обслуживаемых пассажиров). В качестве подобного примера может быть приведен аэропорт Игарка (табл. 1).

Таблица 1

Объемы перевозки через аэропорт Игарка

Количество человек, проживавших в городе Игарка в 2015 г.	5117 чел.
Удаленность от Красноярска (ортодромическая дальность)	1301 км
Объем пассажирских перевозок через аэропорт в 2014 г.	208 062 чел.
То же, в 2015 г.	192 090 чел.
То же, в 2016 г.	214 325 чел.
То же, в 2017 г.	278 039 чел.

Разбиение количества пассажиров, обслуживаемых в среднем одним аэропортом МВЛ, в зависимости от удаленности аэропорта, показано на рис. 1. Диаграмма построена для 2014–2017 гг. в предположении, что за указанный период численность населения в населенных пунктах ОТДМР изменилась незначительно, поэтому выявляемые закономерности носят систематический характер.

Как можно видеть, за исключением некоторых случайных пиковых значений, в пределах до 600–800 км с увеличением удаленности аэропорта растет количество обслуживаемых пассажиров, а свыше 600–800 км – составляет ~10–12 тыс. человек/год. Поскольку по мере удаления от столицы региона плотность населения падает, на основании этой диаграммы можно сделать предположение, что при удаленности населенных пунктов до 600–800 км значительная часть населения пользуется наземным пригородным транспортом, и чем ближе населенный пункт к столице – тем все больше падает востребованность местных авиалиний.

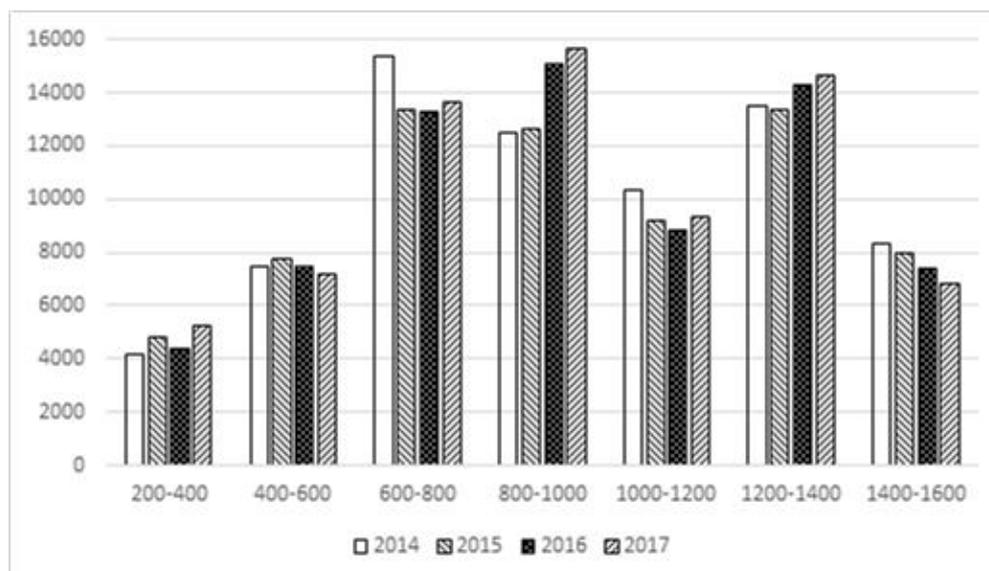


Рис. 1. Средние объемы перевозок через отдельные аэропорты МВЛ, случай «наличие наземной связи»

Вместе с тем для дальностей более 600–800 км количество обслуживаемых пассажиров относительно стабильное, что, по всей видимости, означает практически полное отсутствие наземных местных поездок и увеличение зоны обслуживания одним аэропортом. Данная закономерность подтверждается диаграммой (рис. 2): заметные изменения по сравнению с рис. 1 фиксируются только для дальностей не более 1000 км.

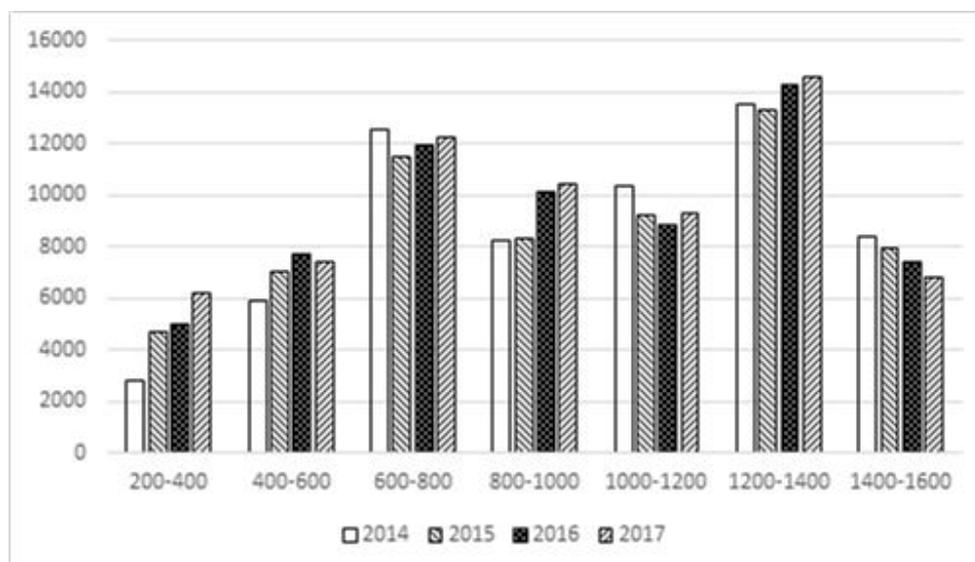


Рис. 2. Средние объемы перевозок через отдельные аэропорты МВЛ, случай «отсутствие наземной связи»

Источником погрешности для обеих диаграмм, кроме вышеупомянутых вахтовых смен, могут быть:

– использование для анализа расписания движения ВС только за 2014-2015 гг. (в статистике Росавиации за 2016-2017 гг. присутствует несколько «новых» и отсутствует несколько

«старых» аэропортов, для которых можно предположить закрытие/возобновление МВЛ);

- неучтенные пассажиры, перевозимые водным транспортом;
- неучтенные наземные транспортные связи нерегулярного характера (совершаемые на вездеходах и пр.);
- поездки нерезидентов (т. е. не проживающих в ОТДМР на постоянной основе) со служебными или личными целями, аналогичные приведенному примеру аэропорта Игарка.

Рассчитанные для этих выборок аэропортов статистические значения годовой подвижности представлены на рис. 3 и рис. 4.

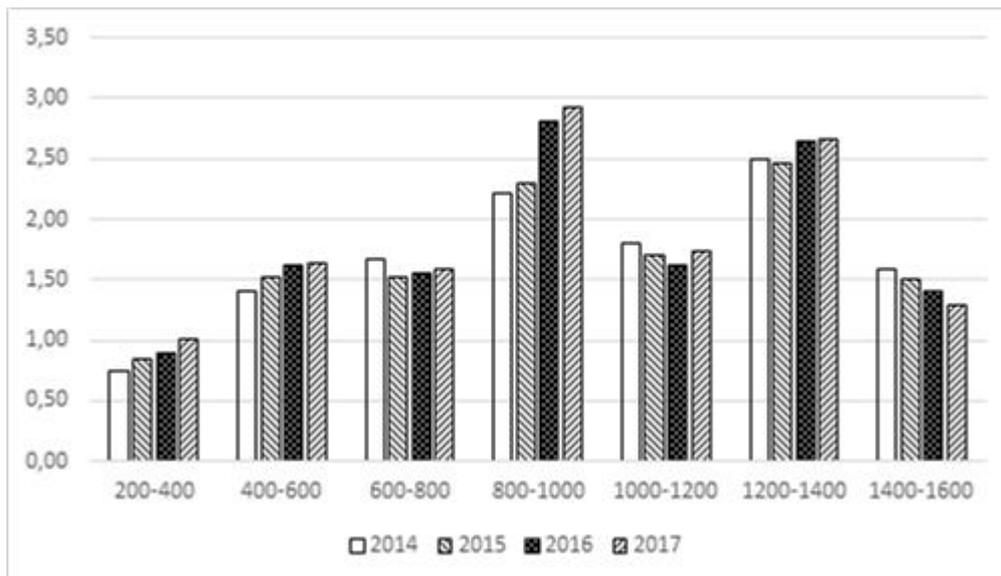


Рис. 3. Годовая подвижность населения при «наличии наземной связи»

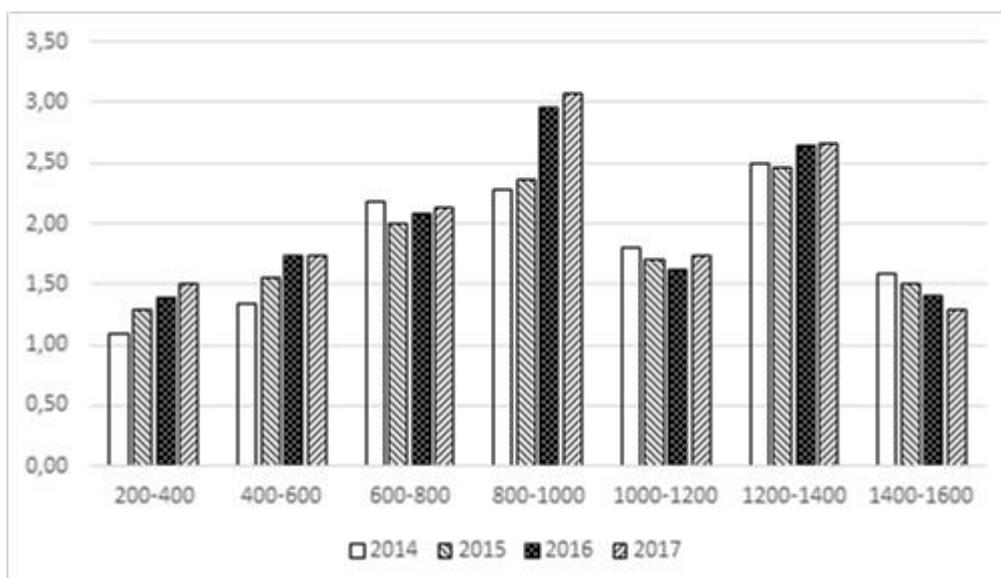


Рис. 4. Годовая подвижность населения при «отсутствии наземной связи»

Видно, что исключение из рассмотрения аэропортов с наличием альтернативной наземной транспортной связи затрагивает только аэропорты, удаленность которых от столицы не превышает 800 км. Если предположить, что будущее развитие транспортной системы ОТДМР будет затрагивать не только авиационный, но и наземный/водный транспорт, тогда при моделировании пассажиропотоков МВЛ следует ориентироваться на данные, представленные на рис. 3. Иначе говоря, вводится предположение, что некоторая часть пассажиров, совершающих местные поездки на дальности не более 600–800 км, в перспективе будет пользоваться неавиационными видами транспорта.

Что касается пиковых значений, соответствующих дальностям более 800 км (например, при 800–1000 км и 1200–1400 км), то их целесообразно отнести к погрешностям, о причинах которых было сказано выше. Попытка же расчета годовой подвижности как среднего от приведенных статистических значений приведет к ее завышению для дальностей 1000–1200 км и 1400–1600 км. Если учесть, что пиковые значения подвижности могут носить нерегулярный характер, для более точного прогнозирования спроса на местные авиаперевозки целесообразно ограничиться рассмотрением γ как минимального уровня, обусловленного именно потребностями проживающих в ОТДМР людей.

Причиной расхождений между приведенными значениями годовой подвижности для отдельных аэропортов и, например, средней годовой подвижностью на уровне 0,3–0,5 полетов/(чел./год) [8, 9] является попадание в статистику обслуживаемого населения тех людей, кто пользуется наземным транспортом. Причем преобладающая часть этих пассажиров, в силу убывания плотности населения, проживает в населенных пунктах, удаленных от столицы не более, чем на 200–400 км. При расчете годовой подвижности происходит усреднение этой части пассажиров с другой частью: небольшой по численности и высокоподвижной по причине отсутствия альтернативы авиационному транспорту (не менее 1,5 полетов в год).

Косвенным подтверждением правильности сделанных выводов можно считать статистику пассажирских авиаперевозок в России в период пандемии: наименьшее падение пассажиропотока фиксируется для местных воздушных линий [10], так как они, в силу своей социальной значимости, охватывают наиболее подвижных пассажиров.

Таким образом, на основе приведенного анализа для учета зависимости авиационной подвижности населения от удаленности от регионального центра предлагается функция, которая возрастает на интервале от 200 до 600 км, а далее остается неизменной. Соответствующая формула имеет вид:

$$\gamma = \begin{cases} L / 400 & \text{при } 200 \text{ км} \leq L \leq 600 \text{ км} \\ 1,5 & \text{при } L > 600 \text{ км} \end{cases} \quad (2)$$

Разница между формулой (2) и другими способами задания годовой подвижности проиллюстрирована на рис. 5. Здесь видно, что из трех приведенных способов предлагаемая формула (2) наилучшим образом коррелирует с исходными данными.

На основании приведенных рассуждений следует также отметить, что при решении проблемы повышения транспортной доступности для населения ОТДМР комплексную математическую задачу целесообразно разбить на две подзадачи:

- повышение экономической эффективности местных авиационных перевозок для дальностей более 800 км в условиях безальтернативности авиационных перевозок, т.е. когда государство вынуждено взять на себя большую часть затрат (субсидий), чтобы полностью обеспечить существование транспортного сообщения между столицей региона и его периферией;

- рассмотрение конкурентоспособности авиационного транспорта по сравнению с наземным пригородным для дальностей 200–800 км, когда затраты могут быть снижены благодаря совместной оптимизации всех статей расходов (например, включая бюджетные

средства на развитие наземных перевозок) или даже сведены к нулю при условии появления коммерчески привлекательного способа организации пассажирских перевозок.

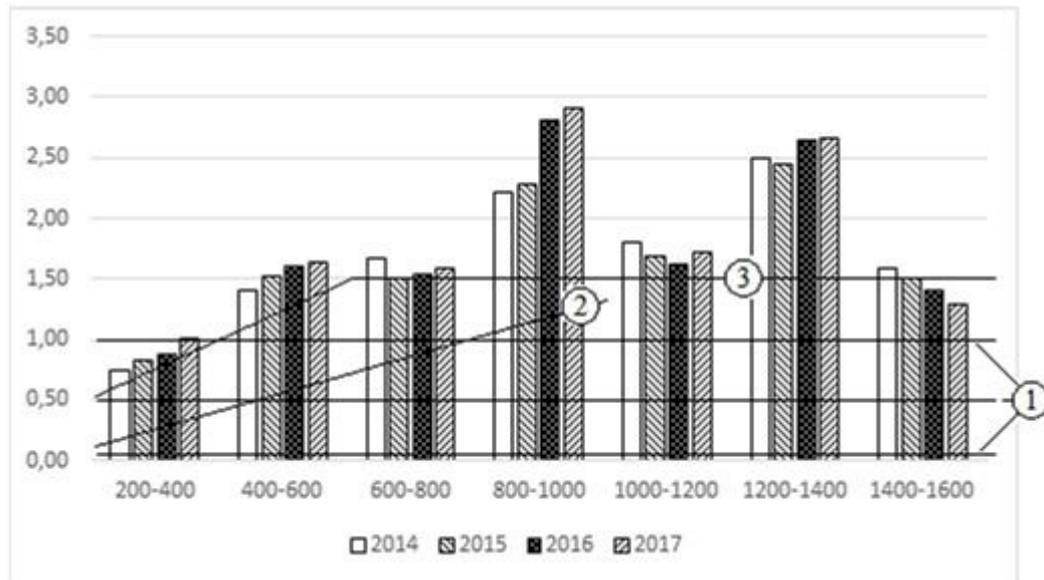


Рис. 5. Возможные способы задания годовой подвижности:

1) $\gamma = \text{const}$; 2) $\gamma = \gamma(L)$ как линейная зависимость; 3) $\gamma = \gamma(L)$ в соответствии с формулой (2)

Безусловно, в обоих случаях эффективным решением будет поиск путей снижения затрат на создание и эксплуатацию новой авиационной техники, однако методический подход для этого поиска может быть разным. Дальнейшее рассмотрение данного вопроса выходит за рамки настоящей публикации.

Результаты расчетов для уточненной модели годовой подвижности

Расчеты выполнены в рамках математической модели, предложенной в [4].

Указанная модель вводится при условии перевозки всего суточного пассажиропотока [11] и условии непревышения максимального суммарного времени поездки $T_{\Sigma}^{\text{допуст}}$, которое задавалось равным 5 часам. Проводится сравнение затрат на перевозку одного пассажира C_{Σ}^{min} для трех самолетов разной вместимости: М-101Т «Гжель» (6 мест), «Рысачок» (10 мест) и L-410UVP-E (19 мест) в ценах 2015 года. Также считается, что для совершения обратного рейса имеется возможность заправки самолета в удаленном аэропорту МВЛ, но без учета увеличения стоимости керосина по сравнению со столичным аэропортом. Благодаря введению формулы (2), диапазон моделирования дальностей МВЛ расширен до 300–1000 км. Отдельной кривой выделена стоимость содержания аэропорта МВЛ $C_{\text{аэро}}^{\mu}$ в расчете на одного пассажира (при стоимости годового содержания аэропорта 50 млн. руб./год).

Результаты расчетов представлены на рис. 6 и рис. 7.

Рис. 7 показывает, что более корректный учет γ приводит к значительному снижению (до 50 %) суммарной стоимости затрат на перевозку одного пассажира, что связано с увеличением пассажиропотока для всех дальностей полета. При $L < 500$ км затраты на содержание аэропортов невелики по сравнению с затратами на эксплуатацию ВС, сопоставимы при $500 \text{ км} \leq L \leq 800$ км и становятся преобладающими при $L > 800$ км. Скачкообразные изменения значения C_{Σ}^{min} , соответствующие увеличению количества используемых самолетов, становятся гораздо более частыми по сравнению с рис. 6, что свидетельствует об увеличении потребного парка ВС.

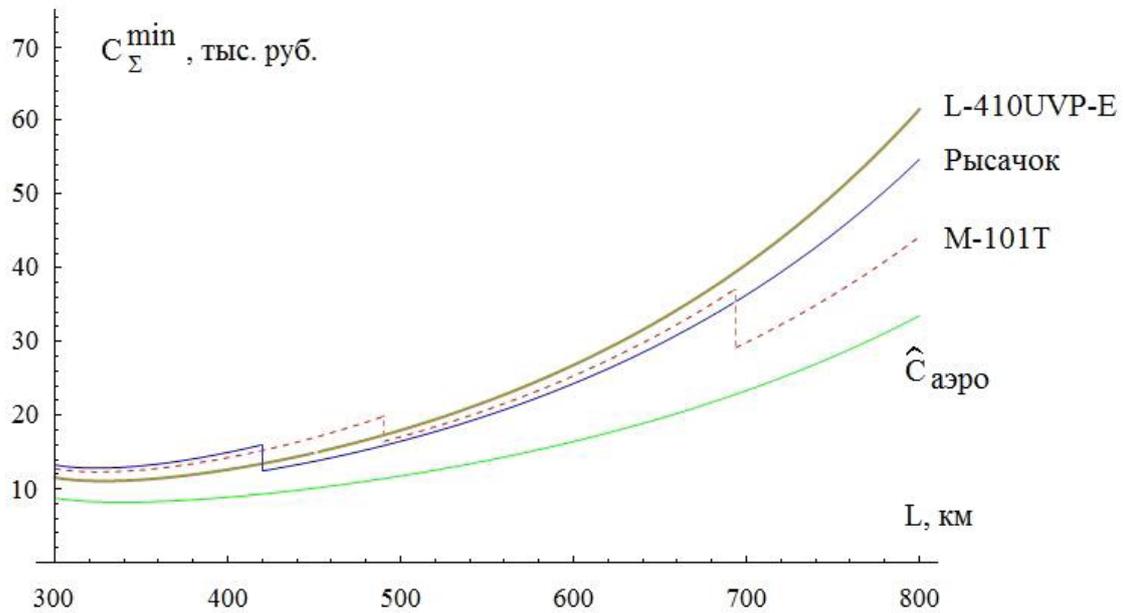


Рис. 6. Стоимость перевозки одного пассажира в зависимости от дальности полета, рассчитанная для $\gamma = (0,0018 \times L - 0,44)$ при $L \geq 300$ км и $T_{\Sigma}^{\text{допуст}} = 5$ часов [4]

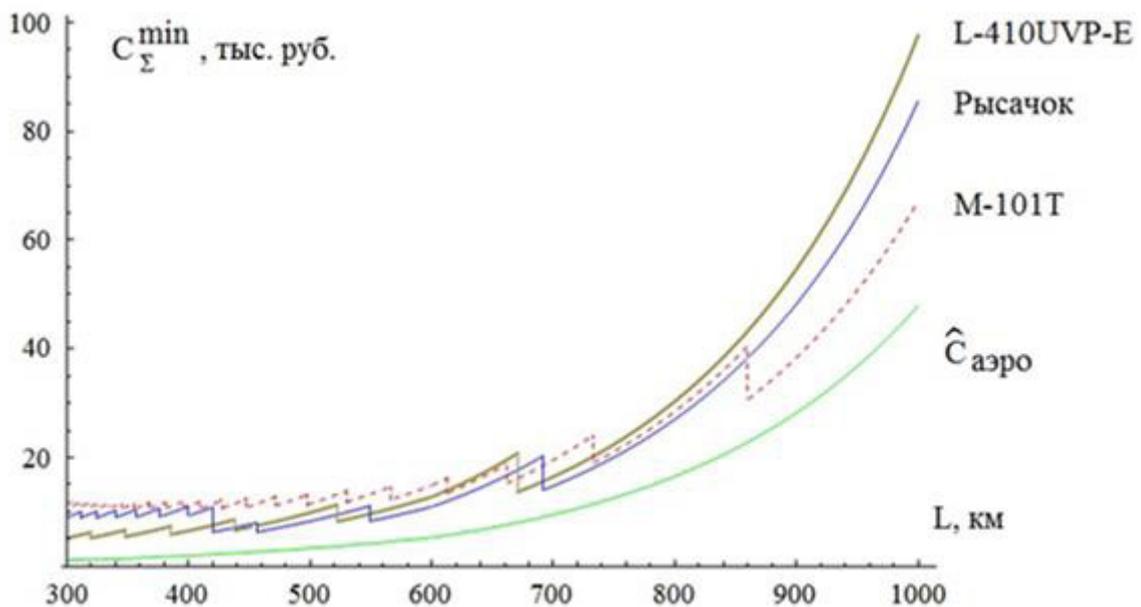


Рис. 7. Стоимость перевозки одного пассажира в зависимости от дальности полета, рассчитанная для γ по формуле (2), $T_{\Sigma}^{\text{допуст}} = 5$ часов

Вместе с тем, как и ранее, сохраняется тенденция целесообразности использования ВС малой вместимости и относительно большой дальности для обслуживания значительно отдаленных от центра районов, а большей вместимости – районов, относительно близких к региональному центру. При этом условная граница разделения эффективных дальностей

применения 10-местных и 6-местных самолетов сдвигается от 700 км за 800 км, а в остальном распределение ВС по зонам наиболее выгодного применения остается неизменным.

Возможная вариация параметра $T_{\Sigma}^{допуст} = 4$ часа, означающая улучшение качества обслуживания населения при одновременном ужесточении требований к построению авиатранспортной системы, дает следующую ситуацию, представленную на рис. 8:

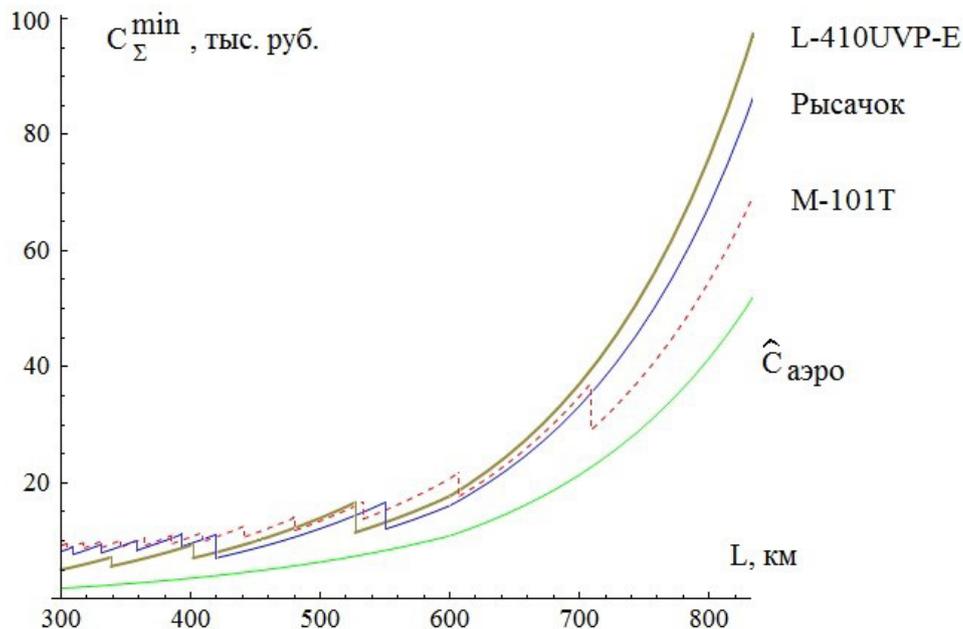


Рис. 8. Стоимость перевозки одного пассажира в зависимости от дальности полета, рассчитанная для γ по формуле (2), $T_{\Sigma}^{допуст} = 4$ часа

Введение ограничения «4 часа» сужает область применимости математической модели до $L < 800$ км. Существенный рост затрат на одного перевезенного пассажира при этом начинается от ~ 600 км. Однако качественные выводы о разделении специализации ВС в парке в зависимости от пассажироместимости остаются практически неизменными.

Выводы

На основе статистики внутренних авиаперевозок в России разработана математическая модель годовой авиационной подвижности населения ОТДМР, которая может использоваться при моделировании авиатранспортных систем МВЛ в качестве минимального уровня спроса на авиаперевозки. Предложенная модель может использоваться при формировании требований к дальности и вместимости требуемых ВС МВЛ. Расчеты на ее основе позволяют сделать заключение, что пассажиропотоки в удаленных районах будут больше, чем при средней по стране подвижности, а удельные затраты на перевозку одного пассажира — заметно ниже ранее сделанных оценок.

Как следствие, требуемый парк ВС также может быть больше прогнозируемого, однако распределение ВС по дальностям эффективного применения (и, соответственно, требования к их ЛТХ) будет таким: малые самолеты обслуживают отдаленные районы $L > 800$ км, а самолеты большей вместимости — относительно ближние районы в пределах 200–800 км. При этом необходимо подчеркнуть, что в последнем случае постановку задачи поиска оптимальных

решений по организации местных перевозок целесообразно расширить, включив в рассмотрение прочие виды транспорта, то есть наземный и, возможно, водный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшкова И.В., Попова Т.И. Планирование развития авиатранспортных систем в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах с использованием местных топливных ресурсов // Труды Пятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем», Москва, 03–05 октября 2011. М.: Учреждение Российской академии наук Институт Проблем управления им. Трапезникова РАН, 2011. С. 25–34.
2. Клочков В.В., Горшкова И.В., Молчанова Е.В. Авиатранспорт в малонаселенных регионах: оценка затрат и эффективности инновационных технологий // Региональная экономика: теория и практика. 2014. № 3. С. 58–68.
3. 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.
4. Егошин С.Ф. Оценка структуры полных затрат на пассажирские авиаперевозки в местном сообществе // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 28 (№ 339). С. 80–92.
5. Балашов В.В., Смирнов А.В., Цейтлина Т.О. Формирование перспективной сети местных воздушных линий России // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. С. 170–176.
6. Сервис «Яндекс-Карты» [электронный ресурс] // Интернет-портал [сайт] URL: <https://yandex.ru> (дата обращения 01.06.2017-31.08.2017)
7. Результаты всероссийской переписи населения 2014 года [электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (открытые данные) [сайт] URL: <http://gks.ru/opendata/dataset/7708234640-ca-08-001> (дата обращения 15.09.2016)
8. Бардаль А.Б. Обеспечение транспортной подвижности населения в Дальневосточном федеральном округе // Уровень жизни населения регионов России. 2013. № 1. С. 71–82.
9. Парыгина Д.В., Белькова Е.О. Развитие местных авиаперевозок в Амурской области // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2018. Т. 1. С. 92–95.
10. Демин С.С., Фридлянд А.А., Чубуков А.П. Перспективы посткризисного восстановления российского авиатранспортного рынка // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 34. С. 102–112.
11. Дутов А.В., Клочков В.В., Рождественская С.М. Измерение и нормирование транспортной связанности и качества транспортного обслуживания страны и ее регионов // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Институт научной информации по общественным наукам РАН, отдел научного сотрудничества; отв. ред. В.И. Герасимов. М.: Изд. ИНИОН РАН, 2019. С. 43–48.

REFERENCES

1. Gorshkova I.V., Popova T.I. Development planning of air transport systems in remote, inaccessible and sparsely populated regions using local fuel resources. *Trudy Pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii "Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem"*, Moskva, 03-05 oktyabrya 2011. [*Proceedings of the Fifth International Conference «Management of Large-Scale Systems Development»*]. Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova Rossiyskoy akademii nauk, 2011, pp. 25–34 (In Russian).
2. Klochkov V.V., Gorshkova I.V., Molchanova E.V. The air transport in sparsely populated regions: evaluating the cost and effectiveness of innovative technologies. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional economy: theory and practice*, 2014, no. 3, pp. 58–68. (In Russian).
3. Klochkov V.V., Rozhdestvenskaya S.M., Fridlyand A.A. The reasoning of priority directions of aircraft development for local airlines. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2018, no. 20, pp. 93–102. (In Russian).

4. Egoshin S.F. Estimation of the structure of full costs of local passenger air services. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 28, pp. 80–92. (In Russian).

5. Balashov V.V., Smirnov A.V., Tseytlina T.O. The development of a perspective network of Russian local airlines. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. A.N. Tupoleva = Bulletin of the Kazan State Technical University n.a. A.N. Tupolev*, 2013, no. 2, pp. 170–176. (In Russian).

6. Yandex-Map service. Available at: <https://yandex.ru> (accessed 01.06.2017-31.08.2017). (In Russian).

7. The results of All-Russian population census 2014. Federal State Statistics Service (open data). Available at: <http://gks.ru/opendata/dataset/7708234640-ca-08-001> (accessed 15.09.2016). (In Russian).

8. Bardal A.B. Ensuring transport mobility of the population in the Far Eastern Federal district. *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii = Living Standards of the Population in the Regions of Russia*, 2013, no. 1, pp. 71–82. (In Russian).

9. Parygina D.V., Bel'kova E.O. Development of air operations in Amurskiy region. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke = Scientific, technical and economic cooperation in the APR in the 21st century*, 2018, vol. 1, pp. 92–95. (In Russian).

10. Demin S.S., Fridlyand A.A., Chubukov A.P. Prospects for the post-crisis recovery of the Russian air transport market. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 102–112. (In Russian).

11. Dutov A.V., Klochkov V.V., Rozhdestvenskaya S.M. Measuring and rationing transport connectivity and quality of transport services in the country and its regions. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik. Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN, otdel nauchnogo sotrudnichestva, otv. redaktor V.I. Gerasimov = Russia: trends and Prospects of Development. Yearbook. Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, Department of Scientific Cooperation; Editor-in-chief V. I. Gerasimov. Moscow, INION RAN Publ., 2019, pp. 43–48. (In Russian).*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Егошин Сергей Федорович, главный специалист, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», ул. Жуковского, д. 1, г. Жуковский, Московская область, Российская Федерация, 140180; e-mail: sergey4791@yandex.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Egoshin Sergey F., Chief Specialist, National Research Center «Zhukovsky Institute»; Zhukovsky Street, 1, 140180 Zhukovsky, Moscow region, Russian Federation; e-mail: sergey4791@yandex.ru.

УДК 004.43:629.735.017.1.004.5

МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД В РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПОНЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В.А. ЕРЕМИН, Г.Е. ГЛУХОВ, С.А. ПЕТРУХИН, А.Н. ШАРЫПОВ, А.Ю. КОНЬКОВ

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

Аннотация. В статье затронуты вопросы создания программного обеспечения на основе модульного многоязычного подхода, модульности в разработке информационной системы мониторинга летной годности воздушных судов. Причины, по которым использование нескольких языков программирования в рамках одной информационной системы может оказаться более эффективным, чем использование одного языка. Рассматривается перевернутая пирамида программного обеспечения Ола Бини, ее предметный, динамический и стабильный слой. Проблемы выбора конкретного языка в зависимости от разных факторов. Рассматривается возможная реализация модульности и многоязычности в разработке веб-ориентированной информационной системы мониторинга летной годности воздушных судов и ее возможная архитектура, использование конкретных форматов данных и протоколов для организации взаимодействия модулей, совместная работа модулей с базой данных. Особо отмечаются важные преимущества модульного подхода для сложных информационных систем, такие как: улучшение надежности и защищенности системы, значительное упрощение тестирования сущностей системы, как отдельных модулей, простая возможность расширения кода модулей и добавления новых модулей.

Ключевые слова: информационная система, модульность, многоязычность, обработка информации, база данных, летная годности, аутентичность компонентов, пирамида Бини

MODULAR APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE LIFE CYCLE OF AIRCRAFT COMPONENTS

V.A. EREMIN, G.E. GLUKHOV, S.A. PETRUKHIN, A.N. SHARYPOV, A.YU. KONKOV

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

Abstract. The article deals with the issues of creating software based on a modular multilingual approach, modularity in the development of an information system for monitoring the airworthiness of aircraft. Reasons why using multiple programming languages within a single information system may be more effective than using a single language. Ola Bini's inverted software pyramid is considered, its subject, dynamic and stable layer. Problems of choosing a specific language depending on various factors. A possible implementation of modularity and multilingualism in the development of a web-based information system for monitoring the airworthiness of aircraft and its possible architecture, the use of specific data formats and protocols for organizing the interaction of modules, and the joint operation of modules with a database are considered. The important advantages of the modular approach for complex information systems are especially noted, such as: improving the reliability and security of the system, greatly simplifying the testing of system entities as separate modules, the simple ability to expand the code of modules and add new modules.

Keywords: information system, modularity, multilingualism, information processing, database, airworthiness, component authenticity, Beanie pyramid

Введение

На данный момент не создано языка программирования, который в полной мере решает все задачи информационных систем. В настоящее время существует большое количество языков, но продолжают появляться новые. Устаревшие языки не исчезают, на них написаны различные программы, и они продолжают работать. Это значит, что необходимы специалисты для развития и сопровождения существующих программ, написанных на этих языках. Вероятно, не следует ориентироваться на редко распространенные или устаревшие языки. В некоторых компаниях или организациях, в силу их специфики, могут использоваться и такие языки [1].

Текущее представление языков выглядит примерно так:

- Старые (Basic, Pascal, Fortran, Cobol, PL/I, Ada, Lisp и др.).
- Мейнстримные (PHP, C, C++, Java, C#, JavaScript, Python, Ruby и др.).
- Новые и будущие (Go, Hack, Kotlin, Rust, Scala, Swift и др.).
- Нишевые (Clojure, D, Haskell, OCaml и др.).

Существует большое количество причин, по которым создаются новые языки. Одна из главных – появление новых задач, для которых реализация решений на существующих языках либо невозможна, либо осуществляется не в полной мере [2]. Ниже перечислены несколько причин появления новых языков:

1. Несоответствие существующих языков программирования новым задачам и возросшим требованиям.
2. Недостаточность уровня абстракции в существующих языках для уровня сложности решаемых задач.
3. Необходимость избавиться от архаичного наследия «старых» языков.
4. Эволюция существующих программно-аппаратных платформ и появление новых.
5. Желание контролировать развитие языка.
6. Для проверки положений теории языков на практике или обучения.
7. Маркетинг, формирование/повышение имиджа компании, продвижение товара (например J#).
8. Энтузиазм отдельных разработчиков.

Представленная ниже таблица показывает, что, несмотря на наличие существующих языков программирования, решающих аналогичные задачи, известные IT-компании не используют готовые языки программирования, а разрабатывают собственные (табл. 1).

Многоязычные приложения, структура

Использование нескольких языков в проектах открывает новые возможности разработки программных систем. В таких системах под каждую задачу выбирается именно тот язык, средствами которого достигается наилучший результат. Эффект подхода достигается за счет использования преимуществ языка в тех частях, для которых выбранный язык будет максимально эффективным, и компенсации недостатков в тех, где лучше всего использовать другой язык [3].

Таблица 1

Новые языки от известных IT-компаний, которые появились за последние 10 лет

Компания	Год	Язык	Описание
Google	2009	Go	ориентирован на разработку сетевых многопоточных сервисов
	2011	Dart	замена JavaScript
Mozilla	2010	Rust	язык реализации алгоритмов (многоядерные архитектуры)
JetBrains (СПб, Россия)	2011	Kotlin	замена Java
RedHat	2011	Ceylon	«упрощенный» Java
Microsoft	2012	TypeScript	«улучшенный» JavaScript
Apple	2014	Swift	язык общего назначения (замена C)
Facebook	2014	Hack	замена PHP

Для понимания того, какие языки и в каком сочетании использовать в многоязычных проектах, можно рассмотреть структуру приложения по слоям: три слоя. Представим их в виде перевернутой пирамиды (рис. 1). Пояснения к рис. 1 приведены в табл. 2.

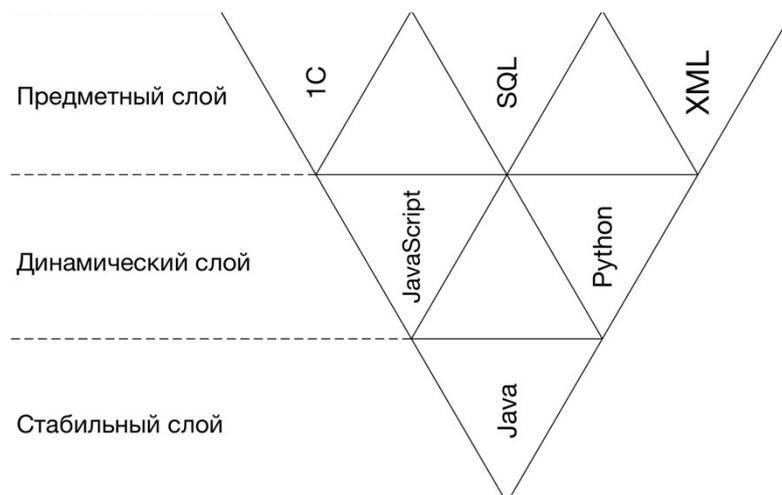


Рис. 1. Пирамида Бини

Приложения стабильного слоя, который находится на вершине перевернутой пирамиды, отвечают самым высоким требованиям по стабильности, производительности и отсутствию ошибок.

Написание программ на языках – самое дорогостоящее и трудоемкое. Неспроста пирамида является перевернутой – программное обеспечение (ПО) этого уровня существует в меньшинстве. Но затраты на создание такого ПО вполне себя оправдывают благодаря тому, что библиотеки этого слоя в значительной мере переиспользуются ПО из верхних слоев.

В динамическом слое находится ПО, которое достаточно ответственное, чтобы создавать ПО высокого уровня качества, но, одновременно, достаточно гибкое, чтобы трудоемкость создания была ниже, чем из стабильного слоя.

Верхний слой – низкий уровень ответственности, самый нестабильный. Здесь не предъявляются высокие требования к уровню знаний программиста. Вследствие чего обеспечивается большое количество разработчиков. Основное назначение данного слоя – быстрая разработка ПО. К этому слою относятся языки без контроля типов для создания ПО

типа front – end и DSL для создания прикладного ПО. Эти языки максимально приближены к своим потребителям, причем, в такой мере, что даже знаний непрограммиста может хватить для создания веб-сайта или построения базы данных для личных целей. Самый значительный объем ПО находится именно в этом слое и ему соответствует самая широкая часть пирамиды.

Таблица 2

Пояснения к пирамиде Бини

Слой	Описание	Языки
Предметный слой	Быстрая прикладная разработка	SQL, XML, XAML, IC, веб-шаблонизаторы
Динамический слой	Гибкая, продуктивная разработка	Clojure, Python, JavaScript
Стабильный слой	Стабильный, с высокой производительностью, протестированный функционал	Java, C#, Scala

Выбор языка в проекте зависит от большого количества факторов. Ответив на некоторые вопросы, можно определиться с языком разработки:

- Насколько быстро может быть освоен язык?
- Существует ли сообщество языка и насколько оно развивается?
- Как быстро могут быть найдены нужные разработчики?
- Насколько разнообразны и эффективны существующие фреймворки?
- Насколько легко язык интегрируется в многоязычную среду?

Кратко о модульном программировании

Модульное программирование – это организация программы в виде совокупности независимых блоков, которые называются модулями. Их поведение и структура подчиняются определенным правилам. С использованием модульного программирования значительно упрощается обнаружение ошибок и тестирование программы [4].

Модульность в языках программирования – это принцип, согласно которому программное обеспечение разделяется на отдельные сущности, называемые модулями. Модуль характеризуют:

- один вход и один выход – на входе модуль получает некоторый набор исходных данных, выполняет их обработку и возвращает данные результата; реализуется принцип IPO: input – process – output, вход – процесс – выход;
- функциональная завершенность – модуль выполняет регламентированные операции для реализации каждой отдельной функции, достаточные для завершения начатой обработки;
- логическая независимость – результат работы модуля не зависит от работы других модулей, а зависит только от исходных данных.

Принципы модульного программирования программных продуктов во многом сходны с принципами нисходящего проектирования. В начале определяются состав и подчиненность функций, затем – набор программных модулей, реализующих эти функции (рис. 2) [5, 6].

Однотипные функции реализуются одними и теми же модулями. Функция верхнего уровня обеспечивается главным модулем; он управляет выполнением нижестоящих функций, которым соответствуют подчиненные модули.

Для определения набора модулей, реализующих функции какого-либо конкретного алгоритма, необходимо учитывать следующее:

- каждый модуль вызывается на выполнение вышестоящим модулем и, по окончании работы, производит возврат управления модулю, который его вызвал;

- в алгоритме принятие основных решений выносится на максимально «высокий» по иерархии уровень;
- если одна и та же функция используется в разных местах алгоритма, то создается один модуль, который вызывается по необходимости. В результате дальнейшей детализации алгоритма создается функционально-модульная схема алгоритма, которая является основой для программирования.

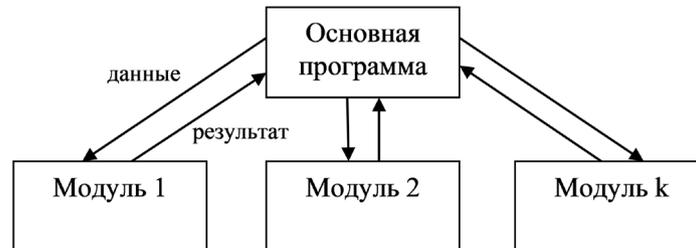


Рис. 2. Модули

Реализация многоязычности и модульности в разработке информационной системы

Общая структура информационной системы мониторинга летной годности воздушных судов представлена на рис. 3.

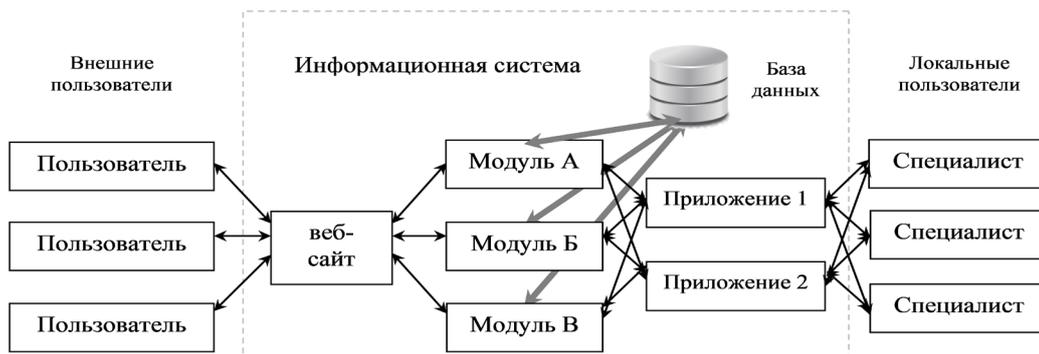


Рис. 3. Общая структура информационной системы

Веб-сайт. Веб-сайт может располагаться на сервере в дата-центре хостинговой компании или непосредственно на территории ГосНИИ ГА. По сути, представляет из себя интерактивный графический интерфейс. Внешние пользователи могут видеть информацию, хранящуюся в базе данных, фильтровать, сортировать, составлять условия для запросов и формировать различные виды отчетов. Обмен данных происходит с модулями в формате json.

Понятие JSON. JSON (JavaScript Object Notation) – это текстовый формат представления данных в нотации объекта JavaScript. JSON предназначен (наравне с другими форматами XML и YAML) для обмена данными.

Несмотря на свое название, JSON можно использовать не только в JavaScript, но и в любом другом языке программирования [7, 8].

JSON по сравнению с другими форматами обладает достаточно весьма существенным преимуществом. Он, в отличие от них, является более компактным, что очень важно при обмене данными в сети Интернет. Кроме этого, JSON более прост в использовании, его намного проще читать и писать, в сравнении с другими форматами.

Модули. Модули могут быть реализованы на разных языках программирования (например: go, python, c++). В сложившейся мировой практике для веб-систем наибольшее распространение для обмена информацией получили протокол обмена данными http и формат описания данных json. Модули работают на так называемом сервере приложений в качестве сервисов, постоянно находятся в памяти и ожидают входные данные.

Каждый модуль является автономной законченной программой, которая реализует отдельный строгий функционал. Задача модуля состоит в том, чтобы принять данные (от веб-сайта или от приложений), сделать при необходимости первичную обработку данных и отправить запрос в базу данных (рис. 4, рис. 5).

При поступлении ответа из базы данных происходит обработка полученной информации и ее отправка владельцу запроса (на веб-сайт или приложение) [9, 10].

Например, модуль А отвечает за обработку запросов по информации об аутентичности агрегатов авиакомпании.

```
POST /json/ HTTP/1.1
Host: api.xxxxxxxxxx.ru
Content-Length: 100
Content-Type: application/json; charset=utf-8

{
  "function": "GetAuthInfoBC",
  "user_id": "1",
  "ca": "COMP1",
  "bn": "12345"
}
```

Рис. 4. Пример json-запроса от внешнего источника к модулю (пользователь запрашивает данные по борту 12345, принадлежащему авиакомпании с условным кодом COMP1)

```
{
  "response_type": "data",
  "user_id": "1",
  "ca": "COMP1",
  "bn": "12345",
  "agr_num": "2",
  "agr": [
    { "zn": "11111",
      "gn": "8-1950-000",
      "dv": "1989-12-25",
      "verify_date": "2019-07-21",
      "authent": "4. Компонент ВС неутвержден
изготовителем",
    },
    { "zn": "22222",
      "gn": "КАУ-115АМ",
      "dv": "1992-10-30",
      "verify_date": "2020-03-10",
      "authent": "6. Неутвержденный по заключению
экспертов ИАЦ ГосНИИ ГА",
    }
  ],
  "order_completed": "1"
}
```

Рис. 5. Пример json-ответа от модуля к источнику запроса (найдено 2 агрегата); информация содержит данные о заводском номере агрегата, шифре, дате выпуска, дате фотодокументирования и информации об аутентичности)

База данных. База данных (хранилище информации) может быть расположена на отдельном сервере. В базу данных поступают запросы только от модулей, происходит выборка и результат поступает обратно на модули.

Приложения. Приложения для локальных пользователей могут быть как десктопными, так и веб-приложениями. Для реализации приложений в данном случае выбор языков достаточно богат.

Выводы

В сложных информационных системах находят применение многоязычные проекты с использованием модульности. Модули могут быть реализованы на разных языках и платформах. Использование модульности и многоязычности в применении к разработке программного обеспечения дает скорость, надежность, защищенность. Сочетание указанных методов способствует многократному использованию сущностей, улучшает тестируемость и расширяемость кода. В случае внесения изменений, доработок в один модуль, не затрагиваются другие модули и система в целом продолжает функционировать.

Применение описанных методов позволяет использовать единую базу данных для работы как локальных пользователей и специалистов, так и внешних, с использованием единых алгоритмов запросов и обработки информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный интернет ресурс. URL: <https://infostart.ru/1c/articles/975701/> (Дата обращения: 02.03.2021).
2. Вигерс К., Битти Дж. Разработка требований к программному обеспечению. 3-е изд., доп. Пер. с англ. М.: Русская редакция; СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 736 с.
3. Фаулер М. Предметно-ориентированные языки программирования. Пер. с англ. М.: ООО «ИД Вильямс», 2011. 576 с.
4. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование. Структуризация сложных программных систем. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. 448 с.
5. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Д. Приемы объектно-ориентированного программирования. Паттерны проектирования. СПб: Питер, 2015. 368 с.
6. Фримен Э., Робсон Э. Паттерны проектирования. Обновленное юбилейное издание. СПб.: Питер, 2018. 656 с.
7. Эванс Б., Вербург М. Java. Новое поколение разработки. СПб.: Питер, 2014. 560 с.
8. Петрухин С.А., Глухов Г.Е., Ладыгина Н.Н. Двоичная классификация авиационных текстов с использованием нейронной сети // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 34. С. 50-58.
9. 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.
10. Brusnikin V. Yu., Sharypov A.N., Glukhov G.E., Karapetyan A.G., Koval S.V., Chernikov P. E. Aircraft components life cycle monitoring system as an element of the state control of aviation equipment operation maintenance. Test Engineering and Management/ Mattingley Publishing Co., Inc. ISSN:0193–4120. Pp. 14 535–14 545.

REFERENCES

1. Internet information resource. Available at: <https://infostart.ru/1c/articles/975701/> (Accessed: 02.03.2021).
2. Wiegers K., Beatty J. *Razrabotka trebovanij k programmnomu obespecheniyu* [Software requirements]. Third Edition. Moscow. Russkaya redaktsiya Publ., St. Petersburg. BHV-Petersburg Publ., 2014, 736 p. (In Russian).

3. Fowler M. *Predmetno-orientirovannye yazyki programmirovaniya* [Subject-oriented programming languages]. Moscow, Williams Publishing House, 2011, 576 p. (In Russian).
4. Evans E. *Predmetno-orientirovannoe proektirovanie. Strukturizatsiya slozhnykh programmnykh system* [Subject-oriented design. Restructuring Complex Software Systems]. Moscow, Williams Publishing House, 2017, 448 p. (In Russian).
5. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. *Priemy ob`ektno-orientirovannogo programmirovaniya. Patterny proektirovaniya* [Methods of object-oriented programming. Design Patterns]. St. Petersburg, Piter Publ., 2015, 368 p. (In Russian).
6. Freeman E., Robson E. *Patterny proektirovaniya* [Design patterns]. Updated anniversary edition. St. Petersburg, Piter Publ., 2018, 656 p. (In Russian).
7. Evans B., Verburg M. *Java. Novoe pokolenie razrabotki* [Java. A new generation of development]. St. Petersburg, Piter Publ., 2014, 560 p. (In Russian).
8. Petrukhin S.A., Glukhov G.E., Ladygina N.N. Binary classification of aviation texts using a neural network. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 50-58. (In Russian).
9. 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 normative-methodical library of civil aviation. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 91–101. (In Russian).
10. Brusnikin V. Yu., Sharypov A.N., Glukhov G.E., Karapetyan A.G., Koval S.V., Chernikov P. E. Aircraft components life cycle monitoring system as an element of the state control of aviation equipment operation maintenance. *Test Engineering and Management/ Mattingley Publishing Co., Inc. ISSN:0193–4120*, pp. 14 535–14 545.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Еремин Владимир Александрович, ведущий инженер Информационно-аналитического центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: eremin@mlgvs.ru.

Глухов Геннадий Евгеньевич, заместитель директора Центра по информационным технологиям, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: glukhov@mlgvs.ru.

Петрухин Сергей Александрович, старший инженер Информационно-аналитического центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: petruhin@mlgvs.ru.

Шарыпов Андрей Николаевич, заместитель директора центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: sharypov@mlgvs.ru.

Коньков Александр Юрьевич, заместитель начальника отдела Информационно-аналитического центра, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: konkov@mlgvs.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Eremin Vladimir A., Lead Engineer of Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125348 Moscow, Russian Federation; e-mail: eremin@mlgvs.ru.

Glukhov Gennady E., Deputy Director of the Center for Information Technology, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, Building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: glukhov@mlgvs.ru.

Petrukhin Sergey A., Senior Engineer of Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, Building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: petruhin@mlgvs.ru.

Sharypov Andrey N., Deputy Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: sharypov@mlgvs.ru.

Konkov Alexander Yu., Deputy Head of Department of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: konkov@mlgvs.ru.

УДК 338.24:629.73

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ФИНАНСИРОВАНИИ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ В АВИАСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

С.С. ДЕМИН, В.Д. КАЛАЧАНОВ, Н.С. ЕФИМОВА, А.Н. НОВИКОВ

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассмотрена проблема формирования оптимальной экономически безопасной стратегии финансирования разработки инновационной продукции предприятий авиастроения. Выявлены проблемы обеспечения конкурентоспособности инновационной продукции авиастроительной отрасли, связанные с финансовой структурой предприятий отрасли. Проанализирована существующая структура финансирования предприятий авиастроительной отрасли, выявлены недостатки, требующие применения специальных методов обоснования и оптимизации управленческих решений в области финансирования. Проведен PEST-анализ авиастроительной отрасли, определены основные факторы внешней среды, влияющие на экономическую эффективность предприятий и конкурентоспособность их продукции. Сделаны выводы о влиянии факторов на деятельность предприятий авиастроения. Проанализирована динамика объемов финансирования авиастроительной отрасли, выявлены тенденции в изменении структуры источников финансирования. Обоснованы методы экономико-математического моделирования задачи построения оптимальной стратегии финансирования. Для оптимизации структуры капитала авиастроительных предприятий предлагается использовать корреляционно-регрессионный анализ, теорию игр, балансовые уравнения. Разработаны модели на основе ретроспективных данных, позволяющие сделать обоснованные выводы о ключевых факторах эффективности выбора источников финансирования. Проверена адекватность построенных экономико-математических моделей. Сделанные выводы дают возможность повысить эффективность использования ресурсов и обеспечить конкурентоспособную себестоимость новых образцов отечественной авиационной техники.

Ключевые слова: экономическая безопасность, стратегия финансирования, регрессионная модель, инновационная продукция, предприятия авиастроения, оптимизация, экономико-математическое моделирование, авиастроительная отрасль

ENSURING ECONOMIC SECURITY WHEN FINANCING THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE AIRCRAFT PRODUCTS

S.S. DEMIN, V.D. KALACHANOV, N.S. EFIMOVA, A.N. NOVIKOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract. The article deals with the problem of forming an optimal cost-effective strategy for financing the development of innovative products of aircraft manufacturing enterprises. The problems of ensuring the competitiveness of innovative products of the aircraft industry related to the financial structure of the industry enterprises are identified. The existing structure of financing of the aircraft industry enterprises is analyzed, the shortcomings requiring the use of special methods of justification and optimization of management decisions in the field of financing are revealed. The PEST analysis of the aircraft industry was carried out, the main environmental factors affecting the economic efficiency of enterprises and the competitiveness of their products were identified. Conclusions are drawn about the influence of

factors on the activities of aircraft manufacturing enterprises. The dynamics of the volume of financing of the aircraft industry is analyzed, and trends in changing the structure of funding sources are identified. The methods of economic and mathematical modeling of the problem of constructing an optimal financing strategy are justified. To optimize the capital structure of aircraft manufacturing enterprises, it is proposed to use correlation and regression analysis, game theory, and balance equations. Models based on retrospective data have been developed that allow us to draw reasonable conclusions about the key factors of the effectiveness of the choice of funding sources. The adequacy of the constructed economic and mathematical models is checked. The conclusions made make it possible to increase the efficiency of resource use and ensure a competitive cost of new models of domestic aviation equipment.

Keywords: economic security, financing strategy, regression model, innovative products, aircraft manufacturing enterprises, optimization, economic and mathematical modeling, aircraft industry

Введение

В процессе разработки инновационной продукции перед руководством авиастроительного предприятия стоит задача обеспечения экономической безопасности предприятия на период до выведения новых образцов авиационной техники на рынок. Разработка новых видов авиационной техники является очень длительным и дорогостоящим процессом, что обуславливает особые сложности с привлечением финансирования и его обслуживанием на срок до наступления окупаемости инвестиций в НИОКР.

Эта задача решается в двух направлениях: эффективного использования имущества предприятия и рационального управления привлечением денежных средств. Второе направление должно рассматриваться также в двух аспектах: управления денежными потоками в целях минимизации потребности в денежных средствах и нахождения оптимальных форм и способов финансирования деятельности предприятия [1].

Развитие финансовой инфраструктуры и разнообразие финансовых инструментов, а также способов и источников финансирования деятельности авиационных предприятий усложняет задачу эффективного выбора способов финансирования. В связи с этим особую актуальность приобретает задача разработки инструментария принятия решений о структуре финансирования деятельности организаций — соответствующих алгоритмов принятия решений и экономико-математических моделей [2, 3].

Анализ организации финансирования

Прежде чем определять адекватные методы обеспечения экономической безопасности авиастроительного предприятия при формировании стратегии финансирования его инновационных разработок, необходимо провести анализ существующей структуры финансирования и общего положения авиастроительных предприятий как хозяйствующих субъектов. Для выявления стратегических неопределенностей и альтернатив, поиска возможностей и угроз был проведен PEST-анализ авиастроительной отрасли, результаты которого представлены в табл. 1.

По результатам проведенного анализа макроокружения авиастроительной отрасли на сегмент оказывают влияние технологические и политические факторы, т. к. развитие авиационной промышленности — одна из стратегических задач государства [4].

Поскольку политические аспекты находятся вне зоны влияния менеджмента авиационных предприятий, приоритетным направлением развития отрасли является технологическое совершенствование, что подразумевает разработку инновационной продукции авиастроения [5].

Финансирование авиационных проектов осуществляется путем выделения средств из федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации на федеральные целевые программы в целях обеспечения государственных нужд (разработки, производства, испытаний,

эксплуатации, ремонта и утилизации авиационной техники) в порядке, установленном законодательством. Объемы финансирования авиастроительной отрасли с прогнозом на период до 2025 года представлены на рис. 1.

Предусмотренное государственное финансирование направлено на организацию эффективного производства конкурентоспособной продукции (софинансирование НИОКР, модернизация производственных мощностей и процессов) и на поддержку всего жизненного цикла выпускаемой продукции.

Помимо этого, начиная с 2013 года, интенсивно растет доля заемного капитала в балансах большинства предприятий гражданского самолетостроения (на 200–400 % по большинству публичных акционерных обществ, по которым доступна финансовая информация). Эффективная инвестиционная деятельность невозможна без привлечения заемного капитала. Использование заемных средств позволяет компаниям существенно расширить масштабы своей деятельности, достичь более эффективного использования собственного капитала, а также значительно ускорить темпы реализации инновационных проектов [6].

Однако принятие решений о привлечении заемного капитала должно быть взвешенным и обоснованным. Низкая доля заемного капитала приводит к недоиспользованию более дешевых ресурсов, ограничивает развитие предприятий, повышает требования к доходности проектов из-за потенциально высокой стоимости финансирования. Чрезмерная доля заемного капитала существенно увеличивает финансовые риски инвесторов, которые также повышают требования к стоимости заемных ресурсов [7].

Таблица 1

PEST-анализ авиастроительной отрасли

Факторы внешней среды	Значимость	Выводы
Политические факторы		
Государственный контроль за деятельностью	+1	Способствует укреплению позиций и продвижению товара на мировом рынке
Либерализация внешнеэкономического сотрудничества	+1	Предоставляет возможность заключать контракты с большим количеством стран; в настоящее время уровень «теневой» экономики велик и в связи с кризисом, есть большая вероятность «потемнения» экономики
Государственное регулирование конкуренции в отрасли	+1	Обеспечивает слияние некоторых компаний отрасли
Внесение предприятий отрасли в санкционный список	-1	Приводит к потере торговых отношений с иностранными заказчиками
Экономические факторы		
Высокий темп роста инфляции	-1	Уровень инфляции 2018г. – 2,5 %
Динамика курса валют	-1	74 руб. – доллар США; 88 руб. – евро; повышение себестоимости продукции
Инвестиционный климат в отрасли	-1	Ограниченный объем инвестиционных ресурсов влечет за собой частое отсутствие возможности формировать и реализовывать прорывные проекты
Ухудшение кредитных условий	-1	Ухудшаются условия внутреннего кредитования предприятий отрасли (снижение наличной ликвидности)
Степень глобализации и открытости экономики	+1	Повышаются экспортные возможности

Продолжение таблицы 1

Факторы внешней среды	Значимость	Выводы
Социальные факторы		
Уровень здравоохранения и образования	+1	Высокий уровень образования населения, тенденции к ухудшению оказываемых услуг в сфере здравоохранения
Технологические факторы		
Уровень инноваций и технологического оснащения отрасли	+1	Инновации в отрасли достигают значительно высокого уровня
Доступ к новейшим технологиям	+1	Обеспечивается после вступления в ВТО; позволяет повысить качество производимой продукции с эффективным расходованием имеющихся ресурсов

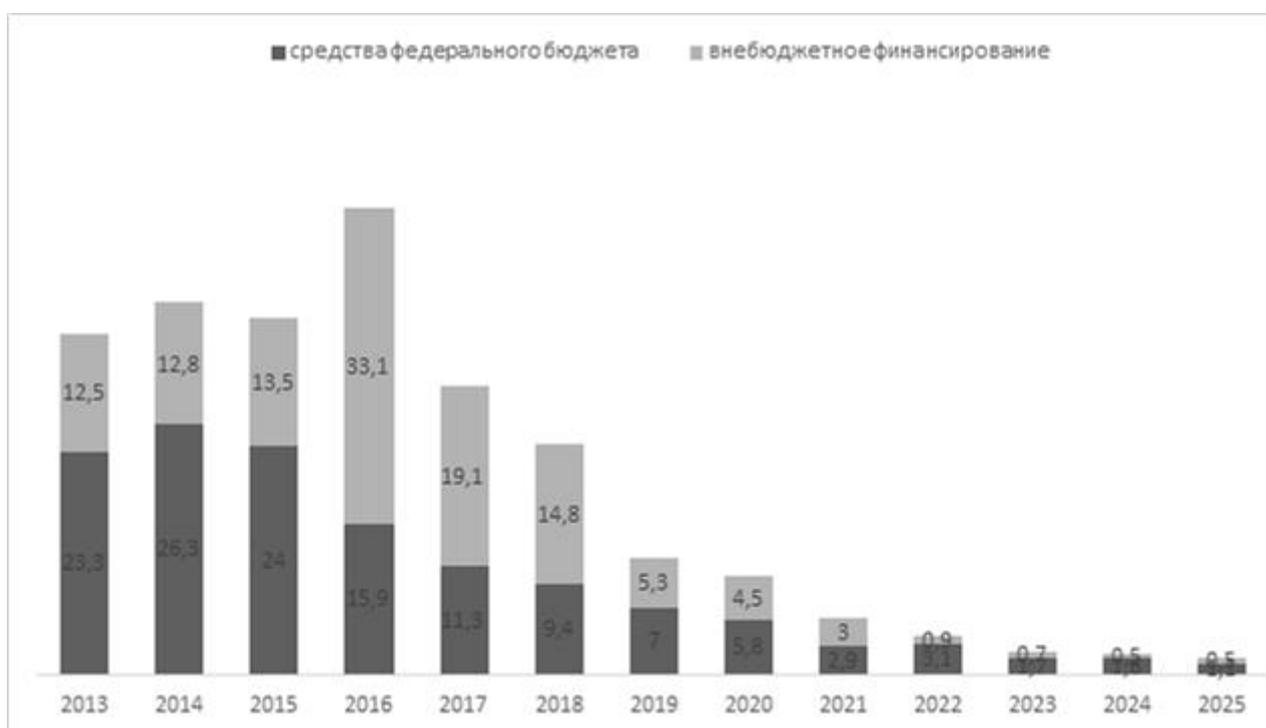


Рис. 1. Объемы финансирования программы развития авиастроительной отрасли на период 2013–2025 гг., млрд рублей

Постановка задачи

Выбор тех или иных методов управления финансированием зависит от степени долгосрочности целей, характера деятельности предприятия, экономической среды, в которой оно функционирует. Под экономической сферой в рамках работы необходимо рассматривать комплекс факторов, прямых или косвенно оказывающих влияние на систему финансового обеспечения деятельности предприятия. При этом определение среды как «экономической» объясняется тем, что она влияет на финансовую систему предприятия; природа же факторов, характеризующих среду, может быть различной (не только экономической, но и политической, техногенной, антропогенной и т. д.).

Методы

Как и любая процедура управления, управление финансированием должно иметь свой алгоритм управления и инструменты управления. Для формирования оптимальной стратегии финансирования инновационных разработок продукции предприятий авиастроения должны использоваться экономико-математические модели. Можно использовать различные математические методы.

Одним из вариантов является *модель на основе корреляционно-регрессионного анализа*, использующая ретроспективные данные о финансировании и эффективности авиастроительных предприятий.

В такой модели в качестве результирующего фактора используется внутренняя норма доходности по проекту (ставка IRR) в связи с тем, что этот показатель определяет верхнюю границу доходности проекта, и, соответственно, максимальные удельные затраты по нему.

В модели используются следующие переменные:

- стоимости собственного и заемного капитала;
- средневзвешенная стоимость капитала;
- доли собственного и заемного капитала.

Все переменные подбираются на основе тестовых расчетов по показателям вариации, среднего линейного отклонения, дисперсии и среднеквадратичного отклонения. Это дает представление об однородности совокупности значений [8].

Другой вариант модели – разработанная авторами *теоретико-игровая модель на основе математического аппарата теории антагонистических игр*, где рассматриваются различные сценарии внешних воздействий и рассчитывается оптимальная структура финансирования, дающая максимальный гарантированный выигрыш (либо минимальную стоимость финансирования) [9].

Авторами разработаны также балансовые модели оптимизации структуры финансирования авиастроительных предприятий, позволяющие динамически оптимизировать структуру источников финансирования в каждом интервале планового периода [10].

Необходимость предлагаемых методов при разработке стратегии управления финансированием инновационной деятельности авиастроительного предприятия обуславливается дополнением существующей практики выбора способов удовлетворения потребности предприятия в денежных средствах аппаратом, позволяющим учитывать неопределенность в процессе принятия решений и формировать комплексное соотношение использования различных форм и схем финансирования деятельности предприятия авиастроения. Рассмотрим актуальность предложений в двух аспектах: формирования комплексного решения о выборе источников финансирования и учета неопределенности в самом комплексном решении.

1. *Формирование комплексного решения*. Вопросы принятия решений о выборе источников финансирования являются предметом исследования международного научного сообщества. Многие зарубежные ученые (Ч. Ли и Дж. Финнерти, Ю. Бригхэм и Л. Гапенски и др.), а также отечественные (Ковалев В.В., Грязнова А.Г., Бланк И.А., Шеремет А.Д.) в своих трудах по корпоративным финансам рассматривают разнообразные источники финансирования, их назначение, параметры, условия применения. Разработан широкий инструментарий оценки требуемых параметров источников финансирования и эффективности их применения.

Однако во всех подобных капитальных трудах рассматриваются только возможности использования тех или иных источников. Например, пишется отдельная глава об эмиссии акций, где описываются их свойства, назначение, условия выпуска. На практике же задача возникает в обратной формулировке: существует потребность в денежных средствах, и нужно выбрать оптимальное по заданным критериям соотношение источников финансирования. Здесь авторы не дают конкретных рекомендаций, ссылаясь на то, что эта задача «должна решаться по ходу действия». Не подлежит сомнению, что выбор формы финансирования часто определяется неформализуемыми факторами (например, степенью доступа к ресурсам). Однако это не

снимает необходимости оценки эффективности решения, его альтернативных издержек, поиска оптимальной схемы финансирования.

Предлагаемый алгоритм процедуры выбора способов финансирования, будучи основанным на аппарате теории антагонистических игр, включает модель линейного программирования. Это позволяет находить оптимальное по выбранному критерию решение, характеризующее соотношение различных источников финансирования (и даже шире – способов удовлетворения потребности предприятия в денежных средствах, включая внутренние возможности управления денежными потоками) в покрытии потребности в денежных средствах [11].

2. *Учет неопределенности в решении.* Изучение литературы по коммерческому бюджетированию показывает, что не разработаны (либо не применяются широко) методы учета неопределенности в процессе бюджетирования. Поскольку неопределенность связана с возможностью отклонения фактических значений показателей от плановых, мы приходим к понятию риска потерь вследствие принятия неоптимальных по выбранным критериям решений.

В литературе, посвященной бюджетированию, используются элементарные расчеты, дающие оценку риска, но не предложены математические методы по их включению в систему принятия решений. В качестве основных способов защиты от коммерческого риска называют: уклонение от рисков (отказ от рискованных проектов); локализацию рисков путем создания отдельных юридических лиц для реализации рискованных проектов (проектной компании – special purpose vehicle, SPV); диверсификацию видов деятельности; распределение рисков между участниками; резервирование; страхование; лимитирование.

Можно видеть, что ни один из названных способов не дает обоснованной информации, вытекающей из степени риска, о том, какое решение, в каких пропорциях и объемах реализовывать. Указываются пути снижения риска, а не его учета. Сам же риск определяют как соотношение возможных убытков и ожидаемого дохода либо статистическими методами на основании колебаний доходов.

Очевидно, что первый вариант нельзя учесть в решениях вообще (кроме как при расчете требуемых резервов либо параметров страхования), а второй основан на ретроспективных данных и к планированию (особенно с учетом быстро меняющейся экономической среды) малоприменим.

Помимо этого, большинство авторов полагают, что финансовое планирование должно быть многовариантным, чтобы учесть возможные изменения в денежных потоках. Предлагают формировать оптимистический и пессимистический сценарий развития событий. Таким образом, подразумевается формирование не одного набора бюджетов, а целой серии комплектов, что приводит к значительному увеличению трудоемкости бюджетирования (и поэтому многие предприятия не ведут его), и в то же время все равно формируется не одно решение, которое учитывало бы все риски, а несколько вариантов, применяемых в зависимости от складывающейся ситуации. Получается, что предприятие вместо того, чтобы действовать, предусмотрев все альтернативы и выбрав наилучшую, теряет инициативу и пассивно ожидает осуществления той или иной из спрогнозированных ситуаций [12].

Результаты

Предложенные авторами методы планирования финансирования деятельности авиастроительного предприятия, основанные на экономико-математическом моделировании управления структурой финансирования, позволяют учесть ряд недостатков традиционной организации управления финансированием на предприятиях. Предложенные модели, будучи примененными на одном из этапов финансового планирования, а именно: при выборе способов финансирования, позволяют предприятию сформировать активную рациональную тактику управления финансированием процессов в высокотехнологичных отраслях промышленности при производстве инновационной продукции, в том числе новых разработок авиационной техники.

Выводы

Проведенный выше анализ позволяет выявить наиболее предпочтительные способы финансирования среди присущих авиастроительной отрасли. Таким способом является корпоративное финансирование, основное преимущество которого заключается в возможности формирования и развития частно-государственного партнерства. Также к существенному плюсу относится возможность перераспределения денежных потоков, генерируемых проектов, по наиболее преимущественным в определенный момент времени направлениям, что позволит снизить финансовые риски инновационных проектов.

Среди недостатков существующей стратегии финансирования был выявлен достаточно высокий уровень затрат на приобретение оборудования, производимого не в Российской Федерации. При корпоративном финансировании есть возможность устранения этого недостатка – использование оборудования иностранных организаций на основе партнерства посредством лизинга.

Высокая доля заемных средств существенно влияет на эффективность стратегии финансирования. В связи с этим предлагается использование привлеченных средств в больших объемах и существенное снижение размера и стоимости заемного капитала.

На основе регрессионной модели был выявлен оптимальный метод финансирования инновационных проектов в сфере авиастроения, а также источники и формы финансирования. Предложенная стратегия позволяет устранить недостатки существующей стратегии финансирования или значительно уменьшить их влияние на реализацию и эффективность инновационных проектов.

Модели оптимизации стратегии финансирования на основе теоретико-игровых и балансовых моделей позволяют обеспечить экономическую безопасность при финансировании разработки инновационной техники, избежать дефицита денежных средств и срыва производственных процессов.

Совершенствование стратегии финансирования позволяет устранить выявленные недостатки на основе следующих предложений:

- использования корпоративного финансирования;
- вместо приобретения дорогостоящего оборудования предлагается брать его в лизинг у иностранных партнеров;
- сокращения объемов заемных средств путем выпуска ценных бумаг предприятиями отрасли.

В каждом отдельном случае предлагается использование регрессионной модели для более точной оценки и прогнозирования значения внутренней нормы доходности при отобранных источниках и объемах финансирования.

Предложенные модели успешно апробированы в процессе финансового планирования авиастроительных предприятий и доказали свою эффективность и целесообразность использования на микро- и макроэкономическом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов Т.А. Минные поля проектного финансирования: Пособие по выживанию для кредитных работников и инвесторов. М.: Альпина Бизнес Букс, 2016. С. 310.
2. Соколов Е.В., Гайворонская К.Д. и др. Управление финансами наукоемких предприятий. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2015. С. 523.
3. Кутнов И. Финансовая альтернатива или какой способ финансирования выбрать [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arendator.ru/articles/5/art/19903>. (Дата обращения 18.03.2021).
4. Судоплатов А.П., Лекарев С.В. Безопасность предпринимательской деятельности. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2015. С. 381.

5. Харин А.А., Коленский И.Л., Пущенко Н.Н. Управление инновациями: базовые компоненты управления инновационными процессами: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2012. С. 176.
6. Харин А.А., Коленский И.Л., Пущенко Н.Н. Управление инновациями: управление финансами в инновационных процессах. М.: Высшая школа, 2013. С. 78.
7. Абдукаримов И.Т. Анализ состояния и использования заемного (привлеченного) капитала на основе бухгалтерской (финансовой) отчетности // Актуальные вопросы экономики и управления. 2015. № 4(050). С. 9–13.
8. Романова Н.А. Корреляционно-регрессионный анализ инвестиционных проектов коммерческой недвижимости // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Том 7. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/73EVN115.pdf>. (Дата обращения 18.03.2021).
9. Калачанов В.Д., Калачанов В.В., Новиков А.Н., Пронькин Н.Н. Критерии оптимального управления финансированием производственной деятельности предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности (на примере авиастроения) // Организатор производства, 2016. № 1. С. 61–68.
10. Ефимова Н.С., Новиков А.Н., Беспалова В.Е. Методы оптимизации финансирования производства продукции машиностроения (на примере авиационной техники) // Экономика и управление в машиностроении, 2014. № 4. С. 5–9.
11. Бригхем Ю., Гапенски Л. Финансовый менеджмент / Пер. с англ. под ред. В.В. Ковалева. СПб.: Экономическая школа, 1997. С. 497.
12. Шарп У., Александер Г., Бейли Дж. Инвестиции: пер. с англ. М.: Инфра-М, 2016. С. 653.

REFERENCES

1. Belikov T.A. *Minnye polya proektnogo finansirovaniya. Posobie po vyzhivaniyu dlya kreditnykh rabotnikov i investorov* [Mine fields of project financing. A survival guide for credit workers and investors]. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2016, 310 p. (In Russian).
2. Sokolov E.V., Gaivoronskaya K.D., etc. *Upravlenie finansami naukoemkikh predpriyatij* [Financial management of high-tech enterprises], Moscow, Izdatel'skij dom «Nauchnaya biblioteka» Publ., 2015, 523 p. (In Russian).
3. Kutnov I. Financial alternative or what method of financing to choose [Electronic resource]. Available at: <http://www.arendator.ru/articles/5/art/19903>. (Accessed 18.03.2021) (In Russian).
4. Sudoplatov A.P., Lekarev S.V. *Bezopasnost' predprinimatel'skoj deyatel'nosti* [Security of entrepreneurial activity], Moscow, OLMA-PRESS Publ., 2015, 381 p. (In Russian).
5. Kharin A.A., Kolensky I.L., Pushchenko N.N. *Upravlenie innovatsiyami: bazovye komponenty upravleniya innovatsionnymi protsessami. Uchebnoe posobie* [Innovation management: basic components of innovation process management: textbook. Manual]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2012, 176 p. (In Russian).
6. Kharin A.A., Kolensky I.L., Pushchenko N.N. *Upravlenie innovatsiyami: upravlenie finansami v innovatsionnykh protsessakh* [Innovation management: financial management in innovative processes] Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2013, 78 p. (In Russian).
7. Abdugarimov I.T. *Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya* [Analysis of the state and use of borrowed (attracted) capital on the basis of accounting (financial) statements]. Actual issues of economics and management. 2015, no. 4 (050), pp. 9–13. (In Russian).
8. Romanova N.A. *Correlation and regression analysis of investment projects of commercial real estate*. Online journal «Naukovedenie», 2015, vol. 7, no. 1. [Electronic resource]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/73EVN115.pdf>. (Accessed 18.03.2021). (In Russian).
9. Kalachanov V.D., Kalachanov V.V., Novikov A.N., Pronkin N.N. Criteria for optimal management of financing of production activities of enterprises of high-tech industries (on the example of aircraft construction). Organizer of production, 2016, no. 1. pp. 61–68. (In Russian).

10. Efimova N. S., Novikov A. N., Bepalova V. E. *Methods of optimization of financing of production of mechanical engineering products (on the example of aviation equipment)*. Economics and Management in Mechanical Engineering, 2014, no. 4. pp. 5–9. (In Russian).

11. Brigham Y., Gapenski L. *Finansovy menedjment. [Financial Management]* edited by V. V. Kovalev. St. Petersburg: Ekonomicheskaya shkola, 1997. 497p. (In Russian).

12. Sharp W., Alexander G., Bailey J. *Investitsii [Investments]*. Trans. from English, Moscow, Infra-M Publ., 2016, 653 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Демин Сергей Сергеевич, доктор экономических наук, профессор, академик РАЕН, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: ssdemin@mail.ru.

Калачанов Вячеслав Дмитриевич, доктор экономических наук, профессор, Почетный авиастроитель Российской Федерации, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заведующий кафедрой, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: kaf315@mai.ru.

Ефимова Наталья Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент, Почетный работник сферы образования, доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: efimova_ns@mail.ru.

Новиков Александр Николаевич, кандидат экономических наук, доцент, член-корреспондент Международной академии наук информационных процессов и технологий, профессор Академии военных наук, доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: Novikov-alexn@rambler.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Demin Sergey S., Doctor of Economic Sciences, Professor, Academician, Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe highway, 4, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: ssdemin@mail.ru.

Kalachanov Vyacheslav D., Doctor of Economic Sciences, Professor, Honorary Aircraft Manufacturer of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Head of the Department, Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe highway, 4, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: kaf315@mai.ru.

Efimova Natalia S., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Honorary Worker of Education, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe highway, 4, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: efimova_ns@mail.ru.

Novikov Alexander N., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the International Academy of Sciences of Information Processes and Technologies, Professor of the Academy of Military Sciences, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe highway, 4, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: Novikov-alexn@rambler.ru.

УДК 629.73

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ПРОВЕДЕНИЮ РАНЖИРОВАНИЯ ПИЛОТНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ)

Е.В. УТКИНА

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

Аннотация. В Российской Федерации проводится интенсивное внедрение принципов и методов проектного управления в органах исполнительной власти федерального и регионального уровней управления. Внедрение проектного подхода в органах государственного управления обусловлено необходимостью достигать запланированные цели и задачи и реализовывать проекты в рамках реализации стратегических национальных целей развития Российской Федерации, определенных на период до 2024 года Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204. Основной трудностью, возникающей в ходе внедрения проектного управления в органах государственной власти, является вопрос организации ранжирования ведомственных проектов в пилотных государственных программах Российской Федерации и с целью распространения выработанного подхода на все государственные программы. В условиях ограниченных бюджетных ресурсов состав проектов в пилотных государственных программах должен быть достаточным и полностью обеспечивать достижение установленных в них целей. Целью ранжирования состава проектов в пилотных государственных программах является приоритизация финансирования проектов, реализация которых обеспечит максимизацию результата при минимальных издержках. В случае внесения в государственную программу изменений, предусматривающих корректировку состава проектов (программ) и ведомственных целевых программ государственной программы, а также их целей, сроков (этапов) реализации и объемов финансового обеспечения, ответственным исполнителем государственной программы может осуществляться внеочередное ранжирование новых и реализуемых проектов (программ) и ведомственных целевых программ и при необходимости пересмотр целей и их значений в Правительстве Российской Федерации.

Ключевые слова: госпрограммы, программное бюджетирование, риск, методы оценки рисков, идентификация рисков, анализ рисков, ранжирование рисков по степени значимости

IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO RANKING OF PILOT STATE PROGRAMS OF THE RUSSIAN FEDERATION (IN THE FIELD OF TRANSPORT AND CIVIL AVIATION)

E.V. UTKINA

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

Abstract. In the Russian Federation, the principles and methods of project management are being intensively introduced in the executive authorities of the federal and regional levels of management. The introduction of the project approach in government bodies is due to the need to achieve the planned goals and objectives and implement projects in the framework of the implementation of the strategic national development goals of the Russian Federation, determined for the period up to 2024 by the Decree of the President of the Russian Federation dated 07.05.2018

No. 204. The main difficulty arising during the implementation of project management in public authorities is the issue of organizing the ranking of departmental projects in pilot state programs of the Russian Federation and with the aim of extending the developed approach to all state programs. In conditions of limited budgetary resources, the composition of projects in pilot state programs should be sufficient and fully ensure the achievement of the goals set in them. The purpose of ranking the composition of projects in pilot state programs is to prioritize the financing of projects, the implementation of which will maximize the result at minimum costs. In the event that changes are made to the state program that provide for adjusting the composition of projects (programs) and departmental target programs of the state program, as well as their goals, timing (stages) of implementation and the amount of financial support, the responsible executor of the state program may carry out an extraordinary ranking of new and ongoing projects (programs) and departmental target programs and, if necessary, revising the goals and their values in the Government of the Russian Federation.

Keywords: State programs, program budgeting, risk, risk assessment methods, risk identification, risk analysis, ranking of risks by degree of importance

Введение

Уровень развития социально-экономической сферы государства оценивается соответствующими показателями, достигаемыми за отчетные или прогнозируемые периоды. Правительством Российской Федерации были разработаны национальные проекты, которые направлены на достижение и поддержание высокого уровня показателей. Однако для реализации планов необходимы значительные финансовые, материальные и человеческие ресурсы. Осуществление проектов требует тщательного планирования, учета, управления и контроля со стороны государства. Прогнозируемые показатели должны быть обоснованы и рассчитаны на основе реального потенциала регионов. Текущий учет показателей требует формирования объективного описания достигаемых результатов.

Цель и задачи

В статье рассматривается направление (подпрограмма) «Гражданская авиация и аэронавигационное обслуживание» в рамках Государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»¹ (ГПРТС), а также проводится анализ модели ранжирования (дифференциация весов значимости) пилотных программ и федеральных проектов, разрабатываемых в ее рамках.

Методы

В качестве методики ранжирования изучается система весовых коэффициентов как инструментария для процесса оценки экспертами весов коэффициентов цены (далее – КЦ), коэффициентов риска (далее – КР), и повышения определенной степени объективности ранжирования ведомственных проектов (ВП) и ведомственных целевых программ (ВЦП) относительно целевых, отраслевых и межотраслевых оценок, а также метода верификации, которая позволяет повысить объективность ранжирования, с учетом необходимости верификации коэффициентов. В статье рассматривается математический имитационный инструментарий по количественной оценке рисков и возможностей реализации, моделированию способности проекта (программы) достигать целевых значений, агрегированию (интеграции) экспертных оценок, в том числе их верификации.

¹ Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»» от 20 декабря 2017 г. № 1596 // URL: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>.

Основная часть

Модель ранжирования проектов (программ) и ведомственных целевых программ, реализующихся в составе подпрограммы «Гражданская авиация и аэронавигационное обслуживание», а также в соответствии с п. 16, п. 29 «Правил разработки, реализации и оценки эффективности отдельных государственных программ Российской Федерации» [10], определяет процедуру и этапы ранжирования федеральных проектов (программ) и ВЦП, включаемых в состав данной государственной программы. На текущий момент в данную подпрограмму включены:

– Федеральный проект «Развитие региональных аэропортов и маршрутов» (Реконструкция инфраструктуры региональных аэропортов и расширение сети авиационных маршрутов).

– Ведомственный проект «Развитие инфраструктуры воздушного транспорта».

В целом Модель ранжирования федеральных проектов (программ) и ведомственных целевых программ базируется на положениях «Методических рекомендаций по проведению ранжирования проектов (программ) и ведомственных целевых программ с учетом оценки достижения целей государственных программ Российской Федерации», утвержденных приказом Минэкономразвития от 15 ноября 2017 г. № 607 (далее – приказ № 607).

Ранжирование заключается в приоритизации федеральных проектов (программ) и ведомственных целевых программ, обеспечивающих достижение целей ГПРО на основе применения критериев ценности и реализуемости (для проектов), позволяющих определить значимость проектов (программ) и ведомственных целевых программ относительно друг друга, а также их вклад в достижение целей ГПРТС.

Ранжирование осуществляется ежегодно, до формирования предложений по структуре (изменению структуры) и финансовому обеспечению реализации ГПРТС в очередном финансовом году и плановом периоде. Ежегодному ранжированию подлежат как новые проекты (программы) и ведомственные целевые программы, так и реализуемые в составе ГПРТС. Результаты ранжирования рассматриваются координационным советом проектной деятельности Министерства транспорта Российской Федерации.

В случае внесения изменений в ГПРТС, предусматривающих изменение состава проектов (программ) и ведомственных целевых программ, а также их целей, сроков (этапов) реализации и объемов финансового обеспечения, осуществляется внеочередное ранжирование новых и реализуемых проектов (программ) и ведомственных целевых программ.

Ранжирование осуществляется по критериям и реализуемости (для проектов программ). Критерии ценности характеризуют рост показателей (критериев) достижения цели ГПРТС в результате реализации проектов. Совокупность критериев ценности представляет собой группу критериев ценности.

Предлагается использовать математический аппарат ранжирования ведомственных проектов и программ, а также оценки уровня показателей реализуемости конкретной государственной программы/ведомственного проекта, которая должна объективно сопоставлять варианты программ с точки зрения ценности их реализации, существенности данной программы/проекта при достижении заданных уровней целевых показателей.

Рассматриваемые методические подходы предполагают, что в основе каждого выбранного показателя реализуемости лежит некий подразумеваемый риск невыполнения и/или недостижения целевого значения сущностного отраслевого показателя. Поэтому описываемая методика позволяет свести оценку уровня критерия реализуемости к процедуре оценки риска недостижения заданного уровня отраслевого показателя, который целесообразно минимизировать.

Для верификации и агрегирования полученных экспертных оценок необходимо использовать методику нечетко-взвешенного агрегирования фаззификации, основанную на методическом подходе, описанном ниже, которая состоит из следующих шагов:

1. На основе корреляционного анализа выявляются факторы отраслевого влияния на целевые показатели проектов программ, при этом положительная корреляция будет отображать отраслевые (и иные) факторы, относящиеся к возможности реализации, а отрицательная корреляция к рискам реализации проектов программ.

2. Выявленные факторы, имеющие достаточно высокий коэффициент корреляции, необходимо будет рассчитать методом анализа трендов, и получить прогнозное значение на целевой период. В зависимости от полученного графика можно использовать обычную линейную или полиномиальную линию тренда. Полученное уравнение тренда позволит рассчитать искомые прогнозные значения фактора.

3. Для проверки возможности реализации целей проекта требуется провести анализ множественной регрессии или в случае, если фактор в единственном числе, парный регрессионный анализ.

Верификация далее производится независимо по каждому отдельному критерию реализуемости, входящему в группу критериев реализуемости оцениваемой государственной программы/проекта и соотнесенному с определенным видом риска невыполнения данной программы/проекта.

Задачи верификации:

– во-первых, получение более устойчивой результирующей оценки по каждому конкретному критерию оценки оцениваемой программы или проекта с учетом фактора неопределенности и фундаментальной субъективности экспертных оценок и неопределенности объективных внешних факторов;

– во-вторых, получение меры доверия к каждой индивидуальной экспертной оценке с учетом независимости мнений экспертов, с целью выявления возможных несистемных смещений, существенно влияющих на возможную предвзятость мнения того или иного эксперта.

Исходными данными для проведения верификации может быть массив оценок пула экспертов по конкретному критерию реализуемости, оцениваемый по шкале от 1 до 5. Результирующими данными процесса верификации являются:

– интегральная оценка уровня данного показателя по той же шкале;

– оценка уровня общей неопределенности/неуверенности пула экспертов в совокупности своих оценок,

– оценка расхождения каждого эксперта с общей компромиссной функцией распределения, характеризующая согласованность данного эксперта с компромиссной оценкой и которая может быть использована для оценки работы каждого эксперта.

Непосредственно процедура верификации экспертных оценок состоит из пяти последовательно выполняемых шагов: фаззификации (размытия), агрегирования, оценки общей неопределенности, оценки индивидуальной согласованности и дефаззификации (уточнения) итоговой (агрегированной) оценки. Данные вычисления производятся непосредственно аналитиком либо группой аналитиков, производящих обработку результатов оценки конкретной государственной программы/проекта и могут быть выполнены как непосредственно, так и с использованием вспомогательных вычислительных систем, на базе программы Microsoft Excel.

1. *Фаззификация экспертных оценок.* На данном шаге аналитиком находятся нечеткие аналоги четкой экспертной оценки по терм-множеству, образованному шкалой оценивания (от 1 до пяти). В соответствии с каждой индивидуальной экспертной оценкой должна быть поставлена функция принадлежности, выраженная в значении принадлежности для каждой из возможных оценок, входящих в множество возможных оценок, принадлежащих шкале оценивания, то есть каждому возможному баллу от 1 до 5.

Вычисление значения функции принадлежности производится по формуле:

$$x_{i,j} = \frac{1}{(|j-e_i|+1)^2}, \quad (1)$$

где $x_{i,j}$ – значение принадлежности экспертной оценки i -го эксперта баллу j ;
 e_i – исходная индивидуальная экспертная оценка i -го эксперта.

Данная процедура производится независимо для каждого эксперта в экспертном пуле и не зависит от количества экспертов.

Результатом данного этапа является матрица $x_{i,j}$ значений принадлежности. Каждый элемент данной матрицы должен лежать в диапазоне значений от 0 до 1.

Данную процедуру можно использовать для фаззификации параметров, выраженных в любой балльной шкале. Формула (1) является независимой от шкалы оценивания. По умолчанию, данная методика подразумевает использование квадратичной функции фаззификации.

2. *Агрегирование экспертных оценок.* При этом шаге определяется значение функции принадлежности нечеткого множества итоговой агрегированной оценки данного параметра с учетом мнения всех экспертов. Данное нечеткое множество строится на том же носителе (термножестве), что и частные нечеткие множества, определенные на предыдущем шаге.

Нахождение значений принадлежности в каждой точке определяется по формуле:

$$y_j = \min\left(\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n x_{i,j}^2}, 1\right), \quad (2)$$

где y_j – уровень принадлежности итоговой оценки возможному значению балла j ;

n – количество экспертов;

$x_{i,j}$ – значение принадлежности экспертной оценки i -го эксперта баллу j .

Данная процедура производится независимо для каждого возможного балла из множества баллов, входящих в шкалу оценивания данного конкретного показателя. Результатирующими данными на этом этапе является набор (вектор) значений принадлежности итоговой оценки каждому возможному баллу.

Рассматриваемую процедуру можно использовать для агрегирования показателей, оцененных любым количеством экспертов, по шкале, состоящей из любого количества баллов. Условиями работоспособности данной процедуры являются: дискретность шкалы оценивания и слабая упорядоченность всех возможных значений оценки в используемой шкале. При использовании балльных шкал эти два условия выполняются всегда.

3. *Оценка общей меры неопределенности.* Вычисляется мера нечеткости нечеткого множества, полученного на предыдущем этапе, для оценки общего уровня неопределенности, заложенного в итоговую оценку.

Общая оценка неопределенности (мера Егера) вычисляется по формуле:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (2y_i - 1)^2}{\sqrt[2]{m}}, \quad (3)$$

где E – общая оценка неопределенности (мера Егера);

m – общее количество баллов в шкале оценивания (в случае шкалы от 1 до 5, $m = 5$);

y_j – уровень принадлежности итоговой оценки возможному значению балла j .

Эта оценка используется для контроля общего уровня неопределенности, содержащейся в итоговой оценке по данному показателю и может быть использована для выражения меры уверенности пула экспертов в итоговой оценке. Чем выше данная метрика, тем меньше надежность и устойчивость итоговой оценки, рассчитанной по рассматриваемой методике.

Такая оценка рассчитывается в целом по всему пулу экспертов в рамках верификации экспертных оценок конкретного показателя реализуемости государственной программы/проекта.

При значении метрики E больше критического порогового значения 0,5 рекомендуется повторить процедуру экспертного оценивания с другим пулом экспертов, так как описываемая методика не может дать приемлемого уровня определенности в оценке итогового значения показателя.

4. *Оценка индивидуальной согласованности.* Рассчитывается мера согласованности каждого эксперта с итоговой агрегированной функцией принадлежности. Эта метрика может быть использована для оценки работы каждого конкретного эксперта.

Мера индивидуальной согласованности рассчитывается как метрика расстояния между двумя нечеткими множествами по формуле:

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{i,j} - y_j)^2}}, \quad (4)$$

где S_i – уровень индивидуальной согласованности;

$x_{i,j}$ – значение принадлежности экспертной оценки i -го эксперта баллу j ;

y_j – уровень принадлежности итоговой оценки возможному значению балла j ;

m – общее количество баллов в шкале оценивания (в случае шкалы от 1 до 5, $m = 5$).

Данная оценка показывает, насколько сходна функция распределения каждого эксперта с итоговой функцией распределения. Чем выше данное значение, тем выше согласованность. При значении уровня согласованности ниже порогового значения 0,67 рекомендуется исключить эксперта из процесса агрегирования и заново повторить шаги 2-4 процедуры верификации.

5. *Дефаззификация агрегированной оценки.* На данном этапе аналитик производит дефаззификацию (уточнение) итоговой нечеткой оценки параметра в четкую (точечную) оценку.

Исходными данными для данного шага являются значения принадлежности итоговой оценки каждому возможному баллу, рассчитанные на шаге 3 данного раздела. Результатом данного шага является число, представляющее итоговую агрегированную оценку уровня рассматриваемого показателя. Данная оценка измеряется по той же шкале, что и исходные экспертные оценки, и по усмотрению аналитика может быть округлена до ближайшего целого значения.

Итоговая оценка рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m y_j^i}{\sum_{i=1}^m y_i}, \quad (5)$$

где I – итоговая оценка рассматриваемого параметра;

y_j^i – уровень принадлежности итоговой оценки возможному значению балла j ;

m – общее количество баллов в шкале оценивания (в случае шкалы от 1 до 5, $m = 5$).

Итоговая оценка является конечным результатом процедуры агрегирования и верификации набора экспертных оценок и может использоваться как общая оценка рассматриваемого параметра, обладающая всеми свойствами и преимуществами, описанных выше методических подходов.

Таким образом, применительно к проблеме экспертного оценивания показателей государственных проектов, предлагается использование аппарата нечеткой логики для учета неопределенности в экспертных мнениях.

Изложенные подходы позволят не только обеспечить адекватное ранжирование государственных проектов и программ, но и выявлять различные риски их реализации. Так одним из основных рисков для реализации федерального проекта «Развитие региональных аэропортов

и маршрутов», можно считать валютный риск, который связан в первую очередь с высоким уровнем зависимости инфраструктурных объектов аэропортов от высокотехнологического оборудования и систем связи, что обуславливает важность вопроса управления данным риском.

Система управления валютным риском, как правило, включает в себя оценку риска и выбор методов страхования. При этом можно использовать как внутренние, так и внешние инструменты управления валютным риском. Исходя из этого рассмотрим методы, которые используют собственные (внутренние) ресурсы компании, более подробно. Конечно, большинство представленных инструментов направлены на минимизацию объемов открытых валютных позиций проекта.

Поэтому среди наиболее эффективных и популярных внутренних методов управления валютными рисками выделяют:

- учет стоимости страхования или возможных убытков по валютному риску в начальной цене продукции;
- изменение скорости валютных платежей;
- балансирование валютных активов и обязательств путем выбора оптимальной валюты сделки;
- введение валютных оговорок в экспортно-импортные контракты;
- диверсификация контрактных валют;
- управление запасами в иностранной валюте;
- взаимный зачет и централизация валютных расчетов («сопоставление» и «взаимозачет»);
- сокращение периода открытого риска.²

Рассмотрим данные методы более подробно.

1. Учет стоимости валютного риска в начальной цене продукции. Нестабильность цен из-за возможного изменения курса валют вынуждает связывать значение валютного риска (или его хеджирования) с ценовой политикой, закладывая вероятный ущерб в начальную стоимость товаров или услуг.

2. Изменение скорости платежей. При использовании данного метода можно изменить способ оплаты или условия самого платежа в иностранной валюте, то есть ускорять или задерживать платеж.

3. Балансирование валютных активов и обязательств. Если при реализации проекта одновременно есть активы (дебиторская задолженность) и обязательства (кредиторская задолженность) в иностранной валюте, ее структуру следует проанализировать на предмет баланса (выбрать идеальное соотношение валют и условий, чтобы минимизировать открытую позицию в иностранной валюте).

4. Валютные оговорки. Данное условие включается во внешнеторговые контракты для страхования валютного риска. Различают два типа проведения валютных резерваций: 1) – фиксирование валюты платежа в контракте, которая отличается от валюты, в которой устанавливается сумма контракта; 2) – пропорциональное изменение суммы сделки (цены товара) и обменного курса.

5. Диверсификация контрактных валют. Принцип диверсификации, как и в других случаях, в случае управления валютным риском включает внешнеторговые операции в разных валютах так, что убытки, возникающие в результате неблагоприятных изменений обменных курсов определенных валют, компенсируются преимуществами изменений в других валютных операциях.

² Крахмалев, С.В. Современная банковская практика проведения международных платежей [Текст]: Учебник / С.В. Крахмалев. ГроссМедиаФерлаг, 2016. 145 с.

6. Управление акциями в иностранной валюте. Иногда правильное управление остатками иностранной валюты на текущих счетах может уменьшить потери из-за колебаний обменного курса. Тем не менее, этот инструмент, вероятно, будет использоваться в «ручном» режиме, поскольку он в основном актуален для кризисных ситуаций.

7. Неттинг или метод взаимных зачетов. Данный метод широко применяется на совершении сделок на развитых рынках и с крупными ТНК (транснациональными валютными компаниями). Но стоит отметить, что он применяется исключительно для внутренних потоков. Суть данного подхода: максимально сократить количество валютных сделок, укрупняя их.

8. Сокращение периода открытого риска. При таком подходе компания должна понимать, как часто она может хеджировать. Довольно сложно это ежедневно из-за большого объема транзакций и документации, которая поставляется с завершением каждой транзакции финансового хеджирования, например: регистрации транзакций в системе бухучета, утверждении позиции руководством, обменк подтверждениями между сторонами согласование условий и т. д.³

Это только несколько методов управления валютным риском. Также стоит отметить, что предложенный метод параллельно с процессом ранжирования позволяет выявлять и другие виды рисков реализации проектов, и тем самым способствовать формированию подходов к их управлению.

Выводы

Предложенный метод позволит оценить сходимость экспертных оценок, провести их верификацию и определить наиболее достоверное значение коэффициента весов при ранжировании ведомственных и федеральных проектов, программ и подпрограмм в сфере гражданской авиации, а также параллельно выявлять риски, связанные с реализацией проектов, и обеспечивать условия для формирования методов управления выявленными рисками.

Метод позволит выявить группы экспертов (или отдельных экспертов), чья оценка имеет наибольшее значение расхождения, тем самым определив возможный проект (программу), требующий контроля или перепроверки на этапе согласования результатов ранжирования, а также определить возможные риски, сопутствующие проекту (программе).

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / Вадим Богданов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. 248 с.
2. Управление инновационными проектами и программами: учебное пособие / В.В. Быковский, Е.С. Мищенко, Е.В. Быковская и др. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 104 с.
3. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. М.: ПМСОФТ, 2005. 206 с.
4. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / коллектив авторов; под ред. проф. М.Л. Разу. 3-е изд., перераб. и доп. М.: КНО РУС, 2010. 760 с.
5. Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами; Пер. с англ. Мамонтова Е.В.; Под ред. Неизвестного С.И. М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2008. 729 с.
6. Report. Government's Greatest Priorities of the Next Half Century. Paul C. Light Saturday, December 1, 2001, URL: <https://www.brookings.edu/research/governments-greatest-priorities-of-the-next-half-century/>

³ Мишина, В.Ю. Тенденции и перспективы развития российского валютного рынка [Текст] / В.Ю. Мишина, С.В. Москалев, И. Б. Федоренко // Деньги и кредит. 2016. № 7. С. 27–30.

7. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд; Пер. с англ. Мамонтова Е.В.; Под ред. Баженова А.Д., Арефьева А.О. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2010. 464 с.

8. Стратегическое планирование для управления проектами с использованием модели зрелости: Пер. с англ. М.: Компания АйТи; М.: ДМК Пресс, 2003. 320 с.

9. План первоочередных мер по разработке и реализации «пилотных» государственных программ Российской Федерации, утвержденный Шуваловым И.И. от 6 июля 2017 г. № 4760п-П6.

10. О разработке, реализации и об оценке эффективности отдельных государственных программ Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 12 октября 2017 г. № 1242.

11. Об утверждении методических рекомендаций по проведению ранжирования проектов (программ) и ведомственных целевых программ с учетом оценки достижения целей государственных программ Российской Федерации: Приказ Минэкономразвития России от 15 ноября 2017 г. № 607.

REFERENCES

1. Bogdanov V. *Upravlenie proektami. Korporativnaya sistema – shag za shagom* [Project management. Enterprise System – Step by Step]. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2012, 248 p. (In Russian).

2. *Upravlenie innovatsionnymi proektami i programmami. Uchebnoe posobie* [Management of innovative projects and programs. Tutorial]. Bykovskij V.V., Mishchenko E.S., Bykovskaya E.V. and others. Tambov, GOU VPO TGTU Publ., 2011, 104 p. (In Russian).

3. Matveev A.A., Novikov D.A., Tsvetkov A.V. *Modeli i metody upravleniya portfelyami proektov* [Models and methods of project portfolio management]. Moscow, PMSOFT Publ., 2005, 206 p. (In Russian).

4. *Upravlenie proektom. Osnovy proektnogo upravleniya. Uchebnyk* [Project management. Fundamentals of project management. Textbook]. Ed. by prof. M.L. Razu. 3rd ed., rev. and enlarged. Moscow, KNO RUS Publ., 2010, 760 p. (In Russian).

5. Miloshevich D. *Nabor instrumentov dlya upravleniya proektami* [Project Management Toolkit]. Transl. from English. by Mamontova E.V. Ed. by Neizvestnyj S.I. Moscow, Ajti, DMK Press Publ., 2008, 729 p. (In Russian)

6. Report. Government's Greatest Priorities of the Next Half Century. Paul C. LightSaturday, December 1, 2001. URL: <https://www.brookings.edu/research/governments-greatest-priorities-of-the-next-half-century/>.

7. *Upravlenie vysokotekhnologichnymi programmami i proektami* [Management of high-tech programs and projects]. Transl. from English. by Mamontova E.V. 3rd ed., rev. and enlarged. Moscow, Ajti, DMK Press Publ., 2010, 464 p. (In Russian).

8. *Strategicheskoe planirovanie dlya upravleniya proektami s ispol'zovaniem modeli zrelosti* [Strategic planning for project management using the maturity model]. Transl. from English. Moscow, Ajti, DMK Press Publ., 2003, 320 p. (In Russian).

9. A plan of priority measures for the development and implementation of «pilot» state programs of the Russian Federation, approved by Shuvalov I.I. from 6.07. 2017 No. 4760p-P6. (In Russian).

10. On the development, implementation and evaluation of the effectiveness of individual state programs of the Russian Federation. Decree of the Government of the Russian Federation from 12.10.2017 No. 1242. (In Russian).

11. On the approval of methodological recommendations for the ranking of projects (programs) and departmental target programs, taking into account the assessment of the achievement of the goals of state programs of the Russian Federation. Order of the Ministry of Economic Development of Russia from 15.11.2017 No. 607. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Уткина Евгения Владимировна, старший специалист, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: eutkina@gosniiga.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Utkina Evgeniya V., Senior Specialist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: eutkina@gosniiga.ru.

УДК 656.7.072.51:371.693

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНИМАНИЯ ОПЕРАТОРАМИ ДОСМОТРА В ПРОЦЕССЕ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

А.К. ВОЛКОВ¹, А.А. ГЛАДКИХ¹, Т.Г. УЛАСЮК¹, З.Р. ЗАББАРОВ²

¹Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Российская Федерация

²ПАО «Аэрофлот», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Исследование человеческого фактора в гражданской авиации с применением методологии Eye-Tracking является перспективным направлением деятельности. Данная технология является важным инструментом для исследования процесса визуальной диагностики рентгеновских изображений операторами досмотра. С методической точки зрения конечная цель использования технологии Eye-Tracking состоит в том, чтобы улучшить интерпретацию изображений операторами, избегая ошибок в визуальном поиске. В случае понимания процесса восприятия можно будет определить стратегии поиска, ведущие к повышению эффективности работы операторов досмотра и интегрировать их в тренажерные комплексы. Целью данной статьи является выявление особенностей визуального поиска операторами досмотра, которые могут привести к повышению точности их восприятия. В частности, развиваются вопросы «образцов визуального поиска», связанных с кластерами распределения внимания в группах подготовленных и неподготовленных операторов досмотра. Для достижения поставленной цели было проведено экспериментальное тестирование курсантов Ульяновского института гражданской авиации (ФГБОУ ВО УИ ГА). Было выявлено, что у курсантов с низким уровнем подготовки бытовые и запрещенные предметы распределены по нескольким кластерам распределения внимания. В свою очередь, у курсантов с высоким уровнем подготовки запрещенные предметы в большинстве своем находятся в одном кластере. В связи с этим предложено рассматривать такое понятие, как кластер распределения внимания, под которым понимается группа предметов на рентгеновском изображении, представляющая с точки зрения оператора зрительный ресурс одного класса.

Ключевые слова: авиационная безопасность, оператор досмотра, тренажерная подготовка, система регистрации движения глаз, кластер распределения внимания, образцы поиска

RESEARCH OF PECULIARITIES OF ATTENTION DISTRIBUTION BY AVIATION SECURITY SCREENERS IN THE PROCESS OF TRAINING WITH THE APPLICATION OF EYE-TRACKING REGISTRATION SYSTEMS

A.K. VOLKOV¹, A.A. GLADKIKH¹, T.G. ULASYUK¹, Z.R. ZABBAROV²

¹Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russian Federation

²Public Joint Stock Company «Aeroflot - Russian Airlines», Moscow, Russian Federation

Abstract. The study of the human factor in civil aviation using the Eye-Tracking methodology is a promising area of activity. Eye-Tracking technology is an important tool for examining the process of visual diagnostics of X-ray images by security screeners. From a methodological point of view, the ultimate goal of using Eye-

Tracking technology is to improve the interpretation of images, avoiding errors in visual search. In the case of understanding the process of perception, then it will be possible to define search strategies leading to an increase in the efficiency of the inspection operators, and integrate them into training complexes. The purpose of this article is to identify the features of visual search by inspection operators, which can lead to an increase in the accuracy of their perception. In particular, questions of “visual search patterns” are being developed, which are related to clusters of distribution of attention in groups of trained and unprepared search operators. To achieve this goal, experimental testing of cadets of the Ulyanovsk Civil Aviation Institute was carried out. It was found that among cadets with a low level of training, household and prohibited items are distributed across several clusters of attention distribution. In turn, cadets with a high level of training, for the most part, prohibited subjects are in one cluster. In this regard, it is proposed to consider such a concept as a cluster of attention distribution, which is understood as a group of objects on an X-ray image, representing, from the operator’s point of view, a visual resource of one class.

Keywords: aviation security, security screener, simulator training, Eye-Tracking system, attention distribution cluster, search patterns

Введение

В последнее десятилетие были внесены крупные инвестиции в область авиационной безопасности, направленные на повышение безопасности в аэропортах Российской Федерации. Организация 100 %-го досмотра пассажиров, их багажа, почты, грузов с использованием рентгеновского оборудования является ключевым компонентом процедур авиационной безопасности в аэропортах. Современное рентгеновское оборудование обеспечивает высококачественное изображение контролируемых объектов, однако решение о наличии или отсутствии запрещенных предметов все еще зависит от операторов досмотра. В ходе научного исследования выявлено, что эффективность деятельности операторов досмотра зависит от различных ситуационных факторов, но одним из наиболее важных является уровень профессиональной подготовленности [1]. В ряде отечественных работ также отмечается важность совершенствования оценки уровня профессиональной подготовленности сотрудников транспортной (авиационной) безопасности [2, 3].

Тренажерная подготовка операторов на компьютерах с использованием специализированных программ – это мощный инструмент для получения, поддержания и увеличения знаний о том, какие предметы запрещены к провозу и как они выглядят на рентгеновских снимках [4, 5]. Важная часть рассуждений оператора в процессе тренажерной подготовки имеет в своей основе визуальную информацию. В связи с этим системы регистрации движения глаз (технология Eye-Tracking) могут отражать внимание операторов с помощью объективных характеристик и обеспечивать проникновение в процессы их рассуждений. Таким образом, визуальная диагностика играет ключевую роль в распознавании рентгеновских снимков, а методология Eye-Tracking является ценным инструментом для исследования процесса визуальной диагностики в процессе тренажерной подготовки операторов досмотра.

Ошибки восприятия, то есть ошибки в обнаружении запрещенных предметов, составляют основную часть ошибочных решений при интерпретации рентгеновских изображений и могут быть результатом когнитивных ошибок или неверного визуального поиска. Важно идентифицировать образцы визуального поиска, которые приводят или не приводят к точному обнаружению запрещенных предметов на рентгеновских изображениях. С образовательной точки зрения конечная цель методологии исследования с использованием технологии Eye-Tracking состоит в том, чтобы улучшить интерпретацию изображений операторами, избегая ошибок в визуальном поиске. В случае понимания процесса восприятия можно будет определить стратегии поиска, ведущие к повышению эффективности работы операторов досмотра, и интегрировать их в тренажерные комплексы.

Целью данной статьи является выявление особенностей визуального поиска операторами досмотра, которые могут привести к повышению точности их восприятия. В частности, развиваются вопросы «образцов визуального поиска», связанных с кластерами распределения внимания в группах подготовленных и неподготовленных операторов досмотра.

Постановка задачи и методы исследования

Исследования в рамках данной статьи проводились с применением мобильного ай-трекера Eye-Tracking Glasses 2.0. Рассмотрим основные положения методологии Eye-Tracking и некоторую справочную информацию о параметрах движения глаз, а также о том, как они соотносятся с глобально-фокальными моделями поиска. Параметры движения глаз, часто используемые при исследованиях восприятия изображения, следующие: время до первой фиксации, длительность фиксации в областях интереса, количество фиксаций в областях интереса и количество саккад. Фиксация является периодом времени, когда глаз остается неподвижным [6]. Этот параметр отражает внимание к тому или иному конкретному участку в изображении и фактическое поступление информации. Местоположение взгляда пользователя в определенный момент времени (то есть фиксация) обеспечивает самую базовую единицу анализа. Фиксации обычно длятся от 100 до 600 мс. [7]. Фиксации можно сопоставить с определенными координатами x и y на сетке, которые помогают точно определить, место, куда пользователь смотрел на конкретном дисплее.

Стоит отметить, что существуют некоторые проблемы с интерпретацией нанесенных на карту фиксаций, которые заключаются в том, что даже если фиксация была зарегистрирована, это необязательно означает, что пользователь действительно ее видел или что она когнитивно зарегистрировалась в его мозгу [6].

Это часто случается с одиночными фиксациями, когда пользователь мог на мгновение остановиться в произвольной области экрана взглядом, но не смотреть на него намеренно. К примеру, это бывает, когда пользователи заполняют формы, требующие созданных ответов. В этих случаях пользователи смотрят на экран, но их внимание не сосредоточено на стимульном материале, и поэтому данные отслеживания взгляда бесполезны. Продолжительность времени, в течение которого пользователь фиксирует определенную область на экране, позволяет понять, уделяет ли он особое внимание определенному визуальному элементу. Также фиксации характеризуются миниатюрными движениями глаз: тремором, дрейфом и микросаккадами [6]. Микросаккады – это более или менее пространственные сигналы движения глаз, происходящие в основном случайным образом с изменением амплитуды в течение 1–2 угловых минут [6].

Саккады – это быстрые движения глаз между фиксациями с целью перераспределения фокуса внимания от одной области к другой [7, 8]. Во время саккадических движений никакая визуальная информация не может быть обработана. Движение глаз пользователя основано на саккадах от одной фиксации до другой и устанавливает образец взгляда, который отражает то, как пользователь интерпретирует конкретный визуальный стимул [8]. Этот паттерн обеспечивает основу для понимания визуальной иерархии сцены или изображения.

Визуальная иерархия относится к последовательности, в которой пользователь просматривает визуальные элементы в определенной сцене. Например, на веб-сайте пользователь может сначала заметить большой рисунок в центре страницы, затем взглянуть на основную навигацию, затем взглянуть на окно поиска и так далее [8]. Саккады варьируются по продолжительности от 10 до 100 мс, что является достаточно короткой продолжительностью действия глазодвигательной системы [8].

Проводилось исследование, в котором участвовали 60 курсантов ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева». Респонденты имели навыки распознавания рентгеновских изображений и могли выступить в качестве операторов досмотра.

Было выделено две группы по 30 человек:

1 – группа подготовленных респондентов (четвертый год обучения), которые прошли полный цикл тренажерной подготовки операторов досмотра;

2 – группа неподготовленных респондентов (третий год обучения), которые прошли неполный цикл тренажерной подготовки по распознаванию рентгеновских изображений.

Целью проводимых исследований было выявить особенности распределения внимания операторами досмотра с различным уровнем подготовки, связанные с формированием кластеров распределения внимания. Для достижения данной цели были выполнены следующие этапы:

1. Создан блок тестовых рентгеновских изображений, включающий 10 изображений.

2. Согласно методологии Eye-Tracking необходимо было выделить области интересов (Area of Interest, AOI). В качестве таких областей были выделены отдельные предметы на рентгеновских изображениях. Это было сделано для получения окулографических данных по конкретным типам предметов, находящихся на снимках. Изображения содержали как бытовые, так и запрещенные предметы. В качестве запрещенных предметов выступали огнестрельное оружие («Gun») и самодельные взрывные устройства («IDEs»). Бытовые предметы обозначались как «Item». Область на снимках, не содержащая предметов, обозначалась как «White Space». Всего на 10 тестовых изображениях были выделены 74 AOI.

3. Фаза непосредственных исследований заключалась в следующем. Было выделено отдельное помещение, в которое приходил испытуемый курсант. Курсанту доводилась общая цель исследования и его конкретная задача по интерпретации рентгеновских изображений. В случае обнаружения запрещенных предметов респондент должен был сообщить об этом экзаменатору, который заносил ответы в контрольный лист. Затем курсанту надевали очки Eye-Tracking и усаживали за ноутбук с блоком тестовых рентгеновских изображений. Перед началом тестирования производилась калибровка аппаратуры. Описание параметров глазодвигательной деятельности, по которым в дальнейшем проводится анализ, представлено в табл. 1.

4. Заключительным этапом является выгрузка экспериментальных данных из программного обеспечения ай-трекера и приведение их к виду, пригодному для дальнейшей обработки и анализа.

Таблица 1

Параметры глазодвигательной деятельности

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Описание
1.	Entry time	мс.	Длительность времени от начала визуального сканирования до первой фиксации в выбранной AOI
2.	Dwell time	мс.	Отношение суммы всех фиксаций и саккад к их общему количеству
3.	Revisits	шт.	Количество возвращений к выбранной AOI
4.	Fixation count	шт.	Количество фиксаций в выбранной AOI
5.	Average fixation	мс.	Средняя длительность фиксации в выбранной AOI
6.	First fixation	мс.	Длительность первой фиксации испытуемого в выбранной AOI

Результаты проведенного исследования

Анализ данных глазодвигательной деятельности, полученных в результате тестирования, проводился с использованием методов факторного и кластерного анализов в программе «Statistica».

Применение факторного анализа решало задачу сокращения числа параметров глазодвигательной деятельности, по которым в дальнейшем необходимо провести кластерный анализ АОИ. Результаты факторного анализа экспериментальных данных (применялся метод «варимакс») представлены на рис. 1. Исходя из анализа матриц факторных нагрузок (рис. 2а и 2б), видно, что на основе критерия Кайзера [9] следует выделить только два фактора для рассматриваемой группы параметров. При этом заметно определенное подобие в структуре их главных компонент.

Анализ структуры взаимосвязей между переменными в первом факторе позволяет сделать вывод, что параметры «Revisits» и «Fixation count» обратно коррелированы с «Entry time» для обеих групп курсантов (рис. 2а и 2б). Ведущим параметром для обеих групп является «Revisits». Структура взаимосвязей во втором факторе определяется такими параметрами, как «Dwell time» и «Average fixation» для группы подготовленных курсантов (рис. 2а) и «Average fixation» и «First fixation» (рис. 2б) для группы неподготовленных. Ведущим параметром в группе подготовленных курсантов является «Average fixation». Это объясняется тем, что они стараются распределить зрительное внимание по всем предметам на рентгеновском изображении. В группе неподготовленных курсантов ведущим является параметр «First fixation», т. к. на принятие их решения часто влияет первое впечатление, которое характеризуется первой фиксацией взгляда на объекте изображения.

В связи с этим можно выделить две компоненты визуального поиска операторами: 1 – поисковый режим, который определяется относительно частыми возвратами к объектам изображения, и 2 – более медленный, более детальный фокальный поиск для распознавания и оценки объектов рентгеновских изображений.

Перемен.	Фактор 1	Фактор 2
Entry time	0,820750	0,268460
Dwell time	0,005279	0,979116
Revisits	-0,836758	0,066479
Average fixation	0,076584	0,980791
First fixation	0,809864	0,501217
Fixation count	-0,815751	0,460916
Общ. дис.	2,701017	2,460771
Доля общ.	0,450170	0,410128

Перемен.	Фактор 1	Фактор 2
Entry time	-0,867730	-0,017050
Dwell time	0,811575	0,454037
Revisits	0,892981	0,115699
Average fixation	0,327296	0,919255
First fixation	0,058412	0,959034
Fixation count	0,881453	0,357313
Общ. дис.	3,096520	2,112276
Доля общ.	0,516087	0,352046

Рис. 1. Матрицы факторных нагрузок: группа подготовленных курсантов – а; группа неподготовленных курсантов – б

Таким образом, в результате факторного анализа было проведено сокращение числа параметров глазодвигательной деятельности. На основе факторных нагрузок целесообразно проводить кластерный АОИ в группе подготовленных курсантов по таким параметрам, как «Revisits» и «Average fixation», а в группе неподготовленных по параметрам «Revisits» и «First fixation».

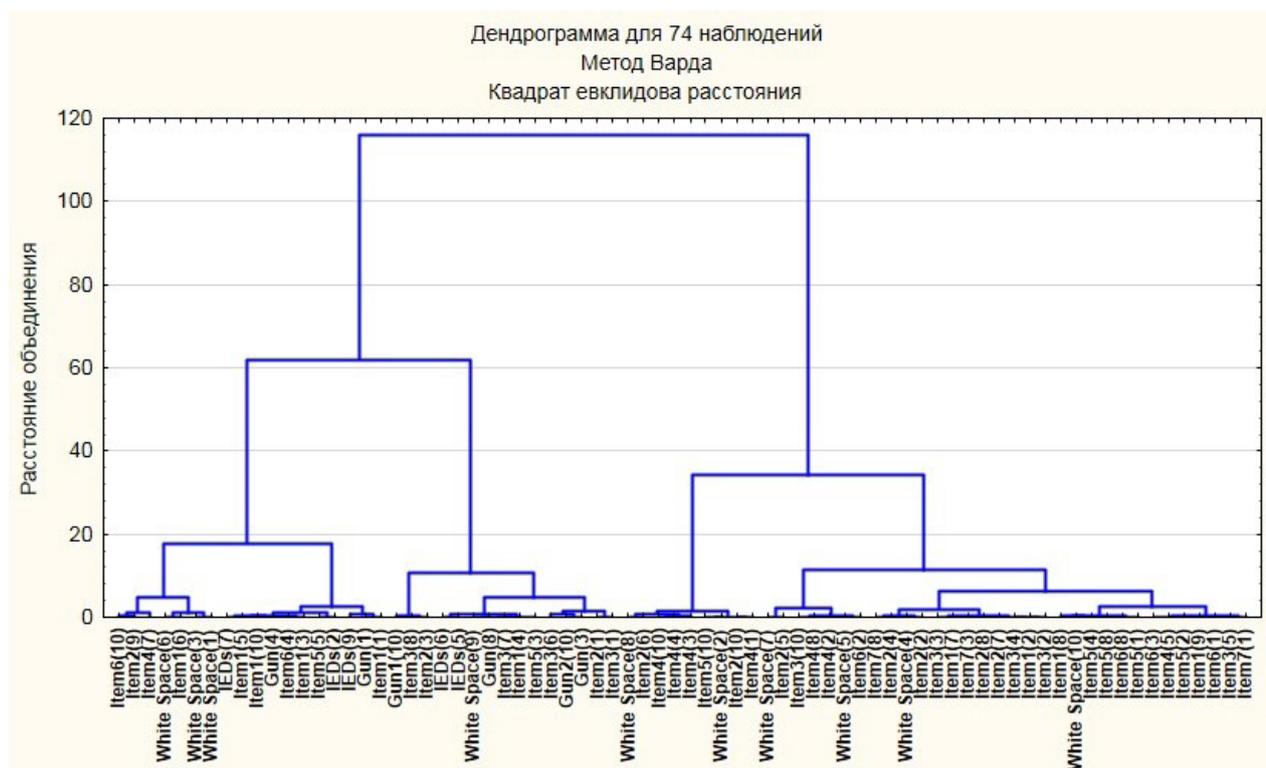


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации AOI для группы неподготовленных курсантов

Кластерный анализ AOI в обеих группах респондентов вначале был проведен иерархическим методом Варда (Ward's method) с «квадратом евклидова расстояния» как меры расстояния между кластерами [10]. Дендрограмма кластеризации AOI для группы неподготовленных курсантов представлена на рис. 2. Рассматриваются 3 кластера AOI.

Здесь видно, что запрещенные предметы (Gun и IDEs) в большинстве своем распределены в двух кластерах (первом и втором). Дополнительно был проведен кластерный анализ итерационным методом k-средних. Элементы кластеров 1, 2, 3 представлены на рис. 3.

Исходя из анализа кластеров на рис. 2 и рис. 3, можно сделать вывод, что наблюдается общее подобие их структур. Наиболее интересны с точки зрения анализа первый и второй кластеры, в которых сгруппированы как запрещенные предметы, так и обычные предметы. Детальное изучение данных кластеров позволяет выявить те предметы, которые воспринимаются курсантами как идентичные, несмотря на то, что они относятся к разным группам (запрещенные и бытовые).

На рис. 4 представлен график средних для каждого кластера. По горизонтали отложены ключевые показатели глазодвигательной деятельности, участвующие в классификации, а по вертикали – средние значения показателей для каждого кластера.

Из анализа данных (рис. 4) видно, что кластеры имеют достаточно разнообразную структуру и не дублируют друг друга. При этом:

1. Первый кластер отличается средним значением показателя «Revisits». Причем показатель «First fixation» имеет самое высокое значение в сравнении с остальными кластерами.

Элементы кластера номер 1 (Данные неподгот.) и расстояния до центра кластера. Кластер содержит 27 набл.	
объедин.	
Item6(1)	0.530666
Item5(1)	0.520603
Item3(1)	0.452111
Item2(1)	0.447569
Item1(1)	0.713348
Gun(1)	0.674712
Item5(2)	0.476497
Item6(3)	0.314596
Item5(3)	0.054503
Item2(3)	0.873179
Gun(3)	0.730043
Item5(4)	0.660627
Item1(4)	0.173019
Item4(5)	0.462140
Item3(5)	0.729550
IEDs(5)	0.414135
Item3(6)	1.040425
IEDs(6)	0.490289

Элементы кластера номер 2 (Данные неподгот.) и расстояния до центра кластера. Кластер содержит 18 набл.	
объедин.	
White Space(1)	0.432012
IEDs(2)	0.402852
Item1(3)	0.300038
White Space(3)	0.538504
Item6(4)	0.300797
Gun(4)	0.543288
Item5(5)	0.275036
Item2(5)	0.646625
Item1(5)	0.504224
Item1(6)	0.876634
White Space(6)	1.032070
Item4(7)	1.032083
IEDs(7)	0.555743
White Space(7)	0.702070
Item2(9)	0.767057
IEDs(9)	0.833864
Item6(10)	0.513519
Item1(10)	0.557864

Элементы кластера номер 3 (Данные неподгот.) и расстояния до центра кластера. Кластер содержит 29 набл.	
объедин.	
Item7(1)	0.714639
Item4(1)	1.016722
Item6(2)	0.555376
Item4(2)	0.227503
Item3(2)	0.392776
Item2(2)	0.258384
Item1(2)	0.399975
White Space(2)	0.787751
Item7(3)	0.410244
Item4(3)	0.742926
Item3(3)	0.552078
Item4(4)	0.491180
Item3(4)	0.447039
Item2(4)	0.594460
White Space(4)	0.329843
White Space(5)	0.591592
Item2(6)	0.299991
Item2(7)	0.165229
Item1(7)	0.439027

Рис. 3. Состав кластеров АОІ для группы неподготовленных курсантов

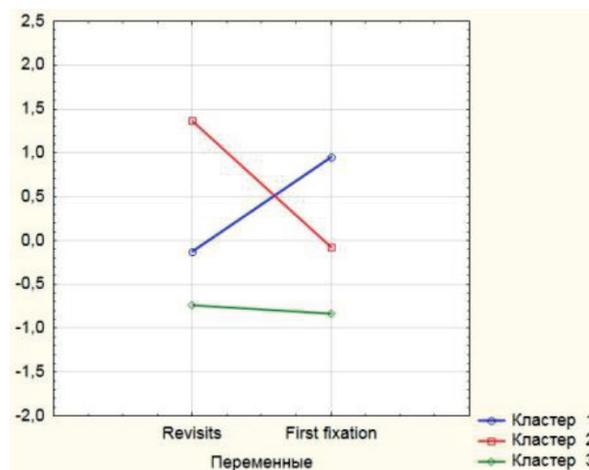


Рис. 4. График средних кластеров

В связи с этим к областям на изображении курсанты мало возвращались, но при этом затрачивали много времени для их первоначальной зрительной обработки. Это объясняется тем, что данные области вызвали наибольший зрительный интерес в начале визуального сканирования рентгеновского изображения.

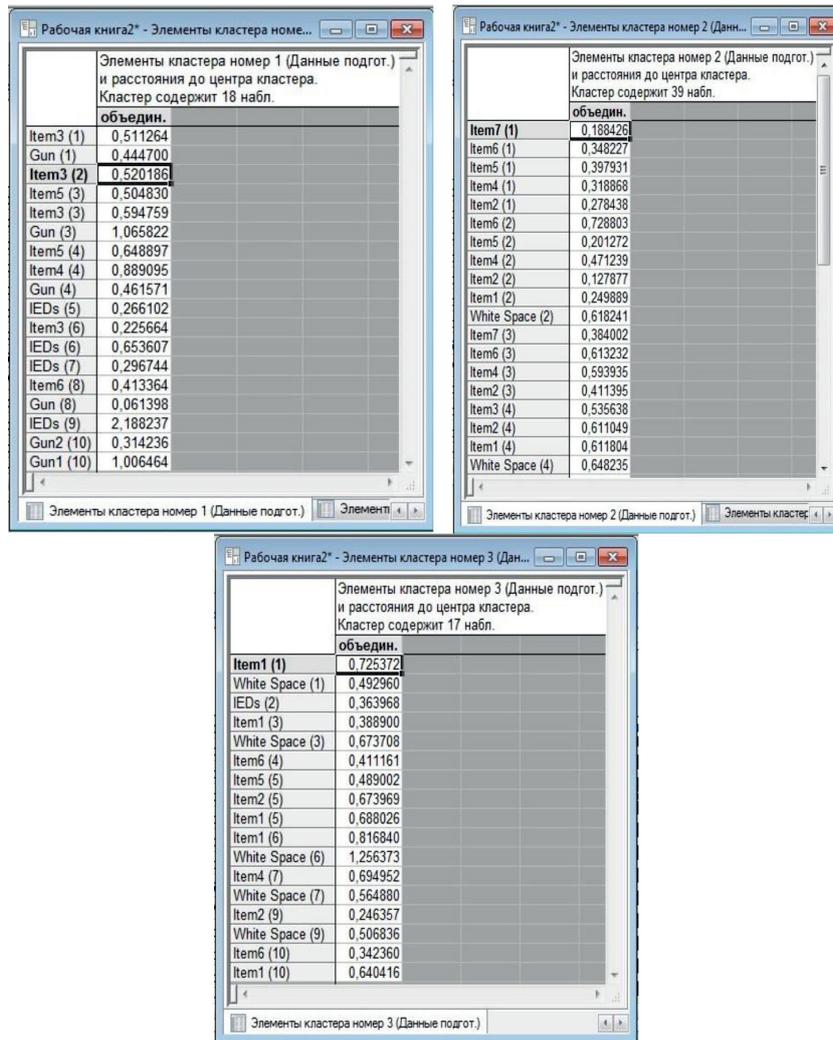


Рис. 6. Состав кластеров АОІ для группы подготовленных курсантов

На рис. 7 представлен график средних кластеров АОІ для группы подготовленных курсантов.

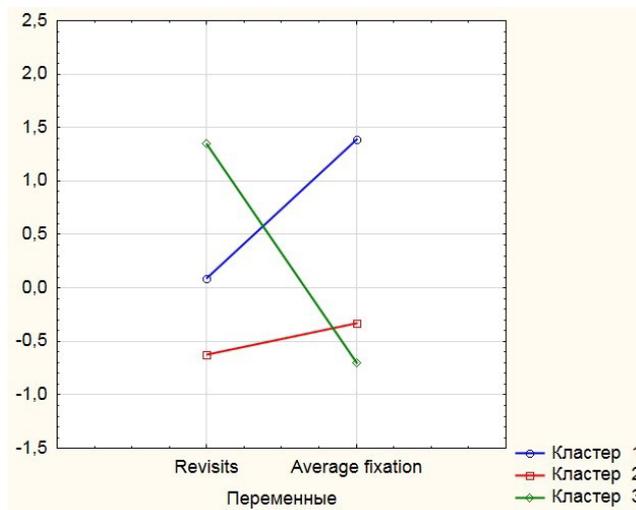


Рис. 7. График средних кластеров

Анализ кластеров (рис. 7) показывает, что:

1. Первый кластер отличается средним значением показателя «Revisits». При этом показатель «Average fixation» имеет самое высокое значение в сравнении с остальными кластерами. Тем самым на данных АОI респонденты больше всего времени затрачивали на фиксацию взгляда в процессе интерпретации рентгеновского изображения. Это объясняется тем, что запрещенные предметы (Gun и IDEs) в большинстве своем входят в данный кластер.

2. Второй кластер характеризуется самыми низкими значениями как показателя «Revisits», так и показателя «Average fixation». В связи с этим курсанты мало возвращались к областям на изображениях и мало фиксировали свой взгляд на них. Это объясняется тем, что элементами данного кластера являются бытовые предметы, которые были легки для зрительного понимания и интерпретации курсантами.

3. Третий кластер характеризуется самым высоким значением показателя «Revisits». В то же время показатель «Average fixation» имеет самое низкое значение. К АОI данного кластера курсанты достаточно много раз возвращались относительно других областей изображения. Однако надолго свой взгляд респонденты на данных АОI не фиксировали. Данная группа предметов вызывала сомнения у респондентов относительно того, являются ли они бытовыми или запрещенными, что подтверждается тем, что в данный кластер вошел запрещенный предмет IEDs(2). Но в большинстве своем данные были верно проинтерпретированы как неопасные.

Сравнение результатов в группах курсантов

В результате проведенного исследования была обнаружена особенность распределения внимания операторами досмотра с различным уровнем подготовки, связанная с формированием кластеров распределения внимания. Под кластером распределения внимания понимается группа предметов на рентгеновском изображении, представляющая с точки зрения оператора зрительный ресурс одного класса. В качестве классов выступают запрещенные и бытовые предметы. У курсантов с низким уровнем подготовки бытовые и запрещенные предметы распределены по нескольким кластерам распределения внимания. В свою очередь у курсантов с высоким уровнем подготовки запрещенные предметы в большинстве своем находятся в одном кластере.

При эффективном зрительном поиске взгляд быстро локализуется и время до первой фиксации у подготовленных курсантов гораздо короче, чем у менее подготовленных курсантов. Применение эффективных стратегий зрительного поиска позволяет подготовленным курсантам получать всю необходимую информацию с помощью меньшего количества возвратов к АОI. При этом эффективный глобальный поиск характеризуется длительными средними фиксациями в выбранной АОI. С другой стороны, неэффективный зрительный поиск характеризуется длительными первыми фиксациями на АОI, что может помешать оператору из-за так называемого «эффекта первого впечатления». В связи с этим подготовленные курсанты демонстрируют более эффективный поиск, отбирая потенциальные «опасные» области на изображении с помощью глобального поиска, используя преимущества более широкого функционального поля зрения в сочетании с более глубокими концептуальными знаниями о том, как выглядят запрещенные предметы, в отличие от слабоподготовленных.

Выводы

Таким образом, в данной работе были выявлены существенные различия в отношении зрительного поиска операторами досмотра с различным уровнем подготовки, связанных с формированием кластеров распределения внимания. Прикладное значение данной работы заключается в том, что полученные результаты позволят инструкторам формировать стратегии зрительного поиска операторов за счет оценки кластеров распределения внимания. Например, если тренажерная система будет оснащена системой регистрации движения глаз, инструктор

сможет реализовать индивидуальный анализ распределения внимания у конкретного обучающегося и предложить эффективную стратегию поиска, которая, как предполагается, позволит обучающемуся осуществлять зрительный поиск таким образом, что изображения запрещенных предметов войдут в обособленный кластер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Michel S., Hättenschwiler N., Kuhn M., Strebel N., Schwaninger, A. A multimethod approach towards identifying situational factors and their relevance for X-ray screening: Proceedings of the 48th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology. 2014. Pp. 208–213.
2. Мусин С.М., Волынский В.Ю., Соломенцев В.В., Аверин Д.В. Оценка компетенции специалиста органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 137–147.
3. Мусин С.М., Волынский В.Ю., Лушкин А.М. Идентификация компетентности специалиста органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 31. С. 9–19.
4. Гладких А.А., Волков Ан.К., Волков Ал.К., Комов А.А. Синтез нечеткой модели классификации уровня компетентности операторов досмотра с применением субтрактивной кластеризации и ANFIS-обучения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 26. С. 87–99.
5. Волков Ан.К. Исследование и диагностика стратегий зрительного поиска операторов досмотра с применением технологии Eye-tracking в целях создания интеллектуальных тренажерных комплексов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 25. С. 75–86.
6. Duchowski A.T. Eye Tracking Methodology. Theory and Practice / Springer International Publishing, Clemson University, Clemson, SC, USA, 2017. 418 p.
7. Bergstrom J.R., Schall A.J. Eye Tracking in User Experience Design / Morgan Kaufmann, Wyman Street, Waltham, MA, USA, 2014. 400 p.
8. Holmqvist K., Nyström N., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., Van de Weijer J. Eye Tracking: A Comprehensive Guide To Methods And Measures / Oxford University Press, Clemson University, Oxford, UK. 2011. 781 p.
9. Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 485 с.
10. Гашев С.Н., Бетляева Ф. Х., Лупинос М.Ю. Математические методы в биологии: Анализ биологических данных в системе Statistica: учебное пособие. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. 208 с.

REFERENCES

1. Michel S., Hättenschwiler N., Kuhn M., Strebel N., Schwaninger A. A multimethod approach towards identifying situational factors and their relevance for X-ray screening: Proceedings of the 48th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, 2014, pp. 208–213.
2. Musin S.M., Volynsky V.Yu., Solomentsev V.V., Averin D.V. Evaluation of the competence of a specialist of the certification body for ensuring transport security in air transport. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 30, pp. 137–147. (In Russian).
3. Musin S.M., Volynsky V.Yu., Lushkin A.M. Identification of the competence of a specialist of the body for certification of the forces of ensuring transport security in air transport. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 31, pp. 9–19. (In Russian).
4. Gladkikh A.A., Volkov An.K., Volkov Al.K., Komov A.A. Synthesis of a fuzzy model for classifying the level of competence of security screeners using subtractive clustering and ANFIS-training. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 26, pp. 87–99. (In Russian).

5. Volkov An.K. Research and diagnostics of visual search strategies for security screening operators using Eye-tracking technology in order to create intelligent training complexes. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 25, pp. 75–86. (In Russian).

6. Duchowski A.T. *Eye Tracking Methodology. Theory and Practice* / Springer International Publishing, Clemson University, Clemson, SC, USA, 2017. 418 p.

7. Bergstrom J.R., Schall A.J. *Eye Tracking in User Experience Design* / Morgan Kaufmann, Wyman Street, Waltham, MA, USA, 2014, 400 p.

8. Holmqvist K., Nyström N., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., Van de Weijer J. *Eye Tracking: A Comprehensive Guide To Methods And Measures* / Oxford University Press, Clemson University, Oxford, UK, 2011, 781 p.

9. Harman G. *Sovremennyy faktornyy analiz*. [Modern factor analysis]. Statistika Publ., 1972, 485 p. (In Russian).

10. Gashev S.N., Betlyayeva F. H., Lupinos M.Yu. *Matematicheskie metody v biologii: Analiz bio-logicheskikh dannyh v sisteme Statistica.Uchebnoe posobie* [Mathematical methods in biology: analysis of biological data in Statistica system]. Tyumen', Tyumenskij gosudarstvennyj universitet Publ., 2014, 208 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация, 432071; e-mail: volkovalex8@rambler.ru.

Гладких Анатолий Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация; 432071; e-mail: a_gladkikh@mail.ru.

Уласюк Татьяна Георгиевна, старший преподаватель, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация, 432071; e-mail: tgu-7@yandex.ru.

Заббаров Зульфат Рифкатович, аспирант кафедры летной эксплуатации и безопасности полетов, ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, пилот ПАО «Аэрофлот», ул. Арбат, д. 1, Москва, Российская Федерация, 119019; e-mail: zabbarovz@gmail.com.

ABOUT THE AUTHORS

Volkov Alexander K., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: oabuvauga@mail.ru.

Gladkikh Anatolij A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: a_gladkikh@mail.ru.

Ulasyuk Tatiana G., Senior Lecturer, Postgraduate Student at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: oabuvauga@mail.ru.

Zabbarov Zulfat R., Postgraduate Student at the Department of Flight Operation and Flight Safety, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, PJSC «Aeroflot» Pilot, Arbat Street, 1, 119019 Moscow, Russian Federation; e-mail: zabbarovz@gmail.com.

УДК 303.732:656.71.086

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ УГРОЗ НА ОБЪЕКТЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.В. ДОРМИДОНТОВ, Л.В. МИРОНОВА, В.С. МИРОНОВ

Ульяновский институт гражданской авиации, г. Ульяновск, Российская Федерация

Аннотация. В настоящем исследовании рассматривается применение методов системного анализа к описанию и выработке управленческих решений в работе службы безопасности. Основная проблема, решаемая в рамках статьи – это проблема выбора и обоснованности введения мероприятий по нейтрализации угрозы на объекте. Описан подход к выбору наиболее предпочтительной альтернативной стратегии на основе оцененных критериев сравнения, который позволяет сократить количество рассматриваемых альтернатив, тем самым упрощая процесс принятия решения. Используемый подход позволяет грамотно и наиболее эффективно распределить имеющиеся ресурсы для наиболее полной минимизации уровня угрозы в адрес объекта транспортной инфраструктуры. Решена одна из актуальнейших задач необходимости введения повышенного уровня безопасности на объектах транспортной инфраструктуры различных категорий, а именно поиска наиболее предпочтительной стратегии в условиях риска на основе интегральной оценки, включающей в себя оценки обоснованности и эффективности. Сделан вывод о возможности количественного определения уровня безопасности для различных категорий объектов воздушного транспорта, обоснованности введения уровня безопасности на объектах гражданской авиации. Таким образом, применение методов системного анализа в рамках исследования проблемы принятия решений позволяет выявить наиболее оптимальные альтернативные решения.

Ключевые слова: безопасность аэропорта, количественная оценка уровня безопасности, степень защищенности, системный анализ, альтернативные стратегии, оценка угрозы, уровень безопасности, риск

CHOOSING A COUNTERACTION STRATEGY BASED ON SOLVING A MULTI-CRITERIA TASK OF NEUTRALIZING THREATS AT A TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITY

A.V. DORMIDONTOV, L.V. MIRONOVA, V.S. MIRONOV

Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. This research examines the application of system analysis methods to the description and development of management decisions in the work of the security service. The main problem solved in the article is the problem of choosing and justifying the introduction of measures to neutralize the threat at the facility. An approach to choosing the most preferred alternative strategy is described. The approach is based on evaluated comparison criteria, which reduces the number of alternatives considered. This is a simplification of the decision-making process. The approach used makes it possible to correctly and most effectively allocate the available resources for the most complete minimization of the threat level to the transport infrastructure object. One of the most urgent tasks of the need to introduce an increased level of security at transport infrastructure facilities of various categories has been solved. This is the task of finding the most preferred strategy in a risk environment based on an integral assessment. The assessment includes assessments of validity and effectiveness.

It is concluded that it is possible to quantify the level of safety for various categories of air transport facilities, and that it is reasonable to introduce a level of safety at civil aviation facilities. The using of methods of system analysis in the framework of the study of the problem of decision-making makes allow us to identify the most optimal alternative solutions.

Keywords: airport security, quantification of security level, degree of security, system analysis, alternative strategies, threat assessment, security level, risk

Введение

Принятие грамотных управленческих решений в работе службы безопасности объекта транспортной инфраструктуры воздушного транспорта (аэропорта) является актуальной проблемой. Ключевое значение при решении такой проблемы имеет использование научно обоснованных приемов и методов теории управления службой безопасности аэропорта. Несмотря на множественные попытки современных исследователей описать и оценить количественно работу службы безопасности аэропорта [1, 2], вопросы применения научно доказанных подходов в практике управления службой безопасности остаются малоисследованными. Основной задачей при принятии управленческих решений является задача выбора наиболее подходящей альтернативы решения. Для решения задачи выбора альтернативных стратегий и одновременно количественного описания некоторых показателей работы службы безопасности аэропорта в данном исследовании воспользуемся методологией системного анализа.

Одним из основных показателей работы службы безопасности аэропорта является степень защищенности объекта, которая зависит от уровня угрозы на объекте в определенный промежуток времени [3]. Исходя из уровня угроз, формируется уровень безопасности объекта. Определяя перечисленные понятия как элементы системы управления службой безопасности и оценивая их количественно, можно определить альтернативные стратегии при выборе уровня защищенности аэропорта. Сравнение альтернатив с целью выбора подлежащей реализации возможно при соотношении стоимости реализации мероприятий, затраченного времени, их эффективности и коэффициента уменьшения риска возникновения негативного воздействия.

Постановка задачи

Основная проблема, решаемая с помощью данного подхода, это проблема выбора и обоснованности введения мероприятий по нейтрализации угрозы на объекте. Представляя понятие «уровень безопасности» как единый комплекс проводимых мероприятий по обеспечению безопасности аэропорта, проблема сводится к обоснованности введения такого уровня в определенный момент времени [4, 5]. Согласно [6] уровень безопасности должен соответствовать потенциальным, непосредственным и прямым угрозам.

В качестве входного параметра системы обеспечения безопасности примем уровень угрозы на N-м объекте в заданный промежуток времени. Выходным параметром при этом будем считать уровень снижения угрозы или степень защищенности аэропорта. В результате реализации мероприятий обеспечения безопасности на объекте происходит процесс нейтрализации угрозы, уменьшение ее уровня воздействия до приемлемого (оптимального). Разной степени угрозы должны быть противопоставлены разные степени ее нейтрализации, т.е. разные комплексы мероприятий, которые выражаются в уровне безопасности. Таким образом оправдывается реализация различных мероприятий на объекте. Ограничения будут выражаться в виде постоянных параметров системы безопасности и объекта (конструктивные особенности объекта, количество постов досмотра и т. д.). Исходя из этого, задача управления системой безопасности аэропорта состоит в грамотном и наиболее эффективном распределении имеющихся ресурсов для наиболее полной минимизации уровня угрозы в адрес аэропорта.

Перед лицом, принимающим решение, поставлена задача: введение уровня безопасности – выбора альтернативной стратегии противодействия угрозам с использованием Парето-оптимальных решений.

Список стратегий А, В, С включает в себя однородные комплексы мероприятий.

Для сравнительной оценки стратегий используется 4 критерия: К1 – стоимость реализации стратегии (тыс. руб.); К2 – время полной реализации стратегии (мин); К3 – эффективность внедрения стратегии (экспертная оценка в интервале [0; 1] с шагом 0,01); К4 – риск реализации негативного воздействия при выполненной стратегии (экспертная оценка, качественная характеристика) [7].

Таким образом, оценки могут быть распределены следующим образом (табл. 1) [8].

Таблица 1

Распределение экспертных оценок

Критерии Стратегии	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄
А	100	0	0,9	Выше среднего
В	150	60	0,94	Выше среднего
С	200	120	0,97	Средний

Критерии К₁, К₂, К₄ – необходимо минимизировать, К₃ – максимизировать.

Для дальнейшего исследования необходимо привести критерии к однородному виду. В качестве общей шкалы была выбрана пятибалльная шкала (табл. 2, 3).

Таблица 2

Таблица перевода значений критериев в общую шкалу

Критерии Градации	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄
1	(180;200]	(96;120]	[0,75;0,8]	Высокий
2	(150;180]	(72;96]	(0,8;0,85]	Выше среднего
3	(130;150]	(48;72]	(0,85;0,9]	Средний
4	(100;130]	(24;48]	(0,9;0,95]	Ниже среднего
5	[0;100]	[0;24]	(0,95;1]	Низкий

Таблица 3

Оценки стратегий по пятибалльной шкале

Критерии Стратегии	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄
А	5	5	3	2
В	3	3	4	2
С	1	1	5	3

С использованием системы поддержки принятия решений DASS [9] было установлено, что при важности критериев К₁, К₂, К₃, К₄ наиболее предпочтительной является реализация альтернативной стратегии А (рис. 1).

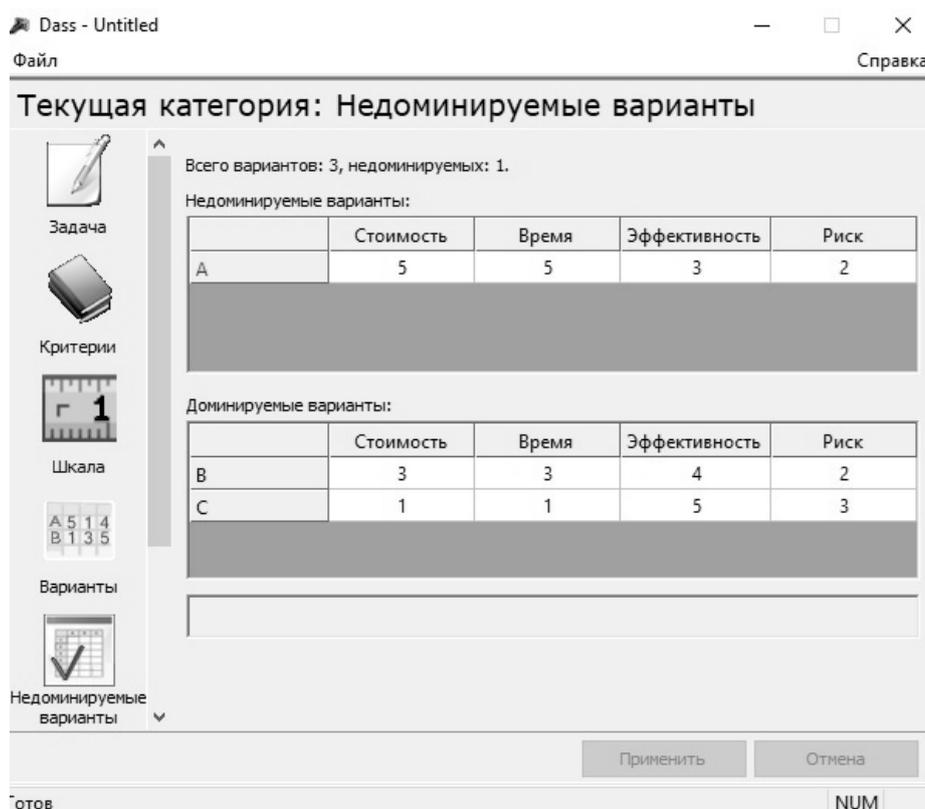


Рис. 1. Результат расчета предпочтительной стратегии

Достоинством концепции эффективного решения является то, что она реализуема в практически значимых классах задач. Недостаток нахождения Парето-оптимального решения состоит в том, что оно, как правило, не позволяет найти единственное решение проблемы (в отличие от частного случая в приведенном примере), можно получить лишь множество эффективных решений. Проведение выбора оптимальной альтернативной стратегии описанным способом иногда не обеспечивает выбора одной альтернативной стратегии, но позволяет сократить их количество, то есть найти их наиболее предпочтительное множество, что, в свою очередь, несомненно упрощает принятие решения.

Дальнейшее сужение полученного множества возможно только при введении дополнительной информации о соотношении используемых в задаче критериев. При решении управленческой задачи обеспечения безопасности аэропорта часто возникает ситуация, когда принятие решений зависит от критериев, которые возможно определить только с определенной вероятностью. В таком случае принято считать, что выбор осуществляется в условиях риска.

Описать такую ситуацию можно, если допустить, что множество возможных состояний внешней среды $G = \{g_j\}; j = 1, 2 \dots n$ ограничено, а каждому такому состоянию соответствуют вероятности нахождения внешней среды в таком состоянии – p_j . Обозначим также некоторое множество предполагаемых альтернатив $A = \{a_i\}; i = 1, 2 \dots m$. Допустим, что для каждого сочетания альтернативного решения a_i и состояния внешней среды g_j задана некоторая функция полезности f_{ij} .

В качестве критерия оптимальности используются взвешенные по вероятности суммы функции полезности [10]:

$$F(a_i) = \sum_{k=1}^n p_j f_j, \quad \sum_{k=1}^n p_j = 1, \quad (1)$$

где p_j – вероятность нахождения внешней среды в состоянии j ;
 f_{ij} – функция полезности принятия альтернативного решения.

В рамках описанного подхода рассмотрим одну из актуальнейших задач необходимости введения повышенного уровня безопасности на объектах различных категорий. Задача может быть сформулирована следующим образом: *определить условия необходимости введения повышенного уровня безопасности на объекте N категории, исходя из вероятности реализации угроз на объекте при условии, что каждая альтернативная стратегия находится в Парето-оптимальном множестве решений.*

Для решения задачи необходимо определить целевую функцию системы, произвести оценку каждой альтернативы по уровню угрозы и составить матрицу (табл. 4).

Целевая функция введения уровня безопасности выглядит следующим образом:

$$f = \{u_i \in U, W \rightarrow \max, S \rightarrow \min\}, \quad (2)$$

где U – множество альтернатив, ведущих к поставленной цели;
 i – количество альтернативных стратегий;
 W – эффективность от введения стратегии;
 S – затраты на введение стратегии.

Таблица 4

Матрица оценки альтернатив

Условия выбора гипотезы – уровень угрозы	Альтернативные стратегии: уровень безопасности аэропорта		
	1	2	3
Условие 1 – низкий			
Условие 2 – высокий			

Для того, чтобы провести расчет, используем в качестве критериев функции полезности уровень снижения риска (оценка обоснованности) и эффективность (оценка эффективности), которые определяются как средневзвешенные величины, состоящие из присвоенных баллов по каждому из критериев оценки. Интегральная оценка обоснованности и эффективности будет определяться как средневзвешенная величина из полученных значений оценки обоснованности и оценки эффективности.

Оценка обоснованности R введения альтернативной стратегии выглядит следующим образом: $R = \sum_{i=1}^n k_i q_i$, где k_i – весовой коэффициент i -го критерия оценки обоснованности; q_i – балл i -го критерия оценки обоснованности; i – номер критерия оценки обоснованности; n – количество критериев оценки обоснованности. Оценка эффективности W альтернативной стратегии рассчитывается следующим образом: $W = \sum_{j=1}^m k_j q_j$, где k_j – весовой коэффициент j -го критерия оценки эффективности; q_j – балл j -го критерия оценки эффективности; j – номер критерия оценки эффективности; m – количество критериев оценки эффективности.

Интегральная оценка I определяется как $I = 0,35R + 0,65W$. Оценка обоснованности проводится экспертным путем по наиболее значимым критериям (табл. 5). Весовые коэффициенты, указанные в таблице, определены сравнительным методом (матрицей приоритетов) [11]. Балльная градация каждого критерия определена экспертным путем. Стоит отметить, что критерии, входящие в оценку, разнородные и содержат как ситуационные характеристики (критерии 1, 2, 4, 10), так и стационарные характеристики, относящиеся к объекту (критерии 5, 7, 8, 9).

Таблица 5

Матрица оценки обоснованности альтернатив

№	Критерий обоснованности	Весовой коэффициент	Характеристика присваиваемых баллов
1	Соответствие альтернативы поставленной цели	0,06	1 балл – при полном соответствии альтернативы поставленной цели 0,5 баллов – при частичном соответствии альтернативы сформулированной цели. 0 баллов – при полном несоответствии альтернативы поставленной цели
2	Возможность достижения поставленной цели	0,07	1 балл – при полном достижении альтернативы поставленной цели 0,5 баллов – при частичном достижении альтернативы сформулированной цели. 0 баллов – при невозможности достижения поставленной цели
3	Наличие ресурсов для достижения поставленной цели	0,09	1 балл – при полном наличии ресурсов для достижения поставленной цели 0 баллов – при отсутствии какого-либо из ресурсов для достижения поставленной цели
4	Наличие достоверной информации о характере АНВ, модели нарушителя и достоверность источника информации	0,25	1 балл – при достоверности полученной информации более, чем на 90 % 0,75 баллов – при достоверности полученной информации более, чем на 85 % 0,5 баллов – при достоверности полученной информации более, чем на 80 % 0,25 баллов – при достоверности полученной информации более, чем на 65 % 0 баллов – при достоверности полученной информации менее 65 %
5	Наличие НПБ и регламентирующих инструкций	0,07	1 балл – при наличии всей НПБ и регламентирующих инструкций объекта при действиях в ЧС 0 баллов – при наличии несогласованной НПБ и регламентирующих инструкций объекта при действиях в ЧС с участниками действий
6	Наличие управляющего звена	0,1	1 балл – при нахождении управляющего звена/оперативного штаба на территории объекта 0,5 баллов – при нахождении управляющего звена на территории объекта, а оперативного штаба за пределами объекта 0 баллов – при нахождении управляющего звена и оперативного штаба за пределами объекта

Оценка эффективности по подобию оценки обоснованности также проводится экспертным методом. Так как альтернативные стратегии – это комплекс мероприятий, то оценка проводится по критериям наличия или отсутствия мероприятий в альтернативном комплексе, минимизирующих или ликвидирующих угрозы различного вида (по характерам актов незаконного вмешательства) [12]. Критерии эффективности стратегий и их оценки приведены

в табл. 6. Нахождение оценок обоснованности и эффективности проводится для каждого уровня угрозы и каждой альтернативы, а также находится интегральный критерий по каждому случаю.

Таблица 6

Матрица оценки эффективности альтернатив

№	Критерий эффективности	Весовой коэффициент	Характеристика присваиваемых баллов
1	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу захвата ВС	0,3	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу захвата ВС 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу захвата ВС
2	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу блокирования объекта	0,2	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу блокирования объекта 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу блокирования объекта
3	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу несанкционированного проникновения на объект	0,15	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу несанкционированного проникновения на объект 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу несанкционированного проникновения на объект
4	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу проноса ВВ и ВУ	0,15	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу проноса ВВ и ВУ 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу проноса ВВ и ВУ
5	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу нарушения систем функционирования объекта	0,25	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу нарушения систем функционирования объекта 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу нарушения систем функционирования объекта
6	Наличие мероприятий, минимизирующих угрозу информационной безопасности	0,1	1 балл – при наличии мероприятий, минимизирующих угрозу информационной безопасности 0 баллов – при отсутствии мероприятий, минимизирующих угрозу информационной безопасности

Результаты исследования

Итоговая матрица интегральных оценок альтернатив в результате расчетов выглядит следующим образом (табл. 7).

Таблица 7

Итоговая матрица интегральных оценок альтернатив

Условия выбора гипотезы – уровень угрозы	Альтернативные стратегии: уровень безопасности аэропорта		
	1	2	3
Условие 1 – низкий	0,986	0,958	0,66
Условие 2 – высокий	0,427	0,55	1

Построим график распределения вероятности наступления высокого уровня угрозы. На оси абсцисс отложена вероятность наступления высокого уровня угрозы объекта. На оси ординат слева отложены значения интегральных оценок альтернатив (табл. 7) при низком уровне угрозы, а справа – значения интегральных оценок альтернатив в условиях высокого уровня угрозы (рис. 2).

Из графика видно, что при условии максимизации значений интегральных оценок при низкой вероятности реализации угрозы на объекте наиболее оптимальной является альтернатива 1, при среднем уровне вероятности реализации угрозы на объекте – альтернатива 2, а при вероятности реализации угрозы на объекте выше среднего – альтернатива 3.

Имея уравнения каждой альтернативы, можно найти точки пересечения стратегий и вычислить значения вероятностей. Для этого воспользуемся уравнением прямой $y = a + bx$, где y – интегральная оценка альтернативных стратегий; x – вероятность наступления условия выбора; a – точка пересечения прямой уровня угрозы с осью Y ; b – наклон прямой. Результаты приведены в табл. 8.

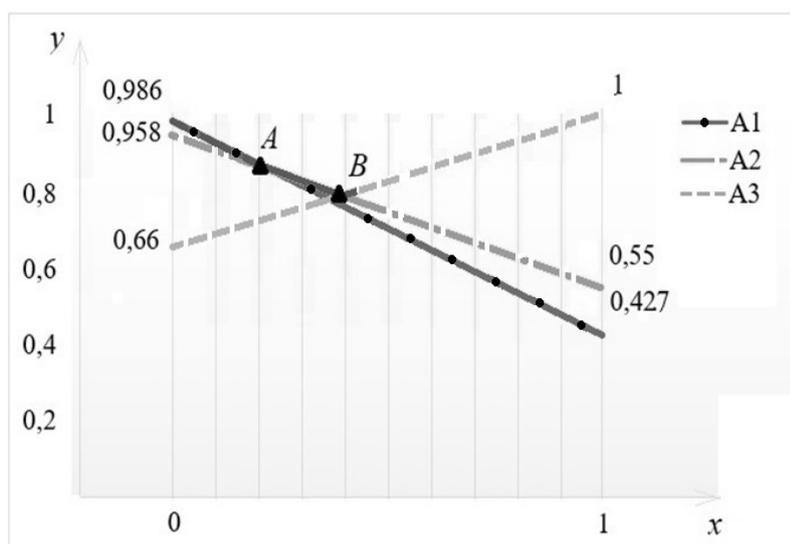


Рис. 2. Результат выбора альтернатив при различном уровне угрозы на объекте

Таким образом, в рассматриваемой задаче (объект N-й категории), если вероятность наступления угрозы на объекте менее 0,21, то необходимо оставаться на первом уровне безопасности, если вероятность наступления угрозы колеблется от 0,21 до 0,44, необходимо повышать уровень безопасности для объекта до второго, если же вероятность наступления угрозы более 0,44, то необходимо объявлять третий уровень безопасности.

Таблица 8

Количественная оценка вида угрозы на объект

Вид угрозы	Вероятность реализации угрозы
Потенциальная	$P_{уг} \leq 0,21$
Непосредственная	$0,21 <$
Прямая	$P_{уг} \geq 0,44$

Рассматриваемый подход позволяет количественно определить понятия потенциальной, непосредственной и прямой угроз на объект.

Выводы

Таким образом, применение методов системного анализа в рамках исследования проблем принятия решений позволяют выявить наиболее оптимальные альтернативные решения [13]. Первый рассмотренный пример в общем случае позволяет решать многокритериальную задачу выбора. Безусловно, оценка комплекса мероприятий, включенных в альтернативные стратегии с учетом уровня угроз, является отдельным направлением дальнейших исследований.

Представленный подход анализа выбора альтернативных стратегий в зависимости от уровня угрозы интересен тем, что с его помощью возможно количественное определение вида угрозы для различных категорий объектов воздушного транспорта, а также научным обоснованием введения повышенного уровня безопасности на объекте. Действительно, для различных категорий объектов понятия потенциальной, непосредственной и прямой угроз могут иметь весомые отличия, а представленная количественная градация является своего рода «линейкой» к определению уровня безопасности. В случае, если итоговая количественная оценка прямой и непосредственной угрозы в измерениях вероятности реализации угрозы мала, то можно сделать вывод о необходимости повышать постоянные характеристики объекта воздушного транспорта, такие как квалификация персонала, закупка современных технических средств и т.д.

Однако следует отметить, что представленный подход подразумевает количественную оценку уровня угрозы, что является предметом отдельного исследования. Кроме того, он содержит субъективные критерии отдельных объектов, которые требуют обобщения для нахождения пределов различных категорий объектов.

Направлениями для дальнейшего исследования является не только обобщение измеряемых критериев к категориям объекта, но и проведение анализа чувствительности уровня безопасности к другим показателям системы безопасности, а также уменьшение влияния субъективности экспертных оценок на конечный результат исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисов Л.Н. Введение в теорию авиационной безопасности / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков, Р. С. Фадеев; Под. ред. Л. Н. Елисова. Ярославль: Филигрань, 2016. 320 с.
2. Михайлов Ю.Б. Научно-методические основы обеспечения безопасности защищаемых объектов. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 322 с.
3. Асланов М.А. Системный анализ и принятие решений в деятельности учреждений реального сектора экономики, связи и транспорта / М.А. Асланов [и др.]; Под ред. В.В. Кузнецова. Москва: ЗАО «Издательство «Экономика», 2010. 406 с.
4. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования авиационной безопасности к аэропортам»: Приказ Минтранса РФ от 28 ноября 2005 г. № 142.
5. Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры воздушного транспорта: Постановление Правительства РФ от 5 октября 2020 г. № 1605.
6. Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления): Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2020 г. № 2344.
7. Мусин С.М., Лаврентьев О.Ю., Зубков Б.В., Кулешов А.А. Оценка рисков технологий досмотра авиагруза в системе обеспечения авиационной безопасности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С. 108–120.
8. Подиновский В.В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. М.: Наука, 2019. 103 с.

9. Подиновский В.В. Важность критериев в многокритериальных задачах принятия решений: теория, методы, софт и приложения / В.В. Подиновский, М.А. Потапов // Открытое образование. 2012. № 2. С. 55–60.

10. Бражников М.А. Методы принятия управленческих решений и моделирование промышленного производства: учеб. пособие / М.А. Бражников, И.В. Хорина, Р.А. Селиванова. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 107 с.

11. Матях И.В. Корреляционный анализ методов определения весовых коэффициентов значимости для системы оценки социально-экономических показателей развития предприятия / И.В. Матях, Е.О. Савкова // Информатика и кибернетика. 2015. № 2. С. 71–75.

12. Dormidontov A. V. Systematic approach to the process of threats implementation on transportation facilities / A.V. Dormidontov, L.V. Kuzovatkina // Modern Science : scientific publications journal, 2017. № 02. Pp. 32–38.

13. Дормидонтов А.В. Системный подход к оценке уровня безопасности объекта на основе модели противодействия / А.В. Дормидонтов, Л.В. Миронова, В.С. Миронов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 129–136.

REFERENCES

1. Elisov L.N. *Vvedenie v teoriyu aviatsionnoj bezopasnosti* [Introduction to the theory of aviation security]. L.N. Elisov, N.I. Ovchenkov, R. S. Fadeev; Ed. by L.N. Elisov. Yaroslavl, Filigran` Publ., 2016, 320 p. (In Russian).

2. Mikhajlov Yu.B. *Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya bezopasnosti zashchishchaemykh ob`ektov* [Scientific and methodological foundations of ensuring the security of protected objects]. Moscow, Goryachaya liniya-Telecom Publ., 2016, 322 p. (In Russian).

3. Aslanov M.A. *Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij v deyatel`nosti uchrezhdenij real`nogo sektora ehkonomiki, svyazi i transporta* [System analysis and decision-making in the activities of institutions of the real sector of the economy, communications and transport]. M.A. Aslanov [et al.]; edited by V.V. Kuznetsov. Moscow, Ehkonomika Publ., 2010, 406 p. (In Russian).

4. On the approval of the Federal Aviation Regulations «Aviation Security Requirements for Airports». Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 142 of November 28, 2005. (In Russian).

5. On approval of the requirements for ensuring transport security, including the requirements for anti-terrorist protection of objects (territories) that take into account the security levels for various categories of air transport infrastructure objects. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1605 of October 5, 2020. (In Russian).

6. On the security levels of transport infrastructure and vehicles and on the procedure for their declaration (establishment). Decree of the Government of the Russian Federation No. 2344 of December 29, 2020. (In Russian).

7. Musin S.M., Lavrentyev O.Yu., Zubkov B.V., Kuleshov A.A. Risk assessment of air cargo screening in the aviation security system. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32 (343), pp. 108–120. (In Russian).

8. Podinovskij V.V. *Idei i metody teorii vazhnosti kriteriev v mnogokriterial`nykh zadachakh prinyatiya reshenij* [Ideas and methods of the theory of the importance of criteria in multi-criteria decision-making tasks]. V.V. Podinovskij. Moscow, Nauka Publ., 2019, 103 p. (In Russian).

9. Podinovskij V.V., The importance of criteria in multi-criteria decision-making tasks: theory, methods, software and applications. V.V. Podinovskij, M.A. Potapov. *Otkrytoe obrazovanie = Open education*, 2012, no. 2, pp. 55–60. (In Russian).

10. Brazhnikov M.A. *Metody prinyatiya upravlencheskikh reshenij i modelirovanie promyshlennogo proizvodstva. Uchebnoe posobie* [Methods of making managerial decisions and modeling of industrial production. Textbook]. M.A. Brazhnikov, I.V. Khorina, R.A. Selivanova. Samara, SGTU Publ., 2012, 107 p. (In Russian).

11. Matyah I.V. Correlation analysis of methods for determining weight coefficients of significance for the evaluation system of socio-economic indicators of enterprise development I.V. Matyah, E.O. Savkova. *Informatika i kibernetika = Informatics and Cybernetics*, 2015, no. 2, pp. 71–75. (In Russian).

12. Dormidontov A.V. Systematic approach to the process of threats implementation on transportation facilities. A.V. Dormidontov, L.V. Kuzovatkina. *Modern Science: scientific publications journal*, 2017, no. 02, pp. 32–38.

13. Dormidontov A.V. A systematic approach to assessing the level of security of the object based on the model of counteraction. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 30 (341), pp. 129–136. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дормидонтов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация; 432071; e-mail: d1959av@mail.ru.

Миронова Лидия Владимировна, соискатель, кафедра обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация; 432071; e-mail: lida737@yandex.ru.

Миронов Василий Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры обеспечения авиационной безопасности, ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, Российская Федерация; 432071; e-mail: mironov1893@yandex.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Dormidontov Alexander V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: d1959av@mail.ru.

Mironova Lidiya V., Assistant at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: lida737@yandex.ru.

Mironov Vasiliy S., Postgraduate Student, Assistant at the Department of Aviation Security, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Mozhaisky Street, 8/8, 432071 Ulyanovsk, Russian Federation; e-mail: mironov1893@yandex.ru.

УДК 629.735.017:629.735.45.05

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЕРТОЛЕТОВ ТИПА МИ-8 ЗА ПЕРИОД 2014–2019 гг.

Н.М. СЕМЕНОВ, А.Л. РЯБИНИН, В.А. СТАРЦЕВ, В.В. ГРИГОРИН-РЯБОВ, А.Ю. СЕЛИВАНОВ

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

Аннотация. В статье рассмотрены основные расчетные показатели при составлении обобщения опыта эксплуатации бортового оборудования вертолетов, в частности вертолетов типа Ми-8 (Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС и другие) (далее- Ми-8Т). Приведенные в статье расчеты и анализ могут применяться для прогнозирования полетов и минимизации суммарных расходов на эксплуатацию бортового оборудования в составе воздушных судов с учетом затрат на всем жизненном цикле. Анализ упомянутых в статье показателей выполняется с целью изучения изменения параметра суммарного потока отказов каждого типа изделия и выявления неисправностей, обусловленных как конструктивно-производственными недостатками, так и износом с течением времени элементов конструкции. Это позволяет принять соответствующие меры в части безопасности полетов, а также сокращению экономических издержек на эксплуатацию авиационной техники (АТ). В процессе эксплуатации изделия по состоянию до отказа или по действующим ресурсам необходимым условием является контроль за возникновением в системе одновременно двух и более отказов и за возникновением новых видов отказов. Целью обобщения опыта эксплуатации бортового оборудования является выявление увеличения потока отказов, оценка влияния данных отклонений на отказобезопасность изделий и безопасность полетов в целом, а также выявление новых видов отказов. Результаты обобщения опыта эксплуатации могут быть использованы для обоснования решений в части надежности изделий.

Ключевые слова: функциональная система, ресурс, надежность, агрегаты, параметр суммарного потока отказов, бортовое оборудование, отказы, комплектующие изделия, срок службы

BEST PRACTICES FOR OPERATING AIRBORNE EQUIPMENT IN MI-8-TYPE HELICOPTERS FOR THE PERIOD OF 2014-2019

N.M. SEMENOV, A.L. RYABININ, V.A. STARTSEV, V.V. GRIGORIN-RYABOV, A.YU. SELIVANOV

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

Abstract. The paper is concerned with the main calculated indicators when analyzing best practices for operating airborne equipment of helicopters, notably, Mi-8 type helicopters. The calculations and analysis presented in the paper can be used to predict flights and minimize the total costs of operating airborne equipment as part of aircraft, taking into account the costs over their entire life cycle. The indicators mentioned in the paper are analyzed in order to study the change in the parameter of the total failure flow of each type of product and to identify malfunctions caused by both design and production defects and wear and tear of structural elements over time. This makes it possible to take appropriate measures to ensure flight safety, and to reduce the economic costs of operating aircraft (A/C). During the condition-based “run-to-failure” operation of the product or with due account of the available resources, a necessary condition is to control the occurrence of two or more simultaneous failures in the system and the occurrence of new types of failures. The purpose of

generalizing the experience in operating the airborne equipment is to identify an increase in the flow of failures, assess the impact of these deviations on the fail-safe performance of products and flight safety in general, as well as identify new types of failures. The results of generalizing this operating experience (best practices) can be used to substantiate decisions in terms of product reliability.

Keywords: functional system, resource, reliability, units and components, parameter of the total failure flow, airborne equipment, failures, component parts, service life

Введение

Безопасность полетов всегда являлась приоритетом для разработчиков, изготовителей авиационной техники и эксплуатантов. Существенной мерой в предотвращении отказов АТ в полете и, как следствие, возникновения аварийных и катастрофических ситуаций является анализ опыта эксплуатации авиационного оборудования.

На основании полученных материалов (сведения об отказах и неисправностях функциональных систем 022, 023, 031, 034, 110 парка вертолетов типа Ми-8, эксплуатирующихся в гражданской авиации в объеме карточек учета неисправностей авиационной техники на основании данных Государственного центра «Безопасность полетов на воздушном транспорте»¹, проводится оценка надежности и безопасности эксплуатации ПНиРЭО (пилотажно-навигационного и радиоэлектронного оборудования) вертолетов типа Ми-8. Оцениваются наиболее характерные отказы и неисправности, их причины, а также показатели надежности.

Критерии оценки отказов бортового оборудования функциональных систем

В соответствии с требованиями норм летной годности [1] желательно, чтобы любое отказное состояние (функциональный отказ), приводящее к УУП (усложнению условий полета), не могло быть отнесено к событиям повторяющимся, то есть с вероятностью возникновения более 10^{-3} на час полета (или на один полет). Усложнение условий полета (УУП) – особая ситуация, характеризующаяся незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на экипаж или незначительным ухудшением аэродинамических характеристик, влияющих на устойчивость и управляемость ВС. УУП не приводит к необходимости немедленного или предусмотренного заранее изменения плана полета и не препятствует его благополучному завершению, за исключением случаев, указанных в Руководстве по летной эксплуатации [2–4].

Целью анализа обобщения опыта эксплуатации бортового оборудования является:

– выявление новых разновидностей отказов и анализ их на отказобезопасность изделий и безопасность полетов в целом;

– выявление увеличения потока отказов и суммарных расходов на эксплуатацию ВС и, как следствие, снижение регулярности полетов и повышение затрат на техническое обслуживание и ремонт авиационной техники.

В соответствии с ГОСТ 56079—2014 [5] основными параметрами надежности являются:

- средняя наработка на отказ;
- средний налет на отказ;
- средний налет на отказ, повлекший невыполнение полетного задания;
- средняя наработка на отказ в полете;
- параметр потока отказов;
- интенсивность отказов;
- вероятность отказа определенного вида;

¹ В настоящее время – Авиарегистр России.

- средний налет на отказ и повреждение;
- средний налет на отказ и повреждение в полете.

Для оценки надежностных характеристик изделий АТ, относящихся к классу восстанавливаемых, используется параметр суммарного потока отказов $\omega_0(t)$, который характеризует смешанный поток отказов и повреждений изделий с разной наработкой, получающийся при эксплуатации с заменой отказавших изделий исправными, в том числе новыми, отремонтированными и восстановленными путем устранения отказов. Этот показатель непосредственно определяет поток заявок на выполнение работ ТОиР рассматриваемого изделия. Параметр суммарного потока отказов ω_0 используется наряду со средней наработкой на отказ и повреждение T_c . Последний постоянно задается в техническом задании (ТЗ) на разработку изделий [6–8].

Методика расчета показателей надежности

Анализ отказов проводится по уровню надежности функциональных систем (параметру суммарного потока отказов) на основании информации об отказах и неисправностях агрегатов и комплектующих изделий (АиКИ), поступающих из эксплуатирующих предприятий [9].

В качестве основного параметра, характеризующего состояние системы, принимается статистическая оценка среднего числа отказов и неисправностей ее элементов в течение налета парка за рассматриваемый период:

$$\omega_0 = N_{\Sigma} / T_{\Sigma}, \quad (1)$$

где N_{Σ} – суммарное число отказов и неисправностей всех АиКИ, входящих в определенную функциональную систему вертолета, которые были выявлены в полете и при всех видах ТО парка вертолетов эксплуатирующего предприятия за выбранный, в качестве контрольного, календарный период;

T_{Σ} – суммарный налет парка вертолетов за этот период.

На основании сведений об отказах и неисправностях АиКИ и налете вертолетов, полученных из эксплуатирующих предприятий, проводится обобщение опыта эксплуатации бортового оборудования и анализ полученных графиков и значений с предыдущими отчетами [10–12].

Оценка уровня надежности изделий проводится по параметру суммарного потока отказов [13–14]. В нижеприведенных таблицах и на графиках представлены значения распределения суммарного потока отказов за период 2014–2019 гг. и кривые изменения суммарного потока отказов $\omega_0(t)$ для агрегатов, имеющих большее число отказов в системе.

Значения параметра суммарного потока отказов изделий для различных систем приведены в табл. 1–5. Например, для системы 022 – в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметра суммарного потока отказов изделий для оборудования автоматического управления полетом (система 022)

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Агрегат управления	6С2.399.000	1,42E-04	1,45E-04	1,59E-04	1,54E-04	1,12E-04	1,52E-04
Датчик угловой скорости	ДУС1209(К,Е,Г)	1,43E-05	1,84E-05	1,29E-05	1,95E-05	1,54E-05	3,29E-05

Продолжение таблицы 1

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Пульт управления	6С2.390.007-3	1,08E-04	1,15E-04	1,37E-04	1,17E-04	1,12E-04	1,06E-04
Блок усилительный	БУНПП-В	3,87E-05	6,38E-05	3,43E-05	6,92E-05	3,97E-05	5,31E-05
Индикатор нулевой	ИН-4	1,29E-05	1,70E-05	8,59E-06	2,13E-05	3,97E-05	3,03E-05
Блок фильтров	БФ-34	8,60E-06	1,28E-05	2,58E-05	2,66E-05	2,64E-05	7,58E-06

Диаграммы распределения параметра суммарного потока отказов изделий для различных систем представлены на рис. 1–5. Например, для системы 022 – на рис. 1.

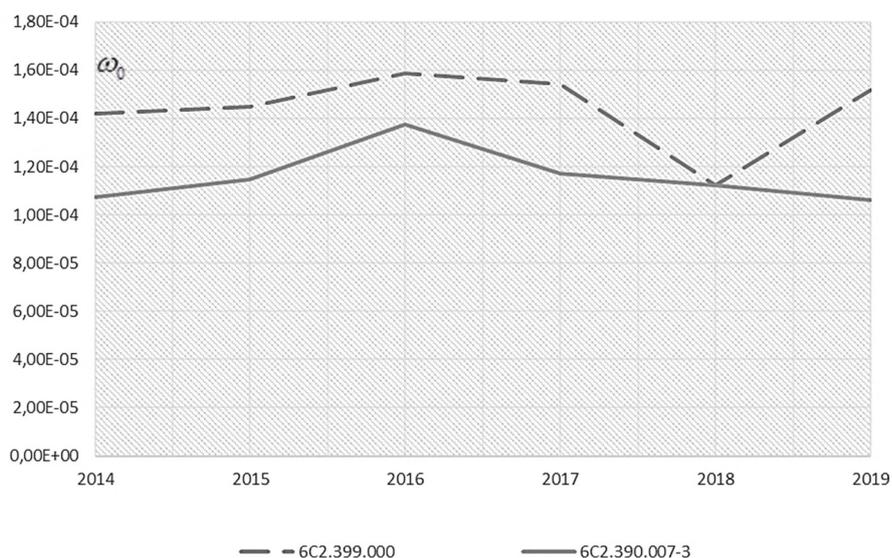


Рис. 1. Диаграмма распределения параметра суммарного потока отказов изделий для оборудования автоматического управления полетом (по годам)

На рис. 1 из графика видно, что суммарный поток отказов носит постоянный характер и не меняется со временем. Отказ агрегата управления (6С2.399.000) или пульта управления (6С2.390.007-3) не привел к возникновению сложной ситуации за указанный период времени.

Ниже в табл. 2 приведены значения параметра суммарного потока отказов изделий для системы связного оборудования (система 023) по годам.

Таблица 2

Значения параметра суммарного потока отказов изделий для связного оборудования (система 023)

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Аварийный радиомаяк	АРМ-406	5,59E-05	5,53E-05	9,45E-05	7,99E-05	9,91E-05	1,82E-04

Продолжение таблицы 2

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Абонентский аппарат СПУ-7	АА (СПУ-7)	3,01E-05	2,13E-05	1,72E-05	1,97E-04	1,98E-04	1,82E-04
Авиагарнитура	ГСШ-А-18	1,13E-04	1,49E-04	1,40E-04	9,76E-05	7,71E-05	6,32E-05
Блок (р/ст «Ядро»)	Б1-ЯР11-1А	8,95E-04	7,40E-04	7,90E-04	8,89E-04	7,93E-04	8,04E-04
Блок (р/ст «Ядро»)	Б5-ЯР1	9,46E-05	1,06E-04	1,16E-04	1,54E-04	1,19E-04	1,14E-04
Блок (р/ст «Ядро»)	Б4-ЯР1	2,15E-04	1,96E-04	1,93E-04	2,02E-04	3,11E-04	2,12E-04
Блок (р/ст «Ядро»)	Б7А1-ЯР1	3,87E-05	6,81E-05	5,15E-05	5,32E-05	5,29E-05	1,52E-05
Блок (р/ст «Ядро»)	Б10Б-ЯР1	4,30E-05	5,11E-05	4,29E-05	4,26E-05	1,32E-05	5,31E-05
Блок (р/ст «Ядро»)	Б18-ЯР1	7,31E-05	6,81E-05	5,58E-05	3,73E-05	6,61E-05	7,58E-05
Тросовая антенна	2.091.022	6,88E-05	7,66E-05	1,42E-04	9,05E-05	1,19E-04	6,07E-05
Приемопередатчик (р/ст «Баклан»)	БЛ. 1,2,3	7,31E-05	7,66E-05	7,73E-05	1,14E-04	1,32E-04	1,74E-04
ПДУ (р/ст «Баклан»)	БЛ.4	3,66E-05	1,49E-05	2,58E-05	2,66E-05	2,31E-05	3,79E-05
Амортизационная рама (р/ст «Баклан»)	БЛ.5	4,30E-06	4,26E-06	0,00E+00	1,06E-05	1,32E-05	7,58E-06
УНЧ (р/ст «Баклан»)	БЛ.6	4,30E-06	8,51E-06	6,44E-06	0,00E+00	3,30E-06	3,79E-06
Антенна	АШС-1	1,51E-05	3,40E-05	3,65E-05	3,46E-05	5,29E-05	5,31E-05
Речевой информатор	РИ-65	1,16E-04	1,49E-04	1,33E-04	2,34E-04	1,32E-04	1,29E-04
Магнитофон	МС-61	9,03E-04	7,06E-04	7,17E-04	6,98E-04	5,95E-04	5,76E-04

В таблице приведены значения ω_0 для оборудования с наибольшим количеством отказов в системе. На основании полученных значений построен график, представленный на рис. 2.

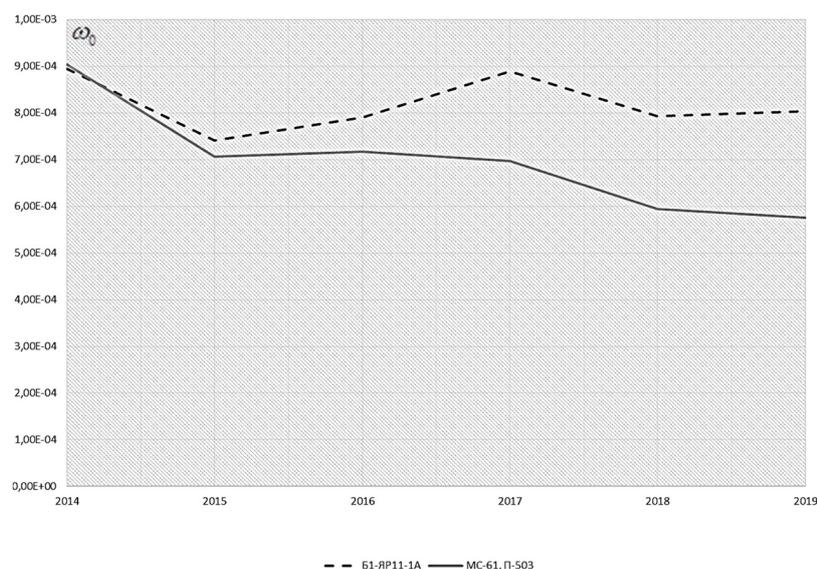


Рис. 2. Диаграмма распределения параметра суммарного потока отказов изделий для связного оборудования

На рисунке можно наблюдать отклонение графика для приемопередатчика радиостанции «Ядро». Данное отклонение не влияет на надежность и обеспечивает эксплуатацию изделий с вероятностью не хуже УУП.

Суммарный поток отказов для автономных приборов (система 031) рассчитывается для авиационных часов. Значения данного параметра приведены по годам в табл. 3. Соответствующий для этих значений график представлен на рис. 3.

Таблица 3

Значения параметра суммарного потока отказов изделий для автономных приборов (система 031)

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Часы	АЧС-1	3,40E-04	3,28E-04	2,32E-04	3,19E-04	2,64E-04	1,74E-04

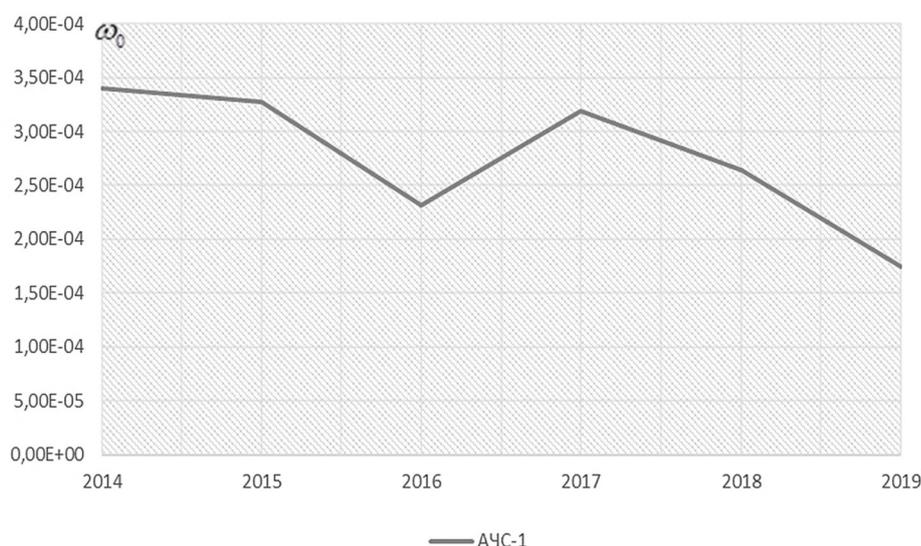


Рис. 3. Диаграмма распределения параметра суммарного потока отказов автономных приборов

По таблице и рисунку видно, что представленные значения описывают безопасные последствия эксплуатации авиационных часов и значения ω_0 остаются на одном уровне.

Значения параметра суммарного потока отказов пилотажно-навигационного оборудования (система 034) по годам приведены в табл. 4

Таблица 4

Значения параметра суммарного потока отказов изделий для пилотажно-навигационного оборудования (система 034)

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Авиагоризонт	АГБ-3К	6,91E-05	9,22E-05	1,04E-04	1,22E-04	1,42E-04	1,67E-04
Блок сигнализации предельных кренов	БСПК-1	6,91E-05	1,12E-04	8,23E-05	8,52E-05	5,29E-05	1,29E-04

Продолжение таблицы 4

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Выключатель коррекции	ВК-53	1,27E-04	1,33E-04	1,11E-04	1,49E-04	1,26E-04	7,58E-05
Гироагрегат	ГА-6	4,61E-05	8,15E-05	4,36E-05	5,86E-05	6,61E-05	2,27E-05
Автомат согласования	АС-1	4,99E-05	5,58E-05	2,91E-05	3,73E-05	3,30E-05	6,07E-05
Коррекционный механизм	КМ-8	2,69E-05	3,43E-05	3,39E-05	4,26E-05	3,30E-05	3,03E-05
Указатель	УГР-4К	1,15E-05	4,29E-06	7,26E-06	5,32E-06	1,32E-05	1,90E-05
Электрический указатель поворота	ЭУП-53К	8,83E-05	1,46E-04	1,45E-04	1,22E-04	1,32E-04	1,52E-04
Высотомер двухстрелочный	ВД-10К	2,88E-05	4,72E-05	5,08E-05	4,79E-05	3,63E-05	5,69E-05
Указатель скорости	УС-450К	5,76E-06	8,58E-06	1,21E-05	7,99E-06	1,65E-05	3,41E-05

Для оборудования с наибольшими расхождениями ω_0 по годам построены графики (рис. 4.)

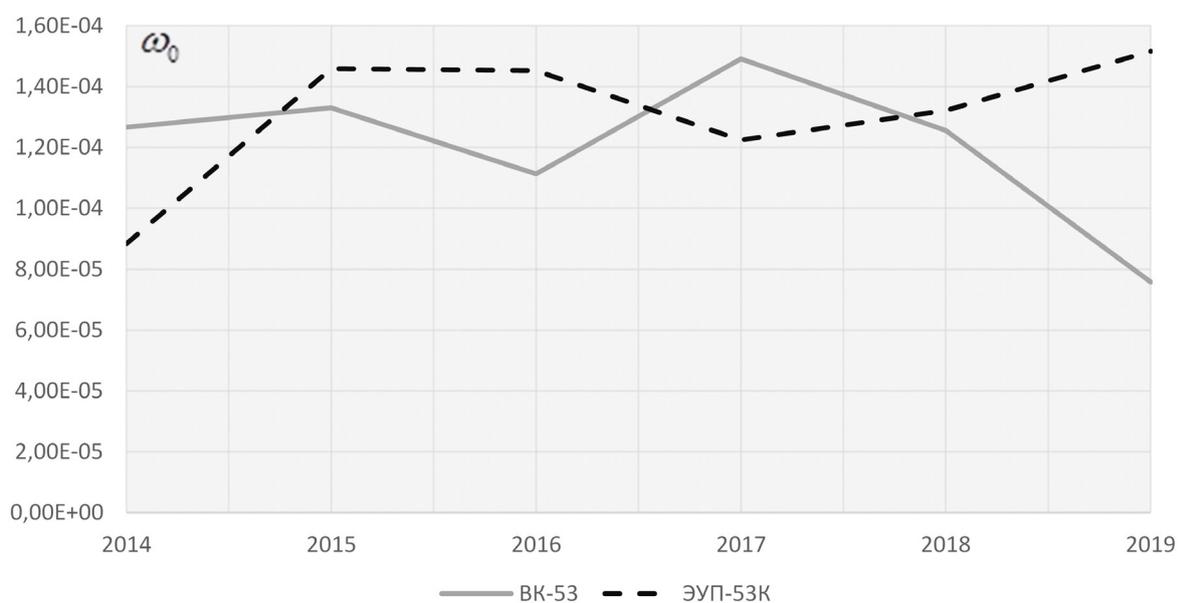


Рис. 4. Диаграмма распределения параметра суммарного потока отказов автономных приборов

По графикам на рисунке можно сделать вывод, что для выключателя коррекции ВК-53 максимальное значение ω_0 за период 2014–2019 гг. составляло $1,49 \cdot 10^{-3}$, для ЭУП-53К максимальное значение $1,52 \cdot 10^{-3}$, что характеризует отказное состояние как причину возникновения особой ситуации не хуже, чем усложнение условий полета (УУП). Однако нужно учитывать, что отказы данных приборов при одновременных отказах другого оборудования в полете могут приводить к сложной ситуации.

Значения параметра суммарного потока отказов радиоаппаратуры вертолетождения (система 110) по годам приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения параметра суммарного потока отказов радиоаппаратуры вертолетовождения (система 110)

Наименование оборудования	Шифр	Значение параметра суммарного потока по годам					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Радиовысотомер	А-037	4,48E-04	6,04E-04	6,90E-04	7,18E-04	5,91E-04	8,62E-04
Радиокомпас	АРК-9	6,14E-05	8,15E-05	9,68E-05	1,17E-04	9,25E-05	7,58E-05
Радиовысотомер	РВ-3	5,70E-04	6,89E-04	9,39E-04	5,70E-04	6,89E-04	9,39E-04

Диаграмма распределения указанного параметра по годам приведена на рис. 5.

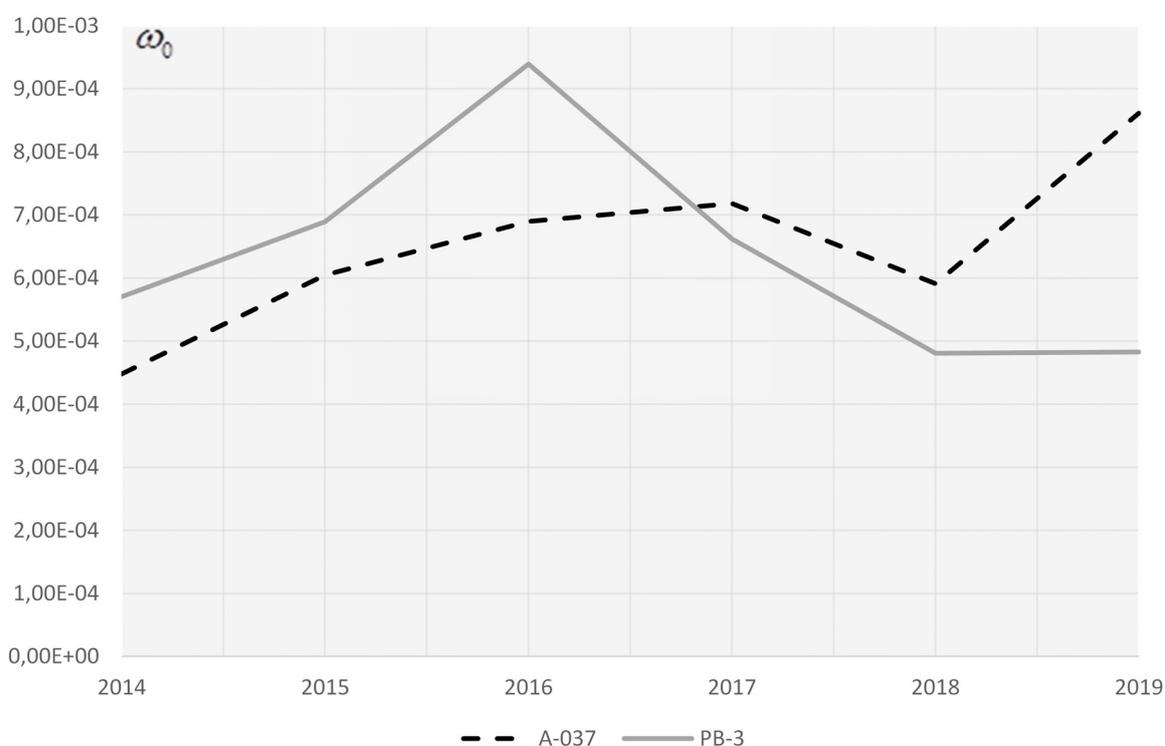


Рис. 5. Диаграмма распределения параметра суммарного потока отказов радиоаппаратуры вертолетовождения

Как видно из графиков, несмотря на скачок параметра ω_0 для радиовысотомера РВ-3 в 2016 году, параметр суммарного потока отказов $\omega_0(t)$ остается на заданном уровне и не превышает вероятность возникновения более 10^{-3} , что характеризует отказное состояние как причину возникновения особой ситуации не хуже, чем усложнение условий полета (УУП).

В случае снижения уровня надежности функциональной системы с какой-либо закономерностью или другими неслучайными признаками, необходимо проводить углубленный анализ с выявлением причин, повлекших это снижение. По итогам данных работ необходимо разработать комплекс мероприятия, которые должны привести к безопасной и эффективной эксплуатации вертолетов.

Выводы

Проведенный анализ опыта эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий бортового оборудования вертолетов типа Ми-8 показал, что анализ отказов функциональных систем бортового оборудования позволяет своевременно выявить отклонения от нормальной эксплуатации и принять меры при увеличении потока отказов. Тем самым избежать существенных экономических издержек из-за срывов и задержек полетов вследствие отказов изделий. С течением времени надежность изделий остается на заданном уровне и позволяет продолжать их эксплуатацию дальше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила АП-25, редакция 3 с поправками 1–6. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. ОАО «Авиаиздат», 2009. 274 с.
2. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 272 с.
3. Барзилович Е.Ю., Савенков М.В. Статистические методы оценки состояния авиационной техники. М.: Транспорт, 1987. 237 с.
4. Смирнов Н.Н., Андронов А.М., Владимиров Н.И., Лемин Ю.И. Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолетов. М.: Транспорт, 1974. 304 с.
5. ГОСТ 56079—2014. Изделия авиационной техники, безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Номенклатура показателей. НИИСУ, 2014. 14 с.
6. ОСТ 1 02776—2001. Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию. Основные положения. НИИСУ, 2001. 5 с.
7. ОСТ 54 30044—85. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Основные положения. МГА, 1986. 7с.
8. Воробьев В.Г., Зыль В.П., Кузнецов С.В. Основы теории технической эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования. М.: Транспорт, 1999. 335 с.
9. Бюллетень ТМ3473-БЭ-Г. Вертолеты Ми-8, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ и их модификации. По вопросу: Информирование эксплуатирующих и ремонтных авиапредприятий Российской Федерации о внедрении технической эксплуатации вертолетов типа Ми-8, Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ с агрегатами и комплектующими изделиями функциональных систем, эксплуатируемыми по техническому состоянию. Москва, 2016. 7с.
10. Отчет №50/07-Ми-8Т-2017/ВС «Обобщение опыта эксплуатации пилотажно-навигационного и радиоэлектронного оборудования вертолетов типа Ми-8 и его модификаций (Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС) за период 2014–2016 гг.». Филиал «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА. Москва, 2017. 29 с.
11. Отчет «Обобщение опыта эксплуатации пилотажно-навигационного и радиоэлектронного оборудования вертолетов типа Ми-8 и его модификаций (Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС) за период 2008–2011 гг.». ФГУП «ГосНИИ Аэронавигации». Москва, 2012. 49 с.
12. Отчет №50/06-Ми-8Т-2020/ВС «Обобщение опыта эксплуатации пилотажно-навигационного и радиоэлектронного оборудования вертолетов типа Ми-8 и его модификаций (Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС) за период 2017-2019 гг.». Филиал «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА. Москва, 2020. 33 с.
13. Методические указания ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля» – ФГУП ГосНИИ ГА – Филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА. Сопровождение технической эксплуатации вертолетов Ми-8, Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ с агрегатами и комплектующими изделиями функциональных систем, эксплуатируемыми по техническому состоянию. Москва, 2016. 9 с.
14. Методика ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля» – ФГУП ГосНИИ ГА – Филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА. Контроль уровня надежности функциональных систем вертолетов типа Ми-8, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ при технической эксплуатации по состоянию. Москва, 2016. 8 с.

REFERENCES

1. Aviation Regulations AR-25, revision 3 with amendments 1–6. Airworthiness standards for transport aircraft. Aviaizdat Publ., 2009, 274 p. (In Russian).
2. Smirnov N.N., Itskovich A.A. *Obsluzhivanie i remont aviatsionnoj tekhniki po sostoyaniyu* [Condition-based maintenance and repair of aircraft]. 2nd ed., rev. and enlarg. Moscow, Transport Publ., 1987, 272 p. (In Russian).
3. Barzilovich E.Yu., Savenkov M.V. *Statisticheskie metody otsenki sostoyaniya aviatsionnoj tekhniki* [Statistical methods for assessing the aircraft condition]. Moscow, Transport Publ., 1987, 237 p. (In Russian).
4. Smirnov N.N., Andronov A.M., Vladimirov N.I., Lemin Yu.I. *Ehspluatatsionnaya nadezhnost` i rezhimy tekhnicheskogo obsluzhivaniya samoletov* [Operational reliability and aircraft maintenance conditions]. Moscow, Transport Publ., 1974, 304 p. (In Russian).
5. GOST 56079—2014. Aviation equipment, flight safety, reliability, testability, maintainability and repairability. Set of indicators. NIISU Publ., 2014, 14 p. (In Russian).
6. OST 1 02776—2001. Condition-based maintenance of aircraft. Basic provisions. NIISU Publ., 2001, 5 p. (In Russian).
7. OST 54 30044—85. Aircraft maintenance and repair system. Basic provisions. MGA. 1986, 7 p. (In Russian).
8. Vorobyov V.G., Zyl V.P., Kuznetsov S.V. *Osnovy teorii tekhnicheskoy ehkspluatatsii pilotazhno-navigatsionnogo oborudovaniya* [Fundamentals of the theory of technical operation of flight and navigation equipment]. Moscow, Transport Publ., 1999, 335 p. (In Russian).
9. Bulletin TM3473-BE-G. Mi-8, Mi-8MTV-1, Mi-8AMT helicopters and their modifications. On: Informing operators and repairers of the Russian Federation on the introduction of maintenance procedures for Mi-8, Mi-8MTV-1 and Mi-8AMT helicopters with units and components of functional systems operated according to their technical condition. Moscow, 2016, 7 p. (In Russian).
10. Report No. 50/07-Mi-8T-2017/VS “Generalization of the experience in operating the flight and navigation equipment and avionics of Mi-8 helicopter and its modifications (Mi-8T, Mi-8P, Mi-8PS) for the period of 2014–2016” – Branch “Institute of Air Navigation” of FSUE GosNII GA. Moscow, 2017, 29 p. (In Russian).
11. Report “Generalization of the experience in operating of the flight and navigation equipment and avionics of Mi-8 helicopter and its modifications (Mi-8T, Mi-8P, Mi-8PS) for the period of 2008–2011”. FSUE GosNII Air Navigation. Moscow, 2012, 49 p. (In Russian).
12. Report No. 50/06-Mi-8T-2020/VS “Generalization of the experience in operating the flight and navigation equipment and avionics of Mi-8 helicopter and its modifications (Mi-8T, Mi-8P, Mi-8PS) for the period of 2017-2019” . Branch “Institute of Air Navigation” of FSUE GosNII GA. Moscow, 2020, 33 p. (In Russian).
13. Methodical instructions of Mil Moscow Helicopter Plant – FSUE GosNII GA – Branch “Institute of Air Navigation” of FSUE GosNII GA. Maintenance of Mi-8, Mi-8MTV-1 and Mi-8AMT helicopters with units and components of functional systems, operated according to their technical condition. Moscow, 2016 9 p. (In Russian).
14. Methodology of Mil Moscow Helicopter Plant – FSUE GosNII GA – Branch “Institute of Air Navigation” of FSUE GosNII GA. Monitoring the reliability level of functional systems in Mi-8, Mi-8MTV-1, Mi-8AMT helicopters during condition-based maintenance. Moscow, 2016, 8 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Семенов Николай Михайлович, начальник отдела филиала «НИИ Аэронавигации» – заместитель директора Сертификационного центра бортового оборудования, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации,

ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438;
e-mail: nsemenov@atminst.ru.

Рябинин Александр Львович, кандидат технических наук, начальник сектора филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438;
e-mail: ralecs@atminst.ru.

Старцев Василий Андреевич, ведущий инженер по летным испытаниям воздушных судов филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: vstartsev@atminst.ru.

Григорин-Рябов Виктор Владимирович, старший научный сотрудник филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438;
e-mail: vgrigorin@atminst.ru.

Селиванов Александр Юрьевич, научный сотрудник филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438;
e-mail: selivanov@atminst.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Semenov Nikolay M., Head of Department - Deputy Director of the Avionics Certification Center of the Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: nsemenov@atminst.ru.

Ryabinin Alexander L., Candidate of Technical Sciences, Head of Section, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: ralecs@atminst.ru.

Startsev Vasily A., Senior Flight-Testing Engineer, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation. Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: vstartsev@atminst.ru.

Grigorin-Ryabov Victor V., Senior Researcher, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: vgrigorin@atminst.ru.

Selivanov Alexander Yu., Research Associate, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: selivanov@atminst.ru.

УДК 629.735.05:621.396.933

СОСТОЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ НАВИГАЦИИ, ОСНОВАННОЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКАХ (PBN), В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. СТУЛОВ, Ю.Н. КИРИКОВ, К.В. КАРАСЕВ, А.Н. ТИТОВ, А.П. ИЛЬИН, О.И. АНДРИЕНКО

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

Аннотация. В статье рассматриваются состояние и основные проблемы внедрения Концепции навигации, основанной на характеристиках (PBN) ИКАО в гражданской авиации Российской Федерации. Приведены данные о выполнении комплекса работ по внедрению PBN и представлена нормативная документация, регламентирующая внедрение PBN в воздушном пространстве РФ; изложены типы требуемых навигационных характеристик для полетов воздушных судов по маршрутам зональной навигации и этапы внедрения PBN в России. Основное внимание уделяется оценке соответствия навигационных характеристик отечественных ВС, эксплуатируемых в российских авиакомпаниях, требованиям спецификаций PBN. Дан анализ состояния и разработки перспективной отечественной аппаратуры спутниковой навигации (АСН) ГЛОНАСС/GPS для оснащения ВС ГА с целью выполнения полетов по маршрутам зональной навигации в соответствии со спецификациями PBN ИКАО. Приведена отечественная нормативная база, регламентирующая разработку и сертификацию перспективных навигационных характеристик отечественных ВС АСН ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS и представлены типы ВС отечественного производства, оснащенные АСН ГЛОНАСС/GPS для полетов по трассам зональной навигации, а также точного захода на посадку по первой категории ИКАО. Показана эффективность внедрения Концепции PBN ИКАО в воздушном пространстве Российской Федерации.

Ключевые слова: гражданская авиация, зональная навигация (RNAV), требуемые навигационные характеристики, PBN, ИКАО, глобальные навигационные системы (ГНСС), ГЛОНАСС, GPS

STATUS OF PERFORMANCE BASED NAVIGATION (PBN) IMPLEMENTATION IN THE AIRSPACE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. STULOV, YU.N. KIRIKOV, K.V. KARASEV, A.N. TITOV, A.P. ILYIN, O.I. ANDRIENKO

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

Abstract. The paper is concerned with the status and main problems of implementation of the ICAO Performance-Based Navigation (PBN) Concept in Civil Aviation of the Russian Federation. The paper presents data on the work package regarding the PBN implementation in the airspace of the Russian Federation as well as the regulatory documents governing the PBN implementation, the types of required navigation performance for aircraft flights along the area navigation routes and the stages of the PBN implementation in Russia. The emphasis is on assessing the compliance of the navigation performance of national aircraft operated by Russian airlines with the requirements of the PBN specifications. The status and development of promising GLONASS/GPS national satellite navigation equipment are analyzed in order to assess the feasibility of Civil Aviation aircraft equipping for the purpose of performing aircraft flights along area navigation routes in accordance

with the ICAO PBN specifications. The efficiency of implementation of the ICAO PBN Concept in the Russian Federation airspace is demonstrated

Keywords: civil aviation, area navigation (RNAV), required navigation performance, PBN, ICAO, global navigation systems (GNSS), GLONASS, GPS

Введение

Глобальным Аэронавигационным планом ИКАО (6-я редакция ГАНП/GANP 2016–2031 гг.), принятым на 40-й сессии Ассамблеи ИКАО (октябрь 2019 года, Монреаль) и концепцией внедрения перспективных систем связи, навигации, наблюдения и организации воздушного движения CNS/ATM ИКАО предполагается скорейшее внедрение в мировой гражданской авиации навигации, основанной на характеристиках (PBN) [1].

Непрерывный рост авиации требует увеличения пропускной способности воздушного пространства (ВП), поэтому особую актуальность приобретает оптимальное использование имеющегося воздушного пространства. В результате применения методов зональной навигации (RNAV) повысилась эксплуатационная эффективность, что позволило разработать для применения в различных регионах мира и для всех этапов полета навигационные прикладные процессы. Характеристики навигационных прикладных процессов на конкретных маршрутах или в пределах конкретного воздушного пространства непосредственно взаимосвязаны с техническими данными бортовой системы RNAV. В некоторых случаях требовалось определить конкретные типы оборудования, которые можно было бы эксплуатировать в данном воздушном пространстве. Такой подход требовал разработки специфических требований к оборудованию RNAV. Для того, чтобы этого избежать, был разработан метод определения требований к оборудованию путем установления требований к его характеристикам. Данный метод был назван концепцией навигации, основанной на характеристиках (PBN).

В концепции PBN требования к характеристикам бортовой системы RNAV определяются в виде точности, целостности, эксплуатационной готовности, непрерывности и функциональных возможностей, необходимых для выполнения предполагаемых полетов в контексте концепции конкретного воздушного пространства. Концепция PBN является одним из нескольких инструментов реализации концепции воздушного пространства. Важнейшими элементами концепции воздушного пространства являются также связь, наблюдение ОВД и ОрВД.

Концепция PBN включает три базовых компонента, это:

- a) инфраструктура навигационных средств;
- b) навигационная спецификация;
- c) навигационный прикладной процесс.

При этом под инфраструктурой навигационных средств понимаются наземные или спутниковые навигационные средства. Наземные навигационные средства включают DME и VOR. Спутниковые навигационные средства включают элементы GNSS, определенные в Приложении 10 ИКАО «Авиационная электросвязь».

Навигационная спецификация используется государством в качестве основы при разработке материала для утверждения летной годности и эксплуатации. В навигационной спецификации детализируются требуемые от системы RNAV или RNP характеристики в виде точности, целостности и непрерывности, и определяется, какими навигационными функциональными возможностями система RNAV должна обладать, какие навигационные датчики должны быть интегрированы в систему RNAV или RNP, а также какие требования предъявлять к летному экипажу.

Навигационный прикладной процесс представляет собой применение навигационной спецификации и соответствующей инфраструктуры навигационных средств на маршрутах ОВД, в схемах захода на посадку по приборам и/или в определенном объеме воздушного пространства

в соответствии с концепцией воздушного пространства. Прикладной процесс RNP обеспечивается спецификацией RNP; прикладной процесс RNAV обеспечивается спецификацией RNAV.

Три компонента PBN не могут быть реализованы изолированно: между ними должна быть взаимосвязь. Каждый навигационный прикладной процесс должен быть основан на конкретной навигационной спецификации и соответствующей инфраструктуре навигационных средств, которые могут различаться в разных концепциях воздушного пространства.

Основные положения концепции PBN изложены в документах ИКАО: Руководствах [2], Инструктивном материале [4], Глобальном Аэронавигационном плане [1] и др.

В табл. 1 приводятся типы навигационных спецификаций в соответствии с документом ИКАО «Руководство по PBN» [2].

Таблица 1

Типы навигационных спецификаций

Навигационное техническое требование	ЭТАПЫ ПОЛЕТА							Вылет
	Полет по маршруту		При- бы- тие	Заход на посадку				
	Океаническое ВП/удаленные ВП	Кonti- ненталь- ное ВП		Началь- ный этап	Проме- жуточ- ный этап	Конеч- ный этап	Уход на второй круг	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1		1	1
RNP APCH				1	1	0,3	1	
RNP AR APCH				1-0,1	1-0,1	0,3-0,1	1-0,1	
RNP 0.3		0,3	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3

К настоящему времени в ГА РФ выполнен комплекс работ по внедрению PBN [6]:

- Введены в действие в верхнем воздушном пространстве выше эшелона полета FL265 161 маршруты с навигационными спецификациями PBN RNAV 5, RNAV 10 и RNP 4. Общая протяженность маршрутов PBN составила более 236 тыс. км. Из 161 маршрута введены в действие 142 маршрута с навигационными спецификациями PBN, открытых для международных полетов.

- К началу 2020 года разработаны схемы маневрирования в районе аэродрома (SID, STAR) по навигационной спецификации RNAV 1 PBN и захода на посадку по спецификации RNP APCH (раздел А) для 79 аэродромов.

- Продолжаются работы по совершенствованию структуры воздушного пространства Московской, Ростовской, Санкт-Петербургской и других зон ЕС ОрВД с применением спецификаций RNAV 5 и RNP 4 (GNSS) на маршрутах ОБД, RNAV 1 и RNP 1 (GNSS) на

маршрутах SID, STAR и при заходе на посадку по спецификациям RNP APCH (раздел А) и RNP AR APCH.

- Для реализации процедур зональной навигации PBN проведено оснащение 36 аэропортов наземными средствами DME, VOR/DME, и 1 аэропорта радиомаячными системами посадки, продолжаются работы по оснащению 25 аэропортов системами ILS 2700/DME/VL2700.

Следует отметить, что с третьего декабря 2020 года над Москвой и смежными зонами начала действовать новая структура ВП: при этом изменяются маршруты движения самолетов, границы зон и районов ОВД, границы запретных зон и т.д. Новая структура ВП МВЗ разработана Госкорпорацией по ОРВД совместно со специалистами Филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА, что позволит сократить в среднем для отечественных ВС время нахождения в МВЗ, протяженность маршрутов на 21 % и расход топлива примерно на 14 %. При этом предполагается ввод новых маршрутов ОВД в Московской и других зонах ОВД: в общей сложности 220 маршрутов зональной навигации, девяти международных воздушных трасс, 35 внутренних воздушных трасс [10].

Для ускорения внедрения PBN в воздушном пространстве РФ, распоряжением Минтранса от 6 июля 2013 года №ВО-44р создана Рабочая группа (РГ) с участием специалистов Филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА, которая приняла участие в подготовке следующих нормативных документов:

- Приказ Минтранса РФ от 05.04.2017г. №136 «Об утверждении типов требуемых навигационных характеристик для маршрутов зональной навигации».

- «План внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN) в воздушном пространстве РФ», одобренный на 2-м заседании РГ 05.11.2013г.

В соответствии с Приказом Минтранса РФ от 05.04.2017г. №136 и Планом внедрения PBN в ВП РФ для полетов ВС по маршрутам зональной навигации в воздушном пространстве Российской Федерации [7, 8]. предусматривается использование следующих типов требуемых навигационных характеристик (табл. 2).

Таблица 2

Типы требуемых навигационных характеристик для полетов ВС в ВП РФ

Требуемые навигационные характеристики	Этап полета	Требуемое навигационное оборудование	Примечание
RNAV 10	Океаническое ВП, удаленные р-ны континентального П	ИНС GNSS	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации над территорией Северного Ледовитого океана и в удаленных континентальных районах
RNP 4	Океаническое ВП, удаленные р-ны континентального ВП	GNSS с RAIM, FDE	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации с использованием данных GNSS с автономным контролем целостности навигационных данных (RAIM, FDE)
RNAV 5	Континентальное ВП, прибытие, вылет	GNSS DME/DME DME/DME/IRS VOR/DME INS(IRS)	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации в континентальных районах Европейской части РФ и маневрирования в районе аэродрома RNAV(STAR), RNAV(SID)
RNAV 2	Континентальное ВП, прибытие, вылет	GNSS DME/DME DME/DME/IRS	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации в континентальном ВП Европейской части РФ и районе аэродрома (STAR, SID)

Продолжение таблицы 2

Требуемые навигационные характеристики	Этап полета	Требуемое навигационное оборудование	Примечание
RNAV 1	Континентальное ВП, район аэродрома	GNSS DME/DME DME/DME/IRS	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации в континентальном ВП РФ, STAR, SID, а также по схемам захода на посадку по приборам на начальном и промежуточном этапах и уходе на второй круг
RNP 2	Континентальное ВП	GNSS с RAIM, FDE	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации с использованием данных GNSS (с RAIM, FDE)
RNP 1	Район аэродрома	GNSS с RAIM, FDE	Для выполнения полетов в районе аэродромов по схемам SID, STAR, а также схемам захода на посадку по приборам на начальном, промежуточном этапах и уходе на второй круг
RNP APCH RNP AR APCH	Район аэродрома	GNSS с RAIM, FDE	Для полетов ВС по схемам захода на посадку по приборам на начальном, промежуточном и конечном этапах и уходе на второй круг
RNP 0.3	Континентальное ВП, район аэродрома	GNSS с RAIM, FDE	Для полетов ВС по маршрутам зональной навигации, STAR, SID, а также по схемам захода на посадку по приборам на начальном и промежуточном этапах и уходе на второй круг. Применимы для полетов вертолетов

План внедрения PBN в воздушном пространстве РФ сформирован с учетом реализации Транспортной стратегии РФ до 2030 года, Федеральной целевой программы «Модернизация Единой системы организации воздушного движения РФ», а также с учетом перспективы развития структуры воздушного пространства ЕС ОрВД.

Стратегией внедрения PBN в РФ предусмотрены два этапа. На первом этапе выполняются работы по внедрению PBN на маршрутах ОВД в верхнем воздушном пространстве РФ, на втором этапе предполагается внедрение маршрутов зональной навигации в соответствии со спецификациями PBN во всем воздушном пространстве РФ.

Этапы внедрения зональной навигации на маршруте [6, 8]:

- этап 1 (2018 год) – воздушное пространство ВП выше FL 265;
- этап 2 (2022 год) – воздушное пространство ВП ниже FL 265.

Следует отметить, что мероприятия по внедрению PBN в РФ соответствуют стратегии ГАНП ИКАО и его внедрение в РФ приведет к повышению безопасности и эффективности полетов [1].

Анализ международных нормативных документов, содержащих требования к составу бортового навигационного оборудования ВС для обеспечения навигации, основанной на характеристиках в соответствии со спецификациями PBN, показывает, что наиболее эффективным средством, обеспечивающим выполнение требований навигационных спецификаций PBN является оборудование глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS): GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), GALILEO (ЕС) и BeiDou (Китай).

Приоритетное внедрение GNSS в мировой ГА предусмотрено 6-ой редакцией Глобального Аэронавигационного плана ИКАО (ГАНП/GANP 2016 – 2031гг.) и документом «Блочная модернизация Авиационной системы (ASBU)» ИКАО, а также Doc 9844 AN457 ИКАО «Руководство по GNSS», изд. второе – 2013 г.

В ГА России необходимость обязательного оснащения ВС ГА отечественного и зарубежного производства, находящихся в эксплуатации в российских авиакомпаниях, аппаратурой СНС ГЛОНАСС определена Приказом Минтранса РФ от 14.06.2019 г. № 183 «О внесении изменений в ФАП» №128 [9].

Оснащение ВС ГА современной и конкурентоспособной аппаратурой ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS должно осуществляться поэтапно, при этом отечественная АСН должна соответствовать перспективным международным и национальным навигационным требованиям (зональной навигации PBN на этапах полета по маршруту, в районе аэродрома, заходе на посадку и категорированной посадки по ГНСС) [8]. Предполагается, что ввод в эксплуатацию отечественной SBAS СДКМ позволит повысить характеристики ГНСС: точность, надежность, доступность, целостность и эксплуатационную готовность.

В РФ в рамках мероприятий ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на период 2012 – 2020 гг.» и Постановления Правительства РФ от 25.08.2008г. № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» отечественными предприятиями за последние 7 лет разработаны и сертифицированы восемь типов АСН, работающей по сигналам систем ГЛОНАСС/GPS, что соответствует концепции использования системы ГЛОНАСС в ГА РФ. Завершается сертификация Авиарегистром России еще двух типов АСН ГЛОНАСС/GPS/GALILEO [5]. Состояние разработки и сертификации отечественной АСН представлено в табл. 3.

Таблица 3

Состояние разработки и сертификации отечественной АСН ГНСС

№ п п	Наименование АСН	Шифр АСН	Разработчик	Наличие СГКИ/ состояние разработки
1	Бортовая многофункциональная система	БМС-индикатор с дифференциальным режимом (GBAS)	АО «Навигатор»	СГКИ
2	Бортовое оборудование спутниковой навигации	СН-4312 с дифференциальным режимом (GBAS)	ЗАО «КБ НАВИС»	СГКИ
3	Многофункциональный пульт управления/ навигационная система	МФПУ-1	ЗАО «Транзас»	СГКИ
4	Пульт – вычислитель навигационный	ПВН - 1	ООО «КБПА»	СГКИ
5	Пульт – вычислитель навигационный	ПВН -1 -03 с дифференциальным режимом (GBAS)	ООО «КБПА»	СГКИ
6	Блок навигации и посадки	ИРК – 2 - 21	Филиал АО «РПКБ»	КИ
7	Спутниковая система навигации и посадки	ССНП	Филиал АО «РПКБ»	КИ
8	Системы спутниковой посадки	ССП -2010(АПДД -02 с дифференциальным режимом (GBAS)	АО «Навигатор»	СГКИ

Примечания: СГКИ – Свидетельство о годности комплектующего изделия.
КИ – Квалификационные испытания.

Разработка и сертификация АСН ГЛОНАСС/GPS для гражданской авиации РФ проводятся с учетом нормативной базы, включающей требования международных и отечественных стандартов и нормативно-технических документов.

Основными из них являются:

- Федеральные авиационные правила;
- Квалификационные требования: КТ-34-01 «Бортовое оборудование спутниковой навигации» (ред.4), КТ-253 «Бортовое оборудование ГНСС/ЛККС» (ред. 2), КТ-229 «Бортовое оборудование ГНСС/SBAS» (ред. 1).

В связи с необходимостью выполнения требований об обязательном оснащении гражданских ВС зарубежного производства АСН ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS для полетов в воздушном пространстве РФ специальным комитетом SC-159 Радиотехнической комиссии по авионавигации (RTCA) с участием специалистов филиала «НИИ «Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА разработан международный промышленный стандарт на минимальные рабочие характеристики (MOPs) бортового авиационного оборудования GPS/ГЛОНАСС (RTCA DO-368). Этот международный стандарт, утвержденный 17.07.2007г., позволяет предприятиям промышленности разрабатывать аппаратуру GPS/ГЛОНАСС для оснащения ВС мировой гражданской авиации с целью выполнения перспективных аэронавигационных требований: PBN ИКАО.

На ВС отечественного производства, оснащенных аналоговым пилотажно-навигационным оборудованием (ПНО), наибольшее применение в качестве автономного средства навигации нашла АСН ГЛОНАСС/GPS: «БМС-Индикатор» производства ЗАО «ВНИИРА - Навигатор»; СН-4312 производства ЗАО «КБ НАВИС»; TSS производства ЗАО «Транзас - Авиация». Эта аппаратура сертифицирована на соответствие требованиям КТ-34-01 для применения на ВС на этапах полета по маршруту, в том числе по трассам зональной навигации PBN, в районе аэродрома RNAV (SID, STAR) и неточного захода на посадку [5]. Для обеспечения посадки ВС по I-ой категории ИКАО отечественной промышленностью сертифицированы на соответствие КТ-253 как оборудование ГЛОНАСС/GPS/GBAS четыре типа АСН: АПДД – 02, БМС – индикатор, СН – 4312, ПВН – 1 – 03.

На современных отечественных ВС типа Ил-96-300, Ил-96-400, Ту-204, Ту-214 с цифровым ПНО установлены АСН ГЛОНАСС/GPS: БПСН – 2, БПСН – 2 – 01 производства ЗАО «КБ НАВИС», а на самолете Ту-214 ИРК-2-21, разработанная Филиалом АО «РП КБ». В составе ПНО самолетов АСН используется в качестве датчика навигационных данных для реализации режима самолетовождения по сигналам ГНСС при выполнении полетов по маршрутам в соответствии со спецификациями PBN ИКАО. При модернизации современных самолетов типа Ил-96-300/400М, Ил-114-300 в состав перспективного ПНО предусматривается установка перспективных АСН.

В настоящее время отечественной промышленностью ведутся разработки и испытания перспективных самолетов SSJ-NEW и MC-21, в состав авионики которых входит АСН ССНП. Комплекс авионики этих самолетов предназначен для обеспечения полетов ВС в воздушном пространстве и по воздушным трассам, где действуют требования PBN: RNP 4, RNP 2, RNP 1, RNAV 10 (RNP 10), RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1, RNP APCH, RNP AR APCH (до RNP 0.1). Для обеспечения выполнения этих требований PBN в состав авионики перспективных самолетов входят:

– подсистема навигации и самолетовождения, включающая следующее оборудование: бортовую вычислительную систему (БВС), систему спутниковой навигации и посадки (ССНП), систему радионавигации (ММСР) с приемниками VOR/ILS, АРК, МКР, радиодальномер и радиовысотомер;

– подсистема определения пространственного положения, в состав которой входят инерциальные навигационные системы.

В целях реализации концепции PBN ИКАО в ВП РФ и выполнения действующих НТД по допуску типа ВС к полетам по трассам зональной навигации в соответствии со спецификациями PBN экспертами СЦБО АН проведен комплекс работ по допуску отечественных ВС к полетам

в соответствии со спецификациями PBN. Состояние работ по допуску типа ВС отечественного производства к полетам по маршрутам в условиях PBN представлено в табл. 4.

Таблица 4

Состояние работ по допуску типа ВС отечественного производства к полетам
по навигационным спецификациям PBN

№№ п/п	Навигационная спецификация	Типы ВС
1	RNAV 10	Ил-96-300, Ту-214 (сертификация)
2.	RNAV 5	Ил-96-300, Ил-96-400, Ил-76, Ту-204, Ту-214, RRJ-95, Ан-124, Ан-148, Як-42
3.	RNAV 2	Ил-96-300 (сертификация)
4.	RNAV 1	Ил-96-300, Ил-96-400, Ил-76ТД, Ту-204, Ту-214, RRJ-95, Ан-148
5.	RNP 4	Ил-96-300 (сертификация)
6.	RNP 2	
7.	RNP 1	
8.	RNP APCH (Раздел А)	Ту-214 (сертификация)
9.	RNP AR APCH	
10.	RNP 0.3	

Выводы

Проведенный в настоящей статье анализ состояния внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN), в воздушном пространстве РФ позволяет сделать следующие выводы:

– навигационные характеристики парка самолетов отечественного производства, в основном обеспечивают выполнение требований навигационных спецификаций PBN для полетов ВС по маршрутам зональной навигации RNAV 5, RNAV 10, RNAV 1, RNP 1;

– для обеспечения требований навигационных спецификаций: RNP 4, RNP 2, RNP 1, RNP 0.3, RNP APCH, RNP AR APCH необходима модернизация бортовой авионики, включая оснащение ВС перспективной АСН ГЛОНАСС/GPS/GALILEO с использованием наземных (GBAS) и спутниковых (SBAS) функциональных дополнений;

– необходимо ускорить выполнение работ по совершенствованию отечественной нормативно – правовой базы по оснащению и сертификации ВС к полетам по маршрутам в соответствии со спецификациями PBN ИКАО;

– навигационные характеристики самолетного парка должны учитываться при разработке и совершенствовании структуры воздушного пространства ЕС ОрВД с учетом внедрения маршрутов PBN в воздушном пространстве РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИКАО Doc.9750-AN/963. Глобальный аэронавигационный план на 2016 -2031 гг. Изд. 6-е. 2019. 139 с.

2. ИКАО Doc.9613-AN/937. Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN). Изд.4-е. ИКАО, 2013. 65 с.

3. ИКАО Doc.9997 AN498. Руководство по эксплуатационному утверждению навигации, основанной на характеристиках (PBN). Изд. 2-е. ИКАО, 2015. 147 с.

4. Инструктивный материал ИКАО по утверждению PBN в Европейском регионе (EUR Doc.029). 2013. 66 с.
5. Стулов А.В., Кириков Ю.Н., Карасёв К.В. Проблемы внедрения и использования спутниковых навигационных технологий в гражданской авиации России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 158–165.
6. Долгосрочная программа развития ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» на 2020 – 2030 годы. М., 2020. 190 с.
7. Об утверждении типов требуемых навигационных характеристик для маршрутов зональной навигации: Приказ Минтранса РФ от 05.04.2017г. № 136. 1 с.
8. План внедрения навигации, основанной на характеристиках (PBN) в воздушном пространстве Российской Федерации. Москва, 2013. 25 с.
9. О внесении изменений в ФАП №128 «Подготовка и выполнение полетов в ГА РФ»: Приказ Минтранса РФ от 14.06.2019 № 183. 2 с.
10. Новая структура воздушного пространства над Москвой. URL: <https://tvzvezda.ru/news/2020123120-aWY7T.html/player>. 2 с.

REFERENCES

1. ICAO Doc. 9750-AN/963. 2016-2031 Global Air Navigation Plan. 6th edition, 2019, 139 p.
2. ICAO Doc. 9613-AN/937. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. 4th edition, 2013, 65 p.
3. ICAO Doc. 9997 AN498. Performance-based Navigation (PBN) Operational Approval Manual. 2nd edition, 2015, 147 p.
4. ICAO EUR PBN Approvals guidance material (EUR Doc. 029), 2013, 66 p.
5. Stulov A.V., Kirikov Yu.N., Karasev K.V. Challenges of implementation and use of satellite navigation technologies in civil aviation in Russia. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 30, pp. 158–165. (In Russian).
6. FSUE “State ATM Corporation” Long-term development program for 2020–2030. Moscow, 2020, 190 p. (In Russian).
7. On the approval of the required navigation characteristics types for area navigation routes. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 05.04.2017 No. 136. 1 p. (In Russian).
8. Plan for the performance-based navigation (PBN) implementation in the airspace of the Russian Federation. Moscow, 2013, 25 p. (In Russian).
9. On amendments to FAR No. 128 “Preparation and performance of flights in the Civil Aviation of the Russian Federation”. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 14.06.2019, No. 183, 2 p. (In Russian).
10. New structure of the airspace over Moscow: Available at: <https://tvzvezda.ru/news/2020123120-aWY7T.html/player>. 2 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Стулов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, главный научный сотрудник филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: stulov@atminst.ru.

Кириков Юрий Николаевич, начальник отдела филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: ykirikov@atminst.ru.

Карасев Константин Валерьевич, исполняющий обязанности заместителя директора филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА - директор СЦБО НИИ АН, ФГУП

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

Титов Анатолий Николаевич, заместитель начальника отдела филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: atitov@atminst.ru.

Ильин Александр Петрович, начальник сектора филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: alexilin@atminst.ru.

Андриенко Ольга Ивановна, научный сотрудник филиала «НИИ Аэронавигации», ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: andrienko@atminst.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Stulov Aleksander V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: stulov@atminst.ru.

Kirikov Yuriy N., Head of Department of the Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: ykirikov@atminst.ru.

Karasev Konstantin V., Acting Deputy Director of the Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, Director of the Avionics Certification Center of the Branch, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: kkarasev@atminst.ru.

Titov Anatoly N., Deputy Head of Department, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: atitov@atminst.ru.

Ilyin Alexander P., Head of Sector, Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: alexilin@atminst.ru.

Andrienko Olga I., Research Associate of the Branch “Research and Development Institute of Air Navigation”, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: andrienko@atminst.ru.

УДК 004:656.71

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПОЛОС ТРЕУГОЛЬНИКОВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ АЭРОДРОМОВ В БОРТОВОМ ФОРМАТЕ

Д.В. КОВТУШЕНКО¹, Д.С. ДЕМИН², А.В. НИКИТИН²

¹*Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации,
Москва, Российская Федерация*

²*Национальный институт развития «Новые Городские Проекты», Государственная корпорация
развития ВЭБ.РФ, Москва, Российская Федерация*

Аннотация. Данная работа является прямым продолжением исследования задачи выполнения триангуляции геометрических полигонов, возникающей при преобразовании базы данных аэродромных карт из формата обмена AMXM в бортовой формат ARINC 816. Следующим этапом после выполнения триангуляции полигона является формирование полос треугольников. В работе рассматривается задача формирования полос треугольников и подходы к ее оптимальному решению с точки зрения минимизации памяти, требуемой для хранения результирующих структур данных. В работе описаны особенности представления полос треугольников. Учтена специфика триангуляции, получаемой в результате работы алгоритма, приведенного в предыдущей работе. Рассмотрены проблемы выбора порядка вершин для формирования корректной полосы. Описан подход для выявления и устранения некорректного порядка обхода вершин. Представлен алгоритм построения последовательности переходов. Описан алгоритм формирования полосы треугольников на базе последовательности переходов. В работе представлены структуры данных и алгоритмы для решения задачи стрипификации данной триангуляции двумерного полигона. Полученные структуры данных позволяют формировать полосы треугольников, а также выполнять определенные преобразования исходной триангуляции (переброску ребер) для снижения количества вырожденных треугольников, описание которых требует дополнительных затрат памяти.

Ключевые слова: полигон, триангуляция, AMXM, ARINC 816, полосы треугольников, вычислительная сложность, бортовое оборудование

AN APPROACH TO FORMATION OF TRIANGLE STRIPS TO REPRESENT THE ELEMENTS OF THE AERONAUTICAL DATABASE OF AERODROMES IN THE FLIGHT FORMAT

D.V. KOVTUSHENKO¹, D.S. DEMIN², A.V. NIKITIN²

¹*The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation*

²*National Development Institute "New City Projects", Major Financial Development Institution VEB.RF,
Moscow, Russian Federation*

Abstract. This work is a direct continuation of the study of the problem of performing triangulation of geometric polygons that occurs when converting the airfield map database from the AMXM exchange format to the on-board ARINC 816 format. The next stage after performing polygon triangulation is the formation of triangle strips. The paper considers the problem of forming triangle strips and approaches to its optimal solution in terms of minimizing the memory required to store the resulting data structures. The paper describes the features of the representation of triangle strips. The specifics of the triangulation obtained as a result of the algorithm given in the previous work are considered. The problems of choosing the order of vertices for forming a correct band are considered. An approach for identifying and eliminating incorrect vertex traversal order is described. An algorithm for

constructing a sequence of transitions is presented. An algorithm for forming a triangle strip based on a sequence of transitions is described. The paper presents data structures and algorithms for solving the problem of stripification of a given triangulation of a two-dimensional polygon. The resulting data structures allow you to form triangle strips, as well as perform certain transformations of the original triangulation (edge transfer) to reduce the number of degenerate triangles, the description of which requires additional memory costs.

Keywords: polygon, triangulation, algorithm, AMXM, ARINC 816, triangle strips, computational complexity, avionics

Введение

В предыдущей работе авторов [1] был рассмотрен общий подход к триангуляции для преобразования данных о площадных объектах летного поля аэродрома из формата обмена AMXM в бортовой формат ARINC 816 [2, 3]. Был предложен алгоритм для триангуляции невыпуклых полигонов с произвольным числом пробелов. Также были обозначены возможные проявления ошибок во входных данных. Эти данные могут быть использованы, например, для руления по аэродрому в условиях плохой видимости или для автоматизации процедуры руления по аэродрому, что непосредственно связано с авиационной безопасностью [4, 5].

В данной статье рассматривается задача формирования полос треугольников и подходы к ее решению. Предлагается алгоритм формирования полос треугольников (алгоритм стрипификации [6]). Рассматривается сущность проблемы порядка следования вершин при формировании полосы треугольников и возможные подходы к ее решению.

Предлагается особая структура данных (последовательность переходов) для выявления и возможного устранения необходимости использования вырожденных треугольников для достижения корректного порядка следования вершин.

Особенности представления полос треугольников

При представлении треугольников в виде полос оптимальным является случай, при котором все треугольники удается описать минимальным числом полос, в идеале – единственной.

В качестве альтернативы полосам треугольников могут применяться также так называемые «веера» треугольников. Суть понятия «веера» приведена на рис. 1.

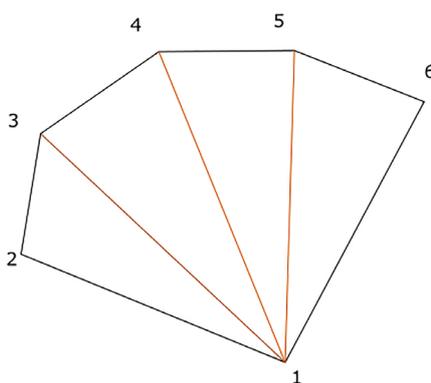


Рис. 1. Представление треугольников в виде веера

При таком подходе первая точка является общей для всех треугольников, а любая пара последовательных точек, начиная со второй, описывает треугольник в совокупности с первой точкой. В данном примере можно построить веер «1 2 3 4 5 6». В нем, согласно приведенным

правилам, мы обнаруживаем треугольники из вершин «1 2 3», «1 3 4», «1 4 5», «1 5 6», что полностью согласуется с рисунком.

Необходимо учесть, что формат ARINC 816 не поддерживает применение вееров треугольников, в нем допускается только стрипификация.

При формировании полос треугольников удобно сформировать граф смежности треугольников для полученной триангуляции. Далее на его основе можно сформировать остовное дерево [7].

Для решения задачи формирования полос треугольников (далее будем называть ее задачей стрипификации) необходимо найти в полученном графе смежности цепочки покрытия вершин максимальной длины, при этом для выполнения стрипификации треугольники не только должны иметь общие стороны – важен также и порядок обхода вершин. Рассмотрим пример на рис. 2.

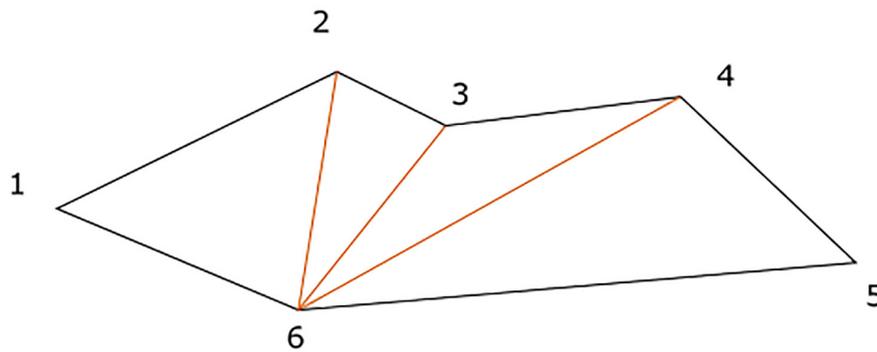


Рис. 2. Значимость порядка обхода вершин

Если рассмотреть последовательность индексов вершин «1 2 6 3 4 5», то последний треугольник, составленный из вершин «3 4 5», не будет корректным, следовательно, возникает проблема в представлении полигона в виде одной полосы.

На этом же примере можно наглядно продемонстрировать, что возможность представить заданный полигон в виде минимального числа полос зависит также и от полученной триангуляции. Если ребро «6 4» удалить и добавить ребро «3 5», то полученную триангуляцию будет возможно представить единственной полосой «1 2 6 3 5 4».

Продемонстрированную операцию замены ребра иногда называют «переброской ребер». Ее можно выполнять для данного четырехугольника, составленного из двух треугольников, полученных в результате триангуляции. Однако «переброску ребер» допустимо выполнять только для выпуклых четырехугольников.

Имеется еще два метода решения проблемы порядка следования вершин [6]. Первый метод – применение специальных фиктивных вершин-команд «swar» в списке индексов вершин. Смысл такой команды в том, что она меняет порядок двух предыдущих вершин в полосе. Например, для триангуляции на рис. 2 можно составить следующую полосу: «1 2 6 3 SW 4 5». Здесь последовательность «6 3 SW 4 5» фактически будет преобразована в «3 6 4 5».

Недостатком данного метода является то, что система (программная или аппаратная), которая будет анализировать поток вершин в полосах, должна поддерживать рассмотренные «фиктивные вершины» swar. Для оборудования, работающего с данными в формате ARINC 816, это неприменимо. Вторым недостатком является то, что каждая такая команда фактически увеличивает на 1 число вершин в полосе. В результате сделанное ранее утверждение о том, что минимизация занимаемой памяти эквивалентна минимизации числа полос, перестает быть верным. Каждая дополнительная полоса добавляет две «лишние» вершины – первые две вершины, необходимые для задания начального треугольника. Таким образом, если есть выбор

представить триангуляцию в виде единой полосы с двумя командами swar или же представить триангуляцию двумя полосами без команд swar, то с точки зрения потребляемой памяти оба варианта эквивалентны. Если же необходимое количество команд swar в полосе превышает два, то выгоднее использовать две полосы. Обратим внимание на то, что переброска ребра лишена данных недостатков.

Альтернативным вариантом является применение «вырожденных» треугольников. Вновь рассмотрим триангуляцию на рис. 2. Мы можем сформировать полосу «1 2 6 3 6 4 5». Здесь следует обратить внимание на треугольник «6 3 6» – он является вырожденным в отрезок. Фактически, за счет применения такого треугольника удастся поменять порядок следования двух последовательных вершин – то есть, добиться результата, аналогичного применению команды swar, но без использования специальных индексов-команд.

В данном случае от клиентской системы, обрабатывающей предоставленные полосы треугольников, более не требуется реализации специального функционала обработки особых команд. Спецификация формата ARINC 816 также не запрещает использовать данный технический прием. Однако в некоторых реализациях графических визуализаторов наличие очень тонких или, тем более, вырожденных треугольников может привести к возникновению так называемых графических «артефактов» – визуальных сбоев изображения [8]. Таким образом, допустимость использования такого подхода следует уточнять и отдельно тестировать для конкретных систем визуализации. Также следует учесть, что, как и в предыдущем методе, добавление вырожденного треугольника приводит к увеличению числа индексов вершин в полосе на единицу.

Построение полос треугольников

В предыдущих работах задача построения полос треугольников не рассматривалась, было предложено только временное решение: каждый полученный в результате триангуляции треугольник представлять как отдельную полосу, состоящую из одного треугольника [1]. С формальной точки зрения данный подход корректен, однако в таком случае полностью теряются преимущества экономии памяти, которыми и было обусловлено добавление поддержки полос треугольников в формат ARINC 816 его разработчиками.

С точки зрения наличия общих сторон у треугольников удобно рассматривать не сами треугольники, а граф смежности треугольников для данной триангуляции. При таком подходе выделение полосы треугольников сводится к выбору пути в графе смежности, а полное разбиение триангуляции на полосы – к выбору набора путей в графе смежности, покрывающих все вершины (каждая вершина должна встречаться не более одного раза).

Например, рассмотрим полигон на рис. 3. На данном рисунке показаны ребра и вершины соответствующего графа смежности. При таком представлении сразу наглядно видно, что данный полигон представить единственной полосой не удастся.

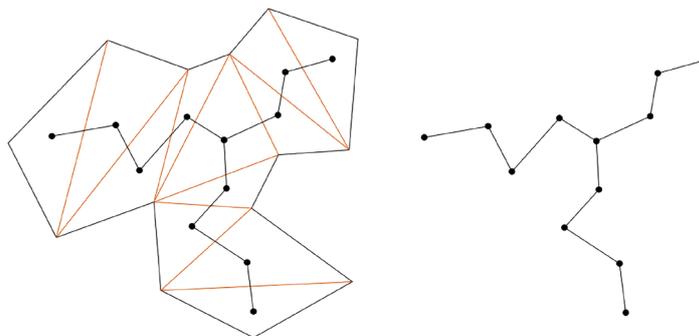


Рис. 3. Пример графа смежности

Однако при таком представлении возникает проблема. Ранее было указано, что имеет значение порядок обхода вершин – этим порядком обуславливается необходимость добавления вырожденных треугольников или же использования нескольких полос вместо одной. Но при использовании только графа смежности утрачивается необходимая для этого информация.

Проанализируем, чем обусловлена необходимость добавления вырожденного треугольника (изменения порядка вершин).

Рассмотрим различные варианты триангуляции полигона на рис. 4. Числами на данном рисунке пронумерован порядок переходов между вершинами полигона. В первом случае обход вершин при составлении полосы происходит «зигзагом», и необходимости применения вырожденных треугольников не возникает.

Во втором случае ситуация иная. В первом варианте, после прохода по ребрам 1 и 2, мы покидаем контур первого треугольника, при проходе по ребру 3 мы заканчиваем обход второго треугольника. Если взять ребро графа смежности, обозначающее смежность данных треугольников, то можно заметить, что ребро 2 пересекает его справа налево. Когда мы переходим к следующему треугольнику, то при переходе от второго треугольника к третьему ребро 3 пересечет данный переход слева направо. Обозначим первый тип перехода как «Л» (левый), а второй – как «П» (правый).

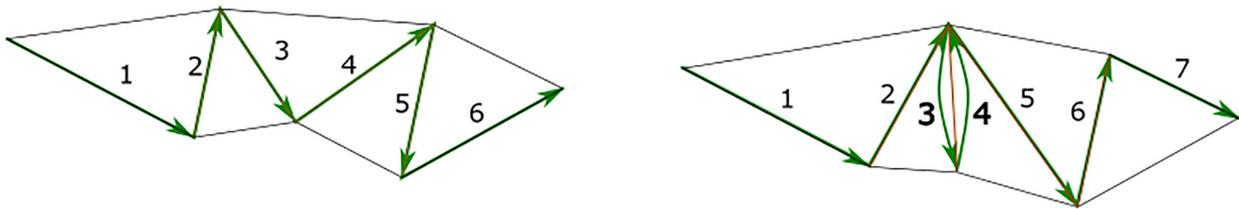


Рис. 4. Необходимость использования вырожденного треугольника для разных триангуляций одного полигона

Корректная полоса может быть сформирована только когда типы переходов чередуются: «ЛПЛПЛ», «ППП».

Однако для обоих вариантов триангуляции из данного примера граф смежности треугольников будет представлять линейную цепочку с пятью узлами – данные графы изоморфны. Следовательно, необходимо сохранять в структуре графа дополнительную информацию о типах перехода между узлами.

Для одного треугольника построение полосы тривиально – он уже является полосой.

Для двух смежных треугольников всегда есть два корректных варианта построения полосы.

Для трех треугольников всегда найдется хотя бы один корректный вариант.

Проблемы могут возникнуть, начиная с четырех треугольников.

Это происходит из-за того, что для первого треугольника мы можем выбирать, какой тип перехода осуществить – Л или П. В результате для двух треугольников у нас всегда есть варианты «ЛП» и «ПЛ», а для трех треугольников будет являться корректным один из вариантов «ЛПЛ» или «ППП».

С точки зрения графа смежности удобно рассматривать тип перехода относительно расположения самих треугольников. Когда происходит переход от треугольника А к новому треугольнику В, остается два варианта, к какому треугольнику переходить в дальнейшем от треугольника В.

Следовательно, если в графе смежности вершины представляют треугольники, а ребра – переходы между треугольниками, то можно сохранить в ребрах ссылки на левое и правое ребра

(переходы) относительно текущего ребра. За счет этого, при выборе пути в графе смежности будет возможность воссоздать последовательность переходов.

Уточним применяемые здесь понятия. Под «типом перехода» следует понимать значение «Л» или «П». Под «переходом» следует понимать структуру данных, содержащую тип перехода, ссылки на исходный и итоговый узлы, а также на левую и правую вершины полигона, образующие общий для смежных треугольников отрезок.

Приведем алгоритм построения последовательности переходов.

Алгоритм построения последовательности переходов

Исходные данные: путь **P** на графе смежности.

Результирующие данные: последовательность переходов **L**.

Шаг 1. Произвольно выбираем один из двух вариантов начального перехода (Л или П), и добавляем его в **L**.

Шаг 2. Устанавливаем в качестве текущего узла **p** первый элемент из **P**.

Шаг 3. Если еще остались узлы в **P**, перейти к шагу 4. Иначе перейти к шагу 7.

Шаг 4. Определить значение типа перехода для следующего узла относительно текущего перехода, и записать переход в **L**.

Шаг 5. Переместить **p** на следующий элемент **P**.

Шаг 6. Перейти к шагу 3.

Шаг 7. Осуществить переход, по типу противоположный типу **p**.

Шаг 8. ОСТАНОВ.

Анализируя полученную последовательность, возможно определить:

- 1) оптимальный начальный переход;
 - 2) необходимость вставки вырожденного треугольника;
 - 3) возможность выполнения переброски некоторых ребер для снижения количества необходимых вырожденных треугольников;
 - 4) тип последнего перехода можно выбирать произвольно.
- Разберем каждый из этих пунктов.

В первом пункте говорится о том, что выбор начального перехода осуществлялся произвольно. Для примера вновь обратимся к полигону на рис. 4. В случае обхода, приведенного на рисунке, получаем последовательность типов «ЛПЛПЛП». Если же начать с противоположного ребра, то получаем последовательность «ПЛЛПЛП». Легко заметить два подряд идущих левых перехода на 2-й и 3-ей позициях. Произвольность выбора первого ребра позволяет практически «бесплатно» исправить данную ошибку, поменяв местами первые два типа: «ЛПЛПЛП».

Во втором пункте говорится о том, что необходимость вставки вырожденного треугольника также определяется наличием подряд идущих переходов одинакового типа. Рассмотрим пример на рис. 5. Имеется последовательность переходов ПЛПЛЛ. Добавить вырожденный треугольник (поменять местами две текущие вершины) необходимо перед тем моментом, когда осуществляется переход, совпадающий по типу с предыдущим переходом.

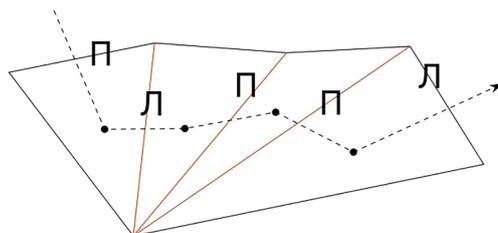


Рис. 5. Последовательность переходов с необходимостью добавления вырожденного треугольника

Третий пункт напрямую связан со вторым, а также с обсуждавшимся ранее приемом переброски ребер. Вновь обратимся к рис. 5. Если выполнить переброску третьего внутреннего ребра, то это будет эквивалентно замене ПЛППЛ на ПЛПЛЛ. Также здесь целесообразно применить правило, приведенное в четвертом пункте: тип последнего перехода может выбираться произвольно. Поэтому, выполнив инвертирование типа последнего перехода, получаем итоговую последовательность ПЛПЛП.

Выполнение переброски ребер содержит ряд особенностей, которые стоит пояснить отдельно. Во-первых, как уже упоминалось, не для любой пары смежных треугольников переброска возможна – если они образуют невыпуклый четырехугольник, то осуществить ее корректно не удастся. Во-вторых, если образуемый четырехугольник является выпуклым и переброску осуществить возможно, то ее выполнение приводит к изменению графа смежности. Необходимо отметить, что поскольку предполагается выполнение переброски после выбора пути в графе, и она затрагивает два смежных узла данного графа, то сам путь от такой операции не изменится (рис. 6).

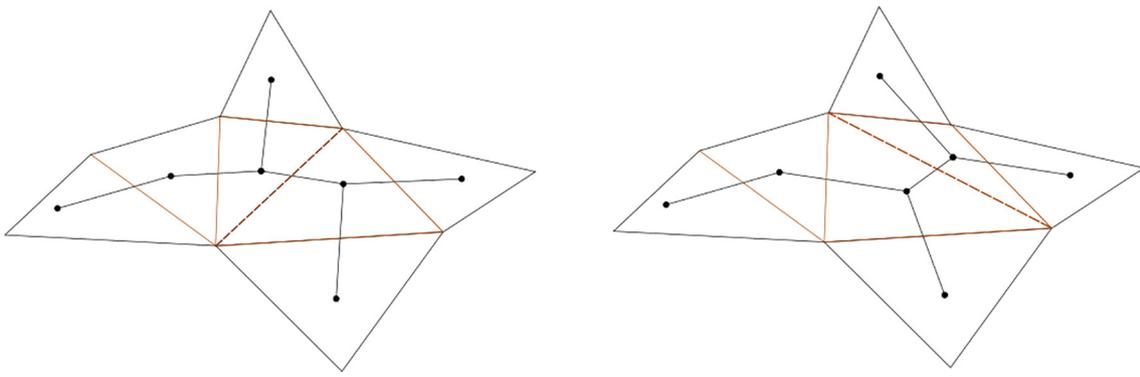


Рис. 6. Изменение топологии графа смежности при переброске

В-третьих, сама переброска для устранения данного вырожденного треугольника может осуществляться в различных местах. Например, для полигона на рис. 6 есть целых три варианта переброски для формирования полосы из пяти треугольников: первое, второе или третье внутреннее ребро, если считать слева направо.

Теперь, когда имеется алгоритм для получения последовательности переходов, необходимо разработать алгоритм для формирования на ее основе самой полосы треугольников (последовательности индексов вершин исходного полигона).

Алгоритм формирования полосы треугольников на базе последовательности переходов

Исходные данные: последовательность переходов P .

Результирующие данные: список S индексов вершин исходного полигона, представляющий полосу треугольников.

Шаг 1. Для первого узла n в P определить вершину v : левая вершина в случае левого перехода и правая вершина в случае правого перехода. Добавить v в L .

Шаг 2. Если переходы еще остались, то перейти к шагу 3. Иначе перейти к шагу 9.

Шаг 3. Выбрать следующий переход p в P для n .

Шаг 4. Если тип n противоположен типу предыдущего перехода, то перейти к шагу 6.

Шаг 5. Выбрать из L предпоследнюю вершину и вновь добавить ее в L .

Шаг 6. Если тип перехода левый, то добавить в L правую вершину, иначе – левую.

Шаг 7. Перейти к следующему узлу по переходу p , сохранить новый узел в n .

Шаг 8. Перейти к шагу 2.

Шаг 9. ОСТАНОВ.

Обобщим последовательность действий для выполнения стрипификации.

Имея триангуляцию полигона, сначала следует построить на ней граф смежности треугольников. Далее выбрать на данном графе набор путей, представляющий полное покрытие вершин графа. После этого, для выбранных путей следует сформировать последовательности переходов. В процессе формирования последовательности переходов по мере необходимости может осуществляться изменение типов начальных и конечных переходов, а также выполняться переброска ребер для снижения числа вырожденных треугольников. Далее на базе сформированных последовательностей переходов формируются полосы треугольников.

Нерассмотренной осталась задача выбора покрытия исходного графа смежности путями. Для произвольного графа оптимальный выбор такого покрытия имеет экспоненциальную сложность. Однако триангуляция, получаемая с применением алгоритма из прошлых работ, всегда имеет граф смежности, являющийся деревом [1]. В таком случае задача оптимального выбора описанного покрытия требует дополнительного исследования. Пока можно предложить следующее временное решение.

Выбрать в дереве смежности путь максимальной длины. Повторять данную операцию для оставшихся кусков графа, пока не будет достигнуто полное покрытие. Данный подход является работоспособным, но не оптимальным. Напомним, что оптимальным решением в данном случае является минимизация числа путей. Обратимся к рис. 6. С помощью приведенного алгоритма будет выбрано три полосы: одна из пяти треугольников и две из одного треугольника. При этом очевидно, что в данном случае есть возможность осуществить покрытие двумя полосами: из трех и четырех треугольников соответственно.

Выводы

В результате исследования были получены структуры данных и алгоритмы для решения задачи стрипификации данной триангуляции двумерного полигона. Полученные структуры данных позволяют формировать полосы треугольников, для представления элементов аэронавигационной базы данных аэродромов в бортовом формате, а также выполнять определенные преобразования исходной триангуляции (переброску ребер) для снижения количества вырожденных треугольников, описание которых требует дополнительных затрат памяти.

В дальнейших работах планируется провести формальный анализ вычислительной сложности разработанных алгоритмов, а также расчет емкостной сложности предлагаемых структур данных. Далее, в зависимости от полученных оценок емкостной и вычислительной сложности предполагается оптимизировать разработанные алгоритмы, дополнив их рядом разумных эвристик [7, 10].

Также предполагается проанализировать применимость разработанных алгоритмов и возможность их модернизации для применения при триангуляции и стрипификации полигонов в трехмерном пространстве (когда в исходных данных для каждой точки также указывается высота) [11].

Наконец, дальнейшего рассмотрения заслуживает задача покрытия дерева минимальным числом путей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковтушенко Д.В., Никитин А.В., Селиванов И.А. Подход к триангуляции полигонов сложной формы для представления элементов аэронавигационной базы данных аэродромов в бортовом формате // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 148–157.

2. Aerodrome Mapping Exchange Model (AMXM) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.amxm.aero/schema/2.0.1/amxm.xsd> (дата обращения 10.04.2021).
3. ARINC 816-2. Embedded interchange format for airport mapping database. 2016. 175 с.
4. Набоков С.А., Мужичек С.М., Скрынников А.А., Ефанов В.В. Выкатывания воздушных судов за пределы взлетно-посадочной полосы: профилактика и лечение // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 28. С. 134–145.
5. Филиппов В.Л., Овченков Н.И. Некоторые проблемы автоматизации процедур управления авиационной безопасностью аэропорта // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 24. С. 66–73.
6. Скворцов А.В., Мирза Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. Томск: Изд-во Томского университета, 2006. 168 с.
7. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч, Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. 3-е издание. Вильямс, 2013. 1324 с.
8. Никулин Е.А. Компьютерная графика. Модели и алгоритмы: учебное пособие. Лань, 2018, 708 с.
9. Демин Д.С., Машошин О.Ф., Никитин А.В., Соломенцев В.В., Колитиевский Ю.М., Никитин И.В. Обзор основных киберугроз ключевых субъектов инфраструктуры гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 22. С. 130–142.
10. Колдаев В.Д. Численные методы и программирование. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. 336 с.
11. Энгелькинг Р. Общая топология. М.: Мир, 1986. 751 с.

REFERENCES

1. Kovtushenko D.V., Nikitin A.V., Selivanov I.A. An approach to the triangulation of complex polygons to represent the elements of the aeronautical database of aerodromes in the flight format. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 30, pp. 148–157. (In Russian).
2. Aerodrome Mapping Exchange Model (AMXM) [Electronic resource]. Available at: <http://www.amxm.aero/schema/2.0.1/amxm.xsd> (accessed 10.04.2021).
3. ARINC 816-2. Embedded interchange format for airport mapping database. 2016. 175 p.
4. Nabokov S.A., Muzhichek S.M., Skrynnikov A.A., Efanov V.V. Aircraft rolling out of the runway: prevention and treatment. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 28, pp. 134–145. (In Russian).
5. Filippov V.L., Ovchenkov N.I. Some problems of automation of airport security management procedures. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 24, pp. 66–73. (In Russian).
6. Skvortsov A.V., Mirza N.S. *Algoritmy postroeniya i analiza triangulyatsii* [Triangulation construction and analysis algorithms]. Tomsk. Tomskij universitet Publ., 2006, 168 p. (In Russian).
7. Kormen T.Kh., Leyzerson Ch., Rivest R., Shtayn K. *Algoritmy. Postroenie i analiz* [Algorithms. Construction and analysis]. Third edition. Vil'yams Publ., 2013, 1324 pp.
8. Nikulin E.A. *Komputernaya grafika. Modeli i algoritmy. Ychebnoe posobie* [Computer graphics. Models and algorithms. Textbook]. Lan' Publ., 2018, 708 p. (In Russian).
9. Demin D.S., Mashoshin O.F., Nikitin A.V., Solomentsev V.V., Kolitievskiy Yu.M., Nikitin I.V. Overview of the main threats key stakeholders of civil aviation infrastructure. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2018, no. 22, pp. 130–142. (In Russian).
10. Koldayev V.D. *Chislennyye metody i programmirovaniye* [Numerical methods and programming]. Moscow. ID FORUM Publ., INFRA-M Publ., 2009, 336 p. (In Russian).
11. Engelking R. *Obshchaya topologiya* [General topology]. Moscow, Mir Publ., 1986, 751 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковтушенко Дмитрий Владимирович, магистр информационных технологий, исполняющий обязанности начальника отдела безопасности полетов и авиационной кибербезопасности, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: kovtushdv@atminst.ru.

Демин Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, директор по информационным технологиям, Национальный институт развития «Новые городские проекты», Государственная корпорация развития ВЭБ. РФ, пр-т Академика Сахарова, д. 9, Москва, Российская Федерация, 107996; e-mail: dsdemin@csavia.ru.

Никитин Андрей Васильевич, магистр информационных технологий, заместитель директора по информационным технологиям, Национальный институт развития «Новые городские проекты», Государственная корпорация развития ВЭБ. РФ, пр-т Академика Сахарова, д. 9, Москва, Российская Федерация, 107996; e-mail: avnikitin@csavia.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Kovtushenko Dmitry V., Master of Information Technology, Acting Head of the Department of Flight Safety and Aviation Cybersecurity, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: kovtushdv@atminst.ru.

Demin Dmitry S., Candidate of Technical Sciences, National Development Institute “New City Projects”, Major Financial Development Institution VEB.RF, Akademika Sakharova avenue, 9, 107996 Moscow, Russian Federation; e-mail: avnikitin@csavia.ru.

Nikitin Andrey V., Master of Information Technology, Deputy CIO, National Development Institute “New City Projects”, Major Financial Development Institution VEB.RF, Akademika Sakharova avenue, 9, 107996 Moscow, Russian Federation; e-mail: avnikitin@csavia.ru.

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 05.07.2021

Печать офсетная
18,95 усл. печ. л.

Формат 60/84/8
Заказ №

9,21 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО "Мегапринт"

e-mail: irkprint@yandex.ru

Автор верстки: Корнакова Ю.А.

