

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

**НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ГосНИИ ГА**

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

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ (№ 349)

№ 38

**Москва
2022**

ББК 39.5

НЗ4

Научный вестник ГосНИИ ГА

№ 38

Научный вестник ГосНИИ ГА включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation is included in the List of peer-reviewed scientific publications, which should be published basic scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences.

Учредитель. Издатель. Редакция:

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

Founder, Publisher, Editorial board:

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

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

Редакционная коллегия

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

Члены редакционной коллегии

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

тел./факс: 8 (495) 956 49 63 (*1018)

e-mail: science@gosniiga.ru

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

Editorial Board

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

The members of the Editorial Board

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

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

e-mail: science@gosniiga.ru

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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
--

№ 38

2022

СОДЕРЖАНИЕ

Эксплуатация воздушного транспорта *(Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники*)*

Уваев С. Ф., Юрин С. П. Оценка влияния увеличения установленных сроков службы двигателей ТВЗ-117 на показатели их безотказности	9
Арепьев К. А., Ковалевский С. А., Никитин Я. Ю. Теоретические аспекты разработки опытной методики оценки взлетных характеристик самолетов типа Ан-74	18
Горбунов В. П. Теплофизическое моделирование при оценке низкотемпературной надежности воздушных судов с цифровым бортовым комплексом	27
Мхитарян В. А., Козлов А. И., Мартиросян Н. Ф., Черных О. Н., Паршиков А. А. Доработка отечественной КПА для обеспечения проверок систем воздушных сигналов современных воздушных судов гражданской авиации	42
Алешин Б. С., Кан А. В., Михайлин И. С., Шапкин В. С. Социальное признание городской аэромобильности в Европе	51
Степаненко С. В., Мальцев О. Г. Анализ учета качества авиаГСМ и рекомендации по внесению требований в договоры поставки в системе авиатопливообеспечения гражданской авиации	65
Великанова Л. А., Легостаева Е. С., Лисиченко Е. А., Дьякова Н. А. Беспилотный медицинский комплекс	75
Гаранин С. А., Коньков А. Ю., Брусникин В. Ю., Шарыпов А. Н., Коваль С. В. Системы искусственного интеллекта в рамках современных задач гражданской авиации	84
Клочков В. В., Топоров Н. Б., Егошин С. Ф., Дегтярев О. И. Оценка эффективности новой авиационной техники для местных воздушных линий России	92

Безопасность в чрезвычайных ситуациях
(Техносферная безопасность транспортных систем)*

Волков А. К., Фролова Л. И., Косачевский С. Г., Заббаров З. Р. Оценка компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки на основе нечеткого моделирования 105

Великанов А. В., Кочетова Ж. Ю., Шишкин А. В., Дьякова Н. А. Перспективы развития беспилотных комплексов химической разведки грунта 116

Быкова В. В., Карапетян А. Г., Брусникин В. Ю., Ладыгина Н. Н., Коньков А. Ю. Исследование ошибок эксплуатации информационных систем, связанных с человеческим фактором 125

** Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени...»*

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF CIVIL AVIATION

№ 38

2022

CONTENTS

Operation of air transport *(Navigation and operation of aircraft*)*

Uvaev S. F., Yurin S. P. Assessment of the impact of increasing the installed service life of TV3-117 engines on indicators of their reliability	9
Arepev K. A., Kovalevskiy S. A., Nikitin Ya. Yu. Theoretical aspects development experimental method for assessing the take-off performance of the An-74 type aircraft	18
Gorbunov V. P. Thermal and physical modeling in assessing the low-temperature reliability of aircraft with a digital onboard system	27
Mkhitaryan V. A., Kozlov A. I., Martirosyan N. F., Chernykh O. N., Parshikov A. A. Revision of the domestic control and test equipment to ensure checks of air signal systems of modern civil aviation aircraft	42
Aleshin B. S., Kan A. V., Mikhailin I. S., Shapkin V. S. Social recognition of urban airmobility in Europe	51
Stepanenko S. V. , Maltsev O. G. Analysis of the quality aviation fuel accounting and recommendations for making requirements to the contracts in the aviation fuel supply system of civil aviation	65
Velikanova L. A., Legostaeva E. S., Lisichenko E. A., Dyakova N. A. Unmanned medical complex	75
Garanin S. A., Konkov A. Yu., Brusnikin V. Yu., Sharypov A. N., Koval S. V. Development of artificial intelligence systems in the framework of modern civil aviation tasks	84
Klochkov V. V., Toporov N. B., Egoshin S. F., Degtyarev O. I. Evaluation of the effectiveness of new aircraft for local Russian airlines	92

Safety in emergency situations
(Technosphere safety of transport systems)*

Volkov A. K., Frolova L. I., Kosachevsky S. G., Zabbarov Z. R. Assessment of a cadet competence during initial flight training based on fuzzy modeling	105
Velikanov A. V., Kochetova Zh. Yu., Shishkin A. V., Dyakova N. A. Prospects for the development of unmanned ground-based chemical reconnaissance systems	116
Bykova V. V., Karapetyan A. G., Brusnikin V. Yu., Ladygina N. N., Konkov A. Yu. Investigation of information systems operation errors related to human factor	125

** Order of the Ministry of Education and Science of Russia of 24.02.2021 no. 118 "On approval of the nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded..."*

Научная статья
УДК 629.735.03 «4017»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ УСТАНОВЛЕННЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВ3-117 НА ПОКАЗАТЕЛИ ИХ БЕЗОТКАЗНОСТИ

С. Ф. УВАЕВ, С. П. ЮРИН

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена углубленному анализу факторов, оказывающих непосредственное влияние на показатели безотказности двигателей ТВ3-117 с увеличенными сроками службы. Дана оценка целесообразности корректировки устанавливаемых при изготовлении и ремонте сроков службы для двигателей ТВ3-117, имеющих остаток межремонтного (до первого ремонта) ресурса. Приведено сопоставление показателей безотказности с фактическими значениями вероятности возникновения опасных, связанных с двигателями типа ТВ3-117 (отказ одного двигателя) последствий в течение того или иного года. Показана динамика изменения ω_i годового приведенного коэффициента безотказности по парку двигателей типа ТВ3-117 в авиакомпаниях Российской Федерации. На основании практических данных установлено, что вероятность полного отказа одного двигателя ТВ3-117 с увеличенным свыше 10 лет сроком службы на вертолетах Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ находится в заданном «Нормами летной годности авиационных двигателей» (АП-33) интервале. Отмечено, что причины досрочного снятия двигателей (ДСД), имевших место в интервале срока службы 0–10 лет, носят конструктивный и эксплуатационный характер и не имеют причинно-следственной связи с увеличением сроков службы. Научно обоснованный объем диагностических мероприятий в комплексе с методическим руководством, осуществляемым АО «ОДК-Климов» и ФГУП ГосНИИ ГА, позволяет безопасно эксплуатировать вертолеты, оснащенные двигателями семейства ТВ3-117, с увеличенными свыше 10 лет сроками службы.

Ключевые слова: гражданская авиация, вертолет, авиационный двигатель ТВ3-117, срок службы, техническое обслуживание, показатели безотказности, авиационные инциденты, неисправности, наработка

Для цитирования: Уваев С. Ф., Юрин С. П. Оценка влияния увеличения установленных сроков службы двигателей ТВ3-117 на показатели их безотказности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 9–17.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INCREASING THE INSTALLED SERVICE LIFE OF TV3-117 ENGINES ON INDICATORS OF THEIR RELIABILITY

S. F. UVAEV, S. P. YURIN

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

Abstract. The work is devoted to an in-depth analysis of factors that have a direct impact on the reliability indicators of TV3-117 engines with extended service life. An assessment is made of the feasibility of adjusting the service life established during manufacture and repair for TV3-117 engines that have a balance between

overhaul (before the first repair) resource. A comparison of reliability indicators with the actual values of the probability of occurrence of hazardous consequences associated with engines of the TV3-117 type (failure of one engine) during a given year is given. The dynamics of change ω_i of the annual reduced failure rate for the fleet of TV3-117 engines in the airlines of the Russian Federation is shown. On the basis of practical data, it has been established that the probability of a complete failure of one TV3-117 engine with an extended service life of more than 10 years on Mi-8MTV-1 and Mi-8AMT helicopters is within the interval specified by the "Airworthiness Standards for Aircraft Engines" (AP-33). It is noted that the causes of early removal of engines that occurred in the service life interval of 0–10 years are of a constructive and operational nature, and do not have a causal relationship with an increase in service life. The scientifically substantiated scope of diagnostic measures, in combination with the methodological guidance provided by JSC "ODK-Klimov" and The State Scientific Research Institute of Civil Aviation (GosNII GA), allows the safe operation of helicopters equipped with engines of the TV3-117 family, with an extended service life of over 10 years.

Keywords: civil aviation, helicopter, aircraft engine TV3-117, service life, maintenance, reliability indicators, aviation incidents, malfunctions, operating time

For citation: Uvaev S. F., Yurin S. P., Assessment of the impact of increasing the installed service life of TV3-117 engines on indicators of their reliability, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 9–17. (In Russ.)

Введение

С целью обеспечения возможности отработки двигателями установленных ресурсов в часах и циклах [1] был оформлен ряд совместных АО «ОДК-Климов» – ФГУП ГосНИИ ГА Решений, в рамках которых с 2001 по 2020 г. поэтапно проводились работы по исследованию технического состояния двигателей типа ТВ3-117 с целью увеличения межремонтных (до первого ремонта) сроков службы с 10 до 18 лет [2].

Порядок выполнения работ по Решениям определен соответствующими Программами оценки технического состояния двигателей, содержащими перечень необходимых контрольных операций, который зависит от степени отработки экземпляром двигателя установленного срока службы. Положительные результаты работ по определению возможности увеличения установленных ранее сроков службы обусловлены достаточным уровнем контролепригодности двигателей [3] и подтвержденной квалификацией специалистов АО «ОДК-Климов» и ФГУП ГосНИИ ГА. Оптимальное сочетание этих факторов позволяет произвести достоверную комплексную оценку технического состояния двигателей типа ТВ3-117.

За весь период исследовано техническое состояние 114 двигателей. В 96,5 % случаев результаты оценки технического состояния позволили продолжить эксплуатацию исследованных двигателей без замечаний, а 3,5 % двигателей были отстранены от эксплуатации в связи с неудовлетворительным техническим состоянием [4].

Рассмотрим влияние увеличения сроков службы значительной части эксплуатируемых двигателей на показатели безотказности парка ТВ3-117 в целом.

В целях обеспечения контроля уровня безопасности полетов ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» совместно с ФГУП ГосНИИ ГА систематически обобщают и анализируют результаты эксплуатации двигателей гражданской авиации и оценивают уровень их надежности и безотказности.

Оценка безотказности авиационных двигателей по результатам их эксплуатации предусмотрена межведомственным «Положением о порядке оценки безотказности авиационных двигателей гражданской авиации» (1994 г.) и выполняется в соответствии с рекомендациями «Методики количественной оценки безотказности авиационных двигателей по результатам их эксплуатации». Сопоставление результатов такой оценки с требованиями части 33 Авиационных

правил «Нормы летной годности двигателей воздушных судов» позволяет получить наиболее обоснованные результаты.

При выполнении оценки использованы материалы из следующих источников:

- Статистическая отчетность. Форма № 37-ГА (СВ), утверждена приказом Госкомстата СССР от 26.11.87 № 306;
- Статистическая отчетность. Форма № 36-ГА (СВ), утверждена приказом Госкомстата СССР от 26.11.87 № 306;
- база авиационных инцидентов Научного центра поддержания летной годности воздушных судов (НЦ ПЛГВС) ФГУП ГосНИИ ГА;
- сведения эксплуатационно-рекламационных отделов (ЭРО), отчеты заводов-изготовителей и ремонтных заводов по исследованию досрочно снятых двигателей и их агрегатов [5];
- информация об отказах (неисправностях) досрочно снятых двигателей, предпосылках к авиационным происшествиям и наработке парка двигателей, поступающая из предприятий, концернов и авиакомпаний [6];
- архив материалов расследований инцидентов и производственных происшествий (АМРИП) Росавиации.

Оценка безотказности парка двигателей типа ТВ3-117 за период с 2001 по 2020 г.

Наряду с ежегодной оценкой показателей безотказности представляет интерес сопоставление этих показателей с фактическими значениями вероятности возникновения опасных последствий, связанных с двигателями типа ТВ3-117, в течение того или иного года (табл. 1). В числе прочих, к таким последствиям относится отказ одного двигателя ТВ3-117, установленного на вертолете типа Ми-8 или Ка-32, приведший к его выключению в полете [7].

В соответствии с АП-33 [7, п. 33.75 раздел Е], вероятность таких событий должна находиться в диапазоне 10^{-5} до 10^{-7} на час наработки двигателя в полете.

Вероятность отказа одного двигателя, приведшего к выключению в полете, определим по формуле:

$$T_{\Sigma} = N_{\text{оп}} / t_{\Sigma}, \quad (1)$$

где $N_{\text{оп}}$ – суммарное количество выключений двигателей типа ТВ3-117 в полете за период с 2001 по 2020 годы (шт.);

t_{Σ} – суммарная наработка двигателей типа ТВ3-117 за период с 2001 по 2020 г., ч.

За период с 2001 по 2020 г. суммарное количество выключений двигателей типа ТВ3-117 в полете составило 9 случаев, а суммарная наработка двигателей типа ТВ3-117 – 10 982 015 ч. Для рассматриваемого периода из формулы (1) получаем: $T_{\Sigma} = 8,2 \cdot 10^{-7}$ (ч), что соответствует нормам АП-33 [7] для маловероятного события.

Вероятность совместного наступления подобных событий, к которым относится отказ двух двигателей типа ТВ3-117, установленных на вертолете типа Ми-8 или Ка-32, равна произведению вероятности отказа одного двигателя на условную вероятность отказа другого, вычисленную при условии, что первое событие уже наступило. Следовательно, вероятность T_2 отказа двух двигателей за рассматриваемый период составляет:

$$T_2 = T^2 = \{8,2 \cdot 10^{-7}\}^2 = 6,724 \cdot 10^{-13} \text{ (ч)}. \quad (2)$$

В отличие от вероятности отказа, оценка безотказности двигателей проводится по следующим среднестатистическим показателям:

- наработка, приходящаяся на один отказ двигателя в полете $T_{\text{оп}}$;
- наработка, приходящаяся на один досрочный съем двигателя $T_{\text{дсд}}$.

Значения этих показателей в сравнении с рекомендуемыми величинами, публикуемыми в ежегодных отчетах АО «Уральский завод гражданской авиации», приведены в табл. 1. В скобках в столбце $T_{оп}$ приведено количество отказов, приведших к выключению двигателя в полете, т.е. $N_{оп}$.

Таблица 1

Годовые значения $T_{оп}$ и $T_{ДСД}$ в сравнении с рекомендуемыми величинами

Год	$T_{ДСД}$ ($T_i/N_{ДСД}$), ч	Рекомендуемая величина $T_{ДСД}$, ч	$T_{оп}$, ч	Вероятность отказа за год T_i
2001	124 300	Не менее 6000	1 004 300 (1)	$9,9 \cdot 10^{-7}$
2002	193 140		(0)	0
2003	82 100		(0)	0
2004	25 062		1 050 620 (1)	$9,5 \cdot 10^{-7}$
2005	31 213		1 171 672 (1)	$8,5 \cdot 10^{-7}$
2006	69 304		1 297 913 (1)	$7,7 \cdot 10^{-7}$
2007	61 900		(0)	0
2008	67 000		1 235 000 (1)	$8,0 \cdot 10^{-7}$
2009	174 870		(0)	0
2010	205 020		(0)	0
2011	95 140		1 232 436 (1)	$8,1 \cdot 10^{-7}$
2012	93 130		(0)	0
2013	200 330		1 242 154 (1)	$8,0 \cdot 10^{-7}$
2014	66 967		(0)	0
2015	31 470		1 348 940 (1)	$7,4 \cdot 10^{-7}$
2016	–		(0)	0
2017	–		(0)	0
2018	–		1 398 980 (1)	$7,1 \cdot 10^{-7}$
2019	75 665		(0)	0
2020	54 820		(0)	0

Для справки в табл. 1 приведены значения годовых вероятностей отказа одного двигателя типа ТВ3-117 с 2001 по 2020 г., приведших к выключению в полете T_i , где i – год эксплуатации.

Как видно из табл. 1, вероятность полного отказа одного двигателя, приводящего к выключению в полете, находится в заданном АП-33 интервале как маловероятное событие.

Кроме рассмотренных выше, в 2001–2020 гг. выявлено 28 инцидентов ($N_{инц}$) с двигателями типа ТВ3-117, которые не связаны с выключением двигателя в полете. Распределение $N_{инц}$, $N_{оп}$, а также суммарное распределение функции $N_{общ} = N_{инц} + N_{оп}$ представлено на рис. 1.

Некоторый рост $N_{общ}$, начиная с 2015 года, связан с возросшим количеством двигателей, что сопряжено как с значительным ростом (начиная с 2015 года) интенсивности эксплуатации парка вертолетов Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ, так и с совершенствованием процесса сбора, учета и обработки данных об отказах и неисправностях, предоставляемых эксплуатирующими

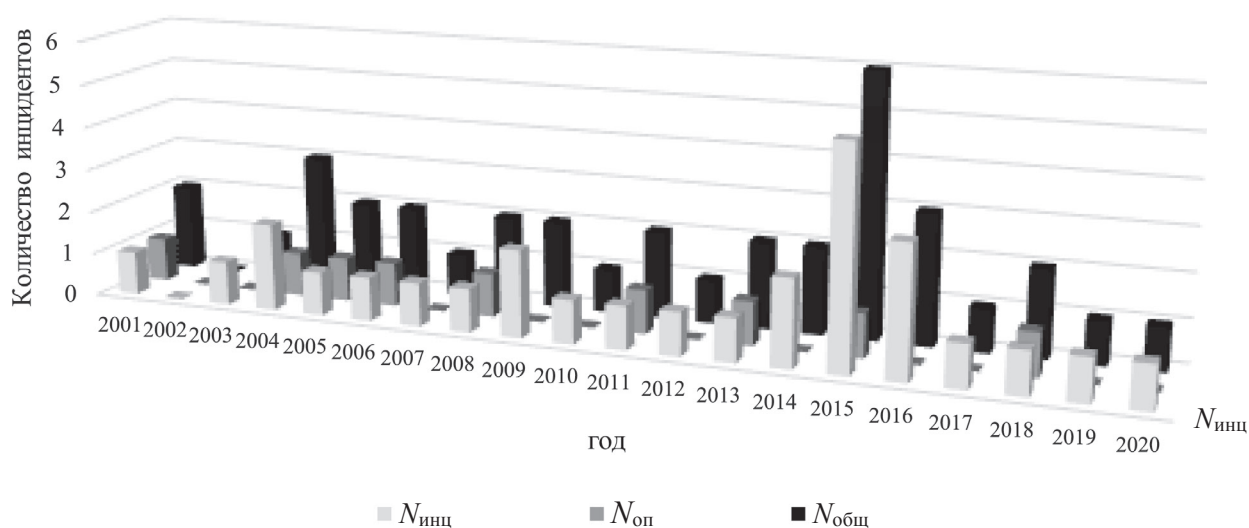


Рис. 1. Динамика изменений $N_{инц}$, $N_{оп}$ и $N_{общ}$ по годам

предприятиями. Исследования показали, что данное увеличение количества неисправностей не оказывает влияния на показатели безотказности парка двигателей в целом [8].

Дополнительным критерием оценки безотказности является отношение годового суммарного количества отказов

$$N_{общ} = N_{инц} + N_{оп} \quad (3)$$

к количеству двигателей типа ТВЗ-117, находящихся в эксплуатации, в тот или иной год, то есть

$$\omega_i = N_{общ} / C_i, \quad (4)$$

где ω_i – годовой приведенный коэффициент безотказности по парку;

i – год эксплуатации от 2014 до 2020 г. включительно;

C_i – количество эксплуатируемых двигателей типа ТВЗ-117 в i -м году.

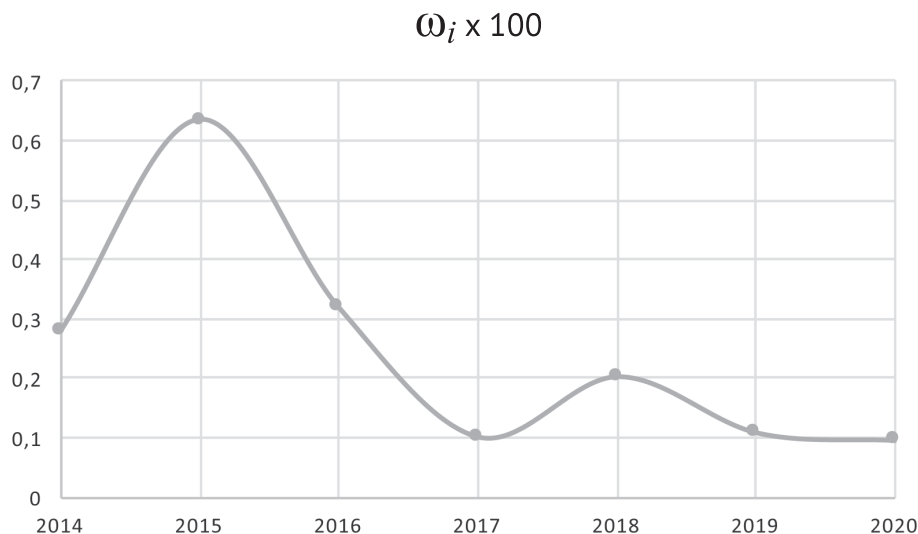


Рис. 2. Динамика изменений приведенного коэффициента безотказности ω_i с 2014 по 2020 годы

Таким образом, периодическое изменение соотношения между C_i и $N_{\text{общ}}$ (рис. 2) объясняет годовые изменения коэффициента ω_i , который, начиная с 2016 года, стабильно улучшается.

Распределение всех связанных с двигателем инцидентов ($N_{\text{общ}}$) по интервалам отработки сроков службы представлено на рис. 3.

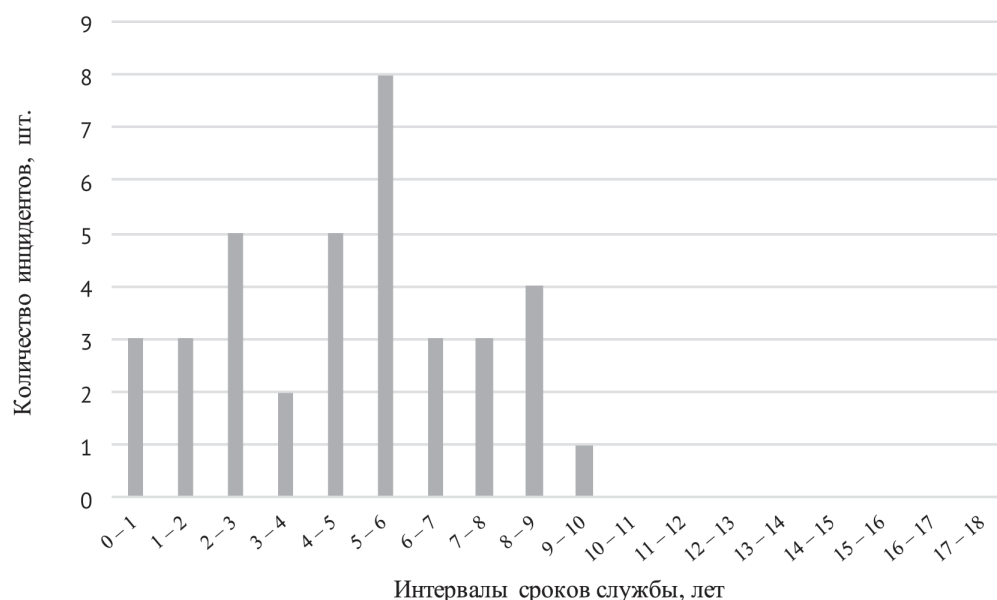


Рис. 3. Распределение инцидентов по интервалам сроков службы

Как видно из рис. 3, максимальное количество инцидентов с двигателями типа ТВЗ-117 произошло в интервале срока службы 5–6 лет (8 инцидентов).

Анализ материалов, имеющих в распоряжении АО «ОДК-Климов» и НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, позволяет констатировать, что в интервалах срока службы 10–18 лет за весь период выполнения работ по оценке технического состояния с целью увеличения сроков службы инцидентов, связанных с двигателями типа ТВЗ-117, не происходило.

Следует отметить, что выполнение технического обслуживания двигателей в интервале 10–18 лет не требует повышения квалификации технического персонала, и при соблюдении рекомендаций, выработанных в процессе работ по оценке технического состояния, ничем не отличается от стандартных операций. Кроме того, не требуется никакой дополнительной оснастки и диагностического оборудования.

Среднее количество инцидентов ($N_{\text{общ}}$) в интервалах сроков службы 0–18 лет, связанных с двигателями ТВЗ-117, составило 2,06 инцидента в год. Среднее количество инцидентов ($N_{\text{общ}}$) в интервалах сроков службы 0–10 лет составило 3,7 инцидента в год.

В 2001–2020 гг. произошло 128 отказов и неисправностей двигателей типа ТВЗ-117, вызвавших их досрочное снятие (ДСД) с эксплуатации. Распределение ДСД по интервалам сроков службы представлено на рис. 4.

Как видно из рис. 4, максимальное количество ДСД двигателей типа ТВЗ-117 произошло в интервале сроков службы 4–5 лет (20 ДСД). На интервал сроков службы 3–6 лет пришлось 55 случаев ДСД, что составляет около 43 % от всех случаев ДСД за рассматриваемый период.

ДСД в период с 2001 по 2020 г. на двигателях, сроки службы которых составляли 0–1 год, 8–9 лет, 9–10 лет выявлены в минимальных количествах (8, 5 и 2 ДСД соответственно). Среднее количество ДСД в интервалах сроков службы 0–18 лет, связанных с двигателями ТВЗ-117, составило 7,11 ДСД в год. Среднее количество ДСД в интервалах сроков службы 0–10 лет составило 12,8 ДСД в год.

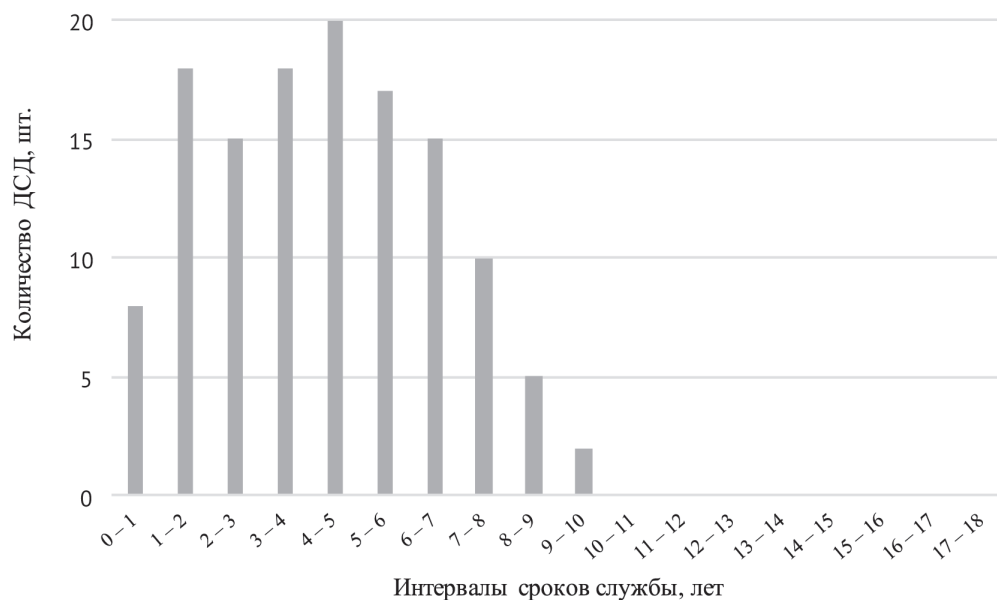


Рис. 4. Распределение ДСД по интервалам отработки сроков службы

Необходимо отметить, что по данным, располагаемым АО «ОДК-Климов» и НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, установлено, что в интервалах срока службы 10–18 лет за весь период работ по оценке технического состояния с целью увеличения сроков службы инцидентов, ДСД, связанных с двигателями типа ТВЗ-117, не зафиксировано.

Причины ДСД, имевших место в интервале срока службы 0–10 лет, носят конструктивный и эксплуатационный характер и не имеют причинно-следственной связи с увеличением сроков службы (10).

Анализ данных рис. 3 и 4 подтверждает отсутствие негативного влияния увеличения сроков службы на показатели безотказности двигателей ТВЗ-117.

Досрочное снятие с эксплуатации двигателей является значительной статьей расходов в бюджете авиапредприятий и приводит к таким негативным явлениям, как простой авиационной техники, отмена социально значимых рейсов. Отсутствие ДСД является следствием квалифицированного и высококачественного контроля технического состояния при поэтапном увеличении сроков службы свыше 10 лет, выполняемым совместно специалистами АО «ОДК-Климов» и ФГУП ГосНИИ ГА.

Заключение

При эксплуатации двигателей с увеличенными свыше 10 лет сроками службы уровень их безотказности не снижается, а летная и техническая эксплуатация не отличаются от эксплуатации двигателей, находящихся в интервале сроков службы от 0 до 10 лет.

Эксплуатация двигателей с увеличенными сроками службы не требует от авиапредприятий каких-либо дополнительных затрат при очевидной экономической привлекательности, которая имеет особое значение для эксплуатирующих предприятий с вертолетами, имеющими малые налеты, а также малый парк ВС. Работы по увеличению сроков службы снижают затратную нагрузку на предприятия, избавляя авиакомпании от простоя вертолетов по причине отсутствия двигателей, находящихся в ремонте, не оказывая влияния на уровень безопасности полетов.

Научно обоснованный объем диагностических мероприятий, являющихся составными частями Программ исследований технического состояния двигателей, в комплексе с методическим руководством, осуществляемым АО «ОДК-Климов» и НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, сделал возможным

безопасную эксплуатацию вертолетов, оснащенных двигателями семейства ТВЗ-117 с увеличенными свыше 10 лет сроками службы.

НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА и АО «ОДК-Климов» проведена комплексная работа с целью обобщения опыта эксплуатации двигателей с увеличенными сроками службы, в результате которой выпущен совместный отчет. По результатам отчета разработан и выпущен единый эксплуатационный бюллетень К78-111 БУ-Г, определяющий особый порядок эксплуатации двигателей семейства ТВЗ-117 с увеличенными сроками службы до 18 лет.

Список источников

1. ГОСТ Р 53863-2010. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2011. 17 с.
2. Акопян К. Э., Уваев С. Ф., Цихоцкий А. Ф. Анализ основных показателей двигателей ТВ2-117, определяющих эффективность их безопасного применения на вертолетах семейства Ми-8 // Климовские чтения – 2020. Сборник статей научно-технической конференции. Санкт-Петербург: Скифия-принт, 2020. С. 187–196.
3. Турбовальный двигатель ТВЗ-117. Руководство по технической эксплуатации 078.00.5700 РЭ. Книга 1. Москва: Транспорт, 1986. 616 с.
4. Уваев С. Ф., Цихоцкий А. Ф., Юрин С. П., Лисин О. В. Сравнительный анализ основных показателей двигателей ТВ2-117 и ТВЗ-117, определяющих эффективность безопасного применения вертолетов семейства Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 30. С. 9–20.
5. ГОСТ Р 27.013-2019. Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности. Москва: Стандартинформ, 2019. 42 с.
6. Барзилович Е. Ю., Савенков М. В. Статистические методы оценки состояния авиационной техники. Москва: Транспорт, 1987. 240 с.
7. Авиационные правила, часть 33 «Нормы летной годности двигателей воздушных судов», Санкт-Петербург: ООО «СЗ РЦАИ», 2018. 80 с.
8. Отчет НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА № 3.ТВЗ-117.1.2-21/420 по НИР «Анализ результатов эксплуатации парка двигателей ТВЗ-117ВМ, ТВЗ-117ВМ серии 02, ТВЗ-117ВМА, ТВЗ-117ВМА серии 02 с увеличенными до первого ремонта (межремонтными) сроками службы». Москва, 2021. 67 с.

References

1. GOST R 53863-2010. The system of maintenance and repair of aviation equipment. Terms and definitions, Moscow, Standartinform Publ., 2011, 17 p. (In Russ.)
2. Akopyan K. E., Uvaev S. F., Tsikhotsky A. F., Analysis of the main indicators of TV2-117 engines that determine the effectiveness of their safe use on Mi-8 family helicopters, *Klimov readings – 2020, Collection of articles of the scientific and technical conference*, St. Petersburg, , Skifia-print Publ., 2020, pp. 187–196. (In Russ.)
3. Turboshift engine TV3-117. Technical Operation Manual 078.00.5700 RE. Book 1, Moscow, Transport Publ., 1986, 616 p.
4. Uvaev S. F., Tsikhotsky A. F., Yurin S. P., Lisin O. V., Comparative analysis of the main indicators of TV2-117 and TV3-117 engines determining the effectiveness of safe use of Mi-8 family helicopters, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 30, pp. 9–20. (In Russ.)
5. GOST R 27.013-2019. Reliability in technology. Methods for assessing reliability indicators, Moscow, Standartinform Publ., 2019, 42 p. (In Russ.)
6. Barzilovich E. Yu., Savenkov M. V. Statistical methods for assessing the state of aviation equipment, Moscow, Transport Publ., 1987, 240 p. (In Russ.)
7. Aviatsionny'e pravila, chast' 33 "Normy letnoj godnosti dvigatelej vozdushnykh sudov" [Aviation regulations, part 33 "Airworthiness standards of aircraft engines"], St. Petersburg, LLC "SZ RCAI" Publ., 2018, 80 p. (In Russ.)

8. Report of the Scientific Center of The State Scientific Research Institute of CA No. 3.TV3-117.1.2-21/420 on research and development “Analysis of the results of operation of the fleet of engines TV3-117VM, TV3-117VM series 02, TV3-117VMA, TV3-117VMA series 02 with extended service life before the first repair (inter-repair).”, Moscow, GosNII GA Publ., 2021, 67 p.

Информация об авторах

Уваев Сергей Федорович, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, uvaev_sf@ncplg.ru

Юрин Сергей Петрович, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, yurin_sp@ncplg.ru

Authors information

Uvaev Sergey F., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, uvaev_sf@ncplg.ru

Yurin Sergey P., Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, yurin_sp@ncplg.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 10.05.2022; принята к публикации 19.05.2022.

The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 10.05.2022; accepted for publication 19.05.2022.

Научная статья
УДК 629.735.33.016

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ОПЫТНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЗЛЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТОВ ТИПА АН-74

К. А. АРЕПЬЕВ, С. А. КОВАЛЕВСКИЙ, Я. Ю. НИКИТИН

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В работе представлены теоретические подходы к расчету взлетных характеристик самолетов типа Ан-74 с использованием данных Руководства по летной эксплуатации. Предложен критерий оценки тяговооруженности и методика его расчета, исходя из данных по типовому ускорению и ускорению конкретного экземпляра воздушного судна. Также в статье представлены результаты корреляционного анализа входных параметров, таких как взлетная масса самолета, температура наружного воздуха, барометрическая высота аэродрома над уровнем моря. На основании 150 взлетов шести воздушных судов типа Ан-74, совершенных с искусственных взлетно-посадочных полос, был представлен график изменения оценки тяговооруженности от температуры наружного воздуха. Установлено, что наблюдается большой разброс оценок, однако для всех исследуемых воздушных судов прослеживается тенденция увеличения оценки тяговооруженности с ростом температуры наружного воздуха, которая может быть связана с различием тяги на взлетном режиме для двигателя Д-36 разных серий в условиях повышенных температур наружного воздуха, а также с большим запасом по длине разбега в номограммах Руководства по летной эксплуатации для положительных температур наружного воздуха. Для получения более статистически значимых результатов необходимо увеличить объем выборки, а также уделить внимание корректности сбора данных.

Ключевые слова: самолет Ан-74, взлетные характеристики, тяговооруженность самолета, погрешность методики, руководство по летной эксплуатации, дистанция разбега, условия взлета, параметры полета

Для цитирования: Арепьев К. А., Ковалевский С. А., Никитин Я. Ю. Теоретические аспекты разработки опытной методики оценки взлетных характеристик самолетов типа Ан-74 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 18–26.

THEORETICAL ASPECTS DEVELOPMENT EXPERIMENTAL METHOD FOR ASSESSING THE TAKE-OFF PERFORMANCE OF THE AN-74 TYPE AIRCRAFT

K. A. AREPEV, S. A. KOVALEVSKIY, YA. YU. NIKITIN

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

Abstract. The paper presents theoretical approaches to calculating the take-off characteristics of An-74 aircraft using data from the Flight Operations Manual. A criterion for evaluating the thrust-to-weight ratio and a method for calculating it based on data on the typical acceleration and acceleration of a particular aircraft instance is proposed. The article also presents the results of the correlation analysis of input parameters, such as the take-off weight of the aircraft, the outside air temperature, the barometric altitude of the airfield above sea level. Based on 150 take-offs of six An-74 aircraft made from artificial runways, a graph of changes in the

estimate of thrust-to-weight ratio from the outside air temperature was presented. It is established that there is a large spread of estimates, however, for all the studied aircraft, there is a tendency to increase the thrust-to-weight rating with an increase in outdoor air temperature, which may be related to the difference in thrust at take-off mode for the D-36 engine of different series in conditions of elevated outdoor temperatures, as well as with a large margin in the run-up length in the nomograms of the Manual for flight operation for positive outdoor temperatures. To obtain more statistically significant results, it is necessary to increase the sample size, as well as pay attention to the correctness of data collection.

Keywords: An-74 aircraft, takeoff characteristics, aircraft thrust-to-weight ratio, technique error, flight manual, takeoff run, takeoff conditions, flight parameters

For citation: Arepev K. A., Kovalevskiy S. A., Nikitin Ya. Yu., Theoretical aspects development experimental method for assessing the take-off performance of the An-74 type aircraft, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 18–26. (In Russ.)

Введение

Составной частью процедуры сертификации экземпляра воздушного судна (ВС) является процедура оценки основных летных характеристик, которая проводится с целью определения соответствия фактических характеристик данного ВС характеристикам типа, приведенным в соответствующих разделах Руководства по летной эксплуатации (РЛЭ).

При этом наиболее важными показателями являются те, от которых непосредственно зависят ограничения условий эксплуатации. Важнейшим показателем при этом является тяговооруженность самолета на взлете, так как тяга двигателей непосредственно влияет на ограничение по максимальной взлетной массе [1–6].

Цель настоящей работы – представить теоретические аспекты разработки опытной методики оценки взлетных характеристик самолетов типа Ан-74.

Объекты и методы исследований

Самолет Ан-74 является модификацией самолета Ан-72 и предназначен для выполнения транспортных и грузопассажирских перевозок на авиалиниях средней протяженности. На воздушных судах (ВС) типа Ан-74 установлены два турбовентиляторных двигателя Д-36 серий 1, 1А, 2А, 3А производства АО «МОТОР СИЧ». Самолет Ан-74 эксплуатируется в гражданской авиации с 1991 года и может осуществлять взлет/посадку как с искусственных взлетно-посадочных полос (ВПП), так и с грунтовых ВПП. В настоящее время в России успешно эксплуатируется более 20 ВС.

Тяговооруженность – это отношение тяги двигателей к весу самолета. Одним из основных критериев оценки тяговооруженности самолета на взлете является его ускорение на участке разбега с момента страгивания до отрыва.

Для выполнения оценки тяговооруженности необходимо рассчитать ускорение экземпляра ВС и сравнить его с ускорением типового самолета Ан-74. Источником данных для получения характеристик типа ВС может служить Руководство по летной эксплуатации (РЛЭ).

Непосредственно получить ускорение типового самолета Ан-74 по данным РЛЭ не представляется возможным (отсутствуют соответствующие номограммы или таблицы). Однако используя данные РЛЭ и формулы физических зависимостей, типовое ускорение можно вычислить. Для этого определяется длина разбега ($L_{\text{разб.}}$, м) типового самолета (по номограмме на рис. 19 РЛЭ Ан-74ТК-100 [7] и рис. 22 РЛЭ Ан-74-200 [8]). Типовое значение длины разбега зависит от таких параметров, как взлетная масса самолета, температура наружного воздуха, высота аэродрома над уровнем моря (высота аэродрома определяется через барометрическое

давление), а также от прочности грунта (для грунтовых ВПП), скорости встречного ветра и уклона ВПП.

Взлетная масса самолета определяется из паспорта к регистратору бортового устройства регистрации БУР-3-2 (БУР). Атмосферное давление (барометрическую высоту) и температуру наружного воздуха на аэродроме вылета можно определить как из паспорта к регистратору БУР, так и из данных файла полетной информации регистратора БУР. Авторами эти данные брались из файла полетной информации. Ввиду невозможности получения достоверной информации о скорости ветра и уклоне ВПП в настоящей работе авторами эти данные принимались равными нулю.

Затем определяется скорость подъема передней опоры ($V_{п.оп.}$, м/с) (по номограмме рис. 10 РЛЭ Ан-74ТК-100 [7] и Ан-74-200 [8]), которая зависит только от взлетной массы. Аэродинамические поправки к показаниям приборной скорости определяются по номограмме рис. 3 РЛЭ Ан-74ТК-100 [7] и Ан-74-200 [8]. Для получения истинной скорости аэродинамическая поправка суммируется со значением приборной скорости.

Типовое ускорение ($a_{тип}$, м/с²) на участке разбега можно вычислить по формуле:

$$a_{тип} = V_{отр.}^2 / (2L_{разб.}). \quad (1)$$

Для автоматизации и уменьшения времени расчета номограммы РЛЭ были переведены в электронный вид. В электронном виде, удобном для расчета, номограммы РЛЭ можно представить либо в виде матрицы, либо в виде формулы.

В нашем исследовании был выбран второй способ. По данным номограмм на рис. 19 РЛЭ Ан-74ТК-100 [7] и рис. 22 РЛЭ Ан-74-200 [8] была предложена формула расчета длины разбега. Рассмотрим порядок расчета на примере рис. 19 РЛЭ Ан-74ТК-100. Эта номограмма представлена на рис. 1.

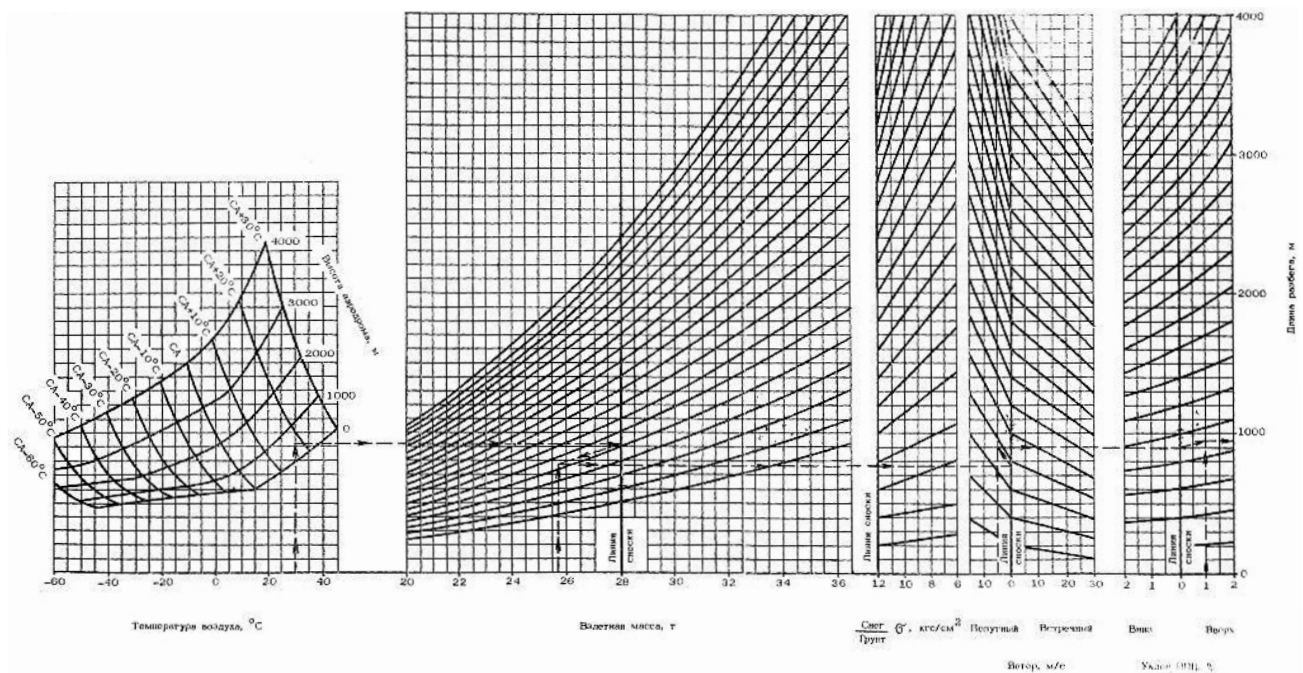


Рис. 1. Номограмма РЛЭ Ан-74ТК-100 для определения длины разбега (рис. 19 РЛЭ Ан-74ТК-100 [7])

По левой части номограммы определяется длина разбега самолета с взлетной массой ($M_{взл}$) 28 т для фактических условий взлета (высота аэродрома над уровнем моря и температура

наружного воздуха) при условии взлета в безветрие и с искусственной ВПП, не имеющей уклона. Левая часть номограммы имеет излом в районе кривой, соответствующей условиям стандартной атмосферы (СА). Описать всю область номограммы можно двумя формулами для условий $CA < 0$ и $CA \geq 0$. Для условий $CA < 0$ левую часть номограммы можно представить в виде:

$$L_{28} = 382,29\rho^3 - 4373,77\rho - 0,86038H_{\text{бар}} - 0,035473T_{\text{нв}}^2\rho + 10096, \quad (2)$$

а для условий $CA \geq 0$ в виде:

$$L_{28} = -2,4092 \cdot 10^{-5} T_{\text{нв}}^2 H_{\text{бар}} + 0,014612 T_{\text{нв}} H_{\text{бар}} - 3546,17\rho - 2,784 H_{\text{бар}} - 0,032705 T_{\text{нв}}^2 + 8887,34, \quad (3)$$

где ρ – плотность окружающего воздуха: $\rho = p/287/T_{\text{нв}}$;

p – атмосферное давление окружающего воздуха:

$p = 101325 \exp(-0,02904 \cdot 9,81 H_{\text{бар}} / 8,3145 / T_{\text{нв}})$;

$H_{\text{бар}}$ – высота аэродрома над уровнем моря;

$T_{\text{нв}}$ – температура окружающего воздуха по Кельвину: $T_{\text{нв}} = t_{\text{нв}} + 273,15$.

Далее по средней части номограммы определяем дистанцию разбега для фактической взлетной массы при условии взлета в безветрие и с искусственной ВПП, не имеющей уклона. Среднюю часть номограммы можно описать следующей формулой:

$$L_M = -0,92324 M_{\text{взл}}^2 - 2,15652 L_{28} - 170,236 M_{\text{взл}} + 0,112031 L_{28} M_{\text{взл}} + 5523,97. \quad (4)$$

Дистанция разбега с учетом прочности грунта ВПП определяется по формуле:

$$L_{\text{разб.}} = -0,09090117 L_M G + 181,317 G + 2,09127 L_M - 2176, \quad (5)$$

где G – прочность грунта, кгс/см². Для искусственной ВПП прочность грунта принимается 12 кгс/см².

Однозначно определить прочность грунта для грунтовой ВПП конкретного аэродрома – непростая задача. Это связано с тем, что данные о прочности грунта не представлены в официальных источниках, и на указанный параметр существенное влияние оказывает состояние почвы, вид и количество атмосферных осадков и ряд других факторов. Для проведения первоначальных расчетов в настоящем исследовании прочность грунта для ГВПП была принята равной 10 кгс/см². В дальнейшем это значение подлежит уточнению.

Чтобы определить ускорение по формуле (1) необходимо вычислить типовую скорость отрыва самолета от ВПП. График скорости отрыва самолета от ВПП в РЛЭ не представлен. Однако, по данным РЛЭ ([7], рис. 10) можно определить приборную скорость поднятия передней опоры шасси ($V_{\text{п.оп.}}$). Данная номограмма представлена на рис. 2.

С учетом аэродинамических поправок на рис. 3 [7] РЛЭ самолета Ан-74ТК-100, а также предполагая, что скорость отрыва на 6 км/ч больше скорости поднятия передней опоры шасси, скорость отрыва можно определить по формуле:

$$V_{\text{отр.}} = [(3,5664 M_{\text{взл}} + 97,835 + 6)(1 + 0,043846) + 3,62] / 3,6. \quad (6)$$

Подставляя полученные значения по формулам (5) и (6) в (1), вычисляем типовое ускорение самолета Ан-74 на этапе разбега от страгивания до отрыва.

Для расчета ускорения экземпляра ВС используются данные файла полетной информации. Изначально предполагалось, что ускорение экземпляра ВС на этапе разбега практически постоянно, тогда его можно вычислить по формуле:

$$a_{\text{экз.}} = (V_1 - V_0) / t, \quad (7)$$

где V_0 – скорость (м/с) экземпляра ВС в начальный момент времени, м/с. В связи с особенностью регистрации приборной скорости на малых скоростях за начальный момент времени принимается момент, в который скорость составляет не менее 100 км/ч (~27,8 м/с); V_1 – скорость (м/с) в момент отрыва. В предположении, что ускорение при разгоне практически постоянно (угол наклона зависимости $V(t)$ постоянен), абсолютно точно определять момент отрыва не требуется. В качестве расчетной точки предлагалось взять момент роста геометрической высоты с нулевого значения; t – время (с), за которое происходит разгон от скорости V_0 до скорости V_1 .

Однако при анализе файлов полетной информации было обнаружено, что зависимость приборной скорости от времени не всегда имеет линейный характер. В некоторых взлетах график этой зависимости имеет горизонтальные кратковременные площадки или просто изменение наклона кривой, что вероятнее всего связано с особенностями техники пилотирования или состоянием ВПП. Все эти факторы оказывали существенное влияние на расчет ускорения экземпляра ВС, так как он проводился по двум крайним точкам. Это приводило к большому разбросу в оценках тяговооруженности. Поэтому было предложено вычислять путем математического интегрирования истинной скорости дистанцию разбега от точки, ближайшей к 100 км/ч, до точки начала роста геометрической высоты, а ускорение на этом участке вычислять по формуле:

$$a_{\text{экз.}} = (V_1^2 - V_0^2) / (2L), \quad (8)$$

где L – расстояние (м), которое проходит самолет при разгоне от скорости V_0 до скорости V_1 :
 $L = \int_{V_0}^{V_1} V dt$.

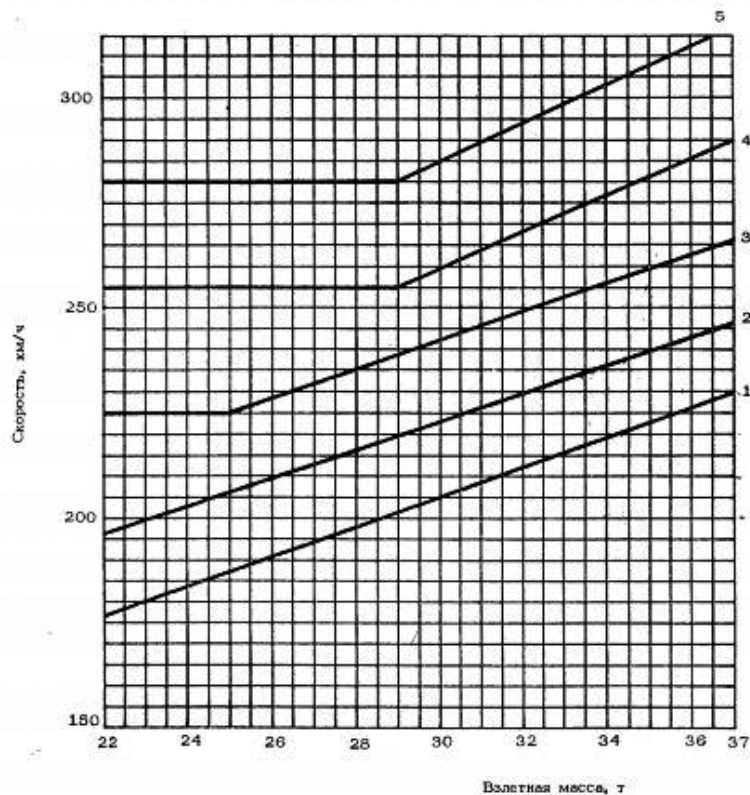


Рис. 2. Номограмма РЛЭ Ан-74ТК-100 для определения скорости поднятия передней опоры шасси: скорость подъема передней опоры ($V_{\text{п.оп.}}$) – 1; скорость безопасная (V_2) – 2; скорость начального набора высоты со всеми работающими двигателями ($V_{2н}$) – 3; скорость начала уборки механизации крыла (V_3), шасси убрано – 4; скорость при полетной конфигурации (V_4) – 5 [7]

В качестве критерия оценки соответствия ускорения экземпляра ВС данным РЛЭ можно использовать отношение:

$$a = (a_{\text{экз.}} / a_{\text{тип.}} - 1) \cdot 100 \%. \quad (9)$$

Этот критерий получил название «оценка тяговооруженности», отрицательные значения которого означают, что ускорение экземпляра ВС ниже типового ускорения, положительные – выше типового ускорения.

Результаты исследований

Для сбора статистики были обработаны файлы полетной информации нескольких экземпляров самолетов Ан-74. Полученный объем, а это порядка 150 полетов шести различных самолетов типа Ан-74, позволяет провести корреляционный анализ входных параметров для расчета типового ускорения с оценкой тяговооруженности. Отсутствие такой корреляции будет говорить о том, что оценка характеристик тяговооруженности выполняется достоверно и независимо от параметра. Согласно данным РЛЭ и представленной методики, входными параметрами для расчета являются: взлетная масса самолета, температура наружного воздуха, барометрическая высота аэродрома над уровнем моря. При анализе использовались только полеты с ИВПП на взлетном режиме работы двигателей. Коэффициенты корреляции K входных параметров с оценкой тяговооруженности на взлете: $K = -0,23$ для $M_{\text{взл.}}$, $K = 0,63$ для $T_{\text{нв}}$ и $K = 0,11$ для $H_{\text{бар.}}$; наибольший коэффициент корреляции 0,63 у параметра $T_{\text{нв}}$ – температуры наружного воздуха.

На рис. 3 представлена зависимость оценки тяговооруженности на взлете от температуры наружного воздуха для всех самолетов, которая в разной степени была отмечена на каждом экземпляре ВС: с ростом температуры наружного воздуха оценка тяговооруженности самолета увеличивается. Необходимо отметить, что увеличивается не сама тяговооруженность самолета, а оценка тяговооруженности, определенная по формуле (9). Основными причинами такой зависимости могут быть:

1. Фактическая тяга на взлетном режиме доработанного двигателя Д-36 серии 3А выше тяги двигателя Д-36 серии 2А в условиях положительных температур наружного воздуха.

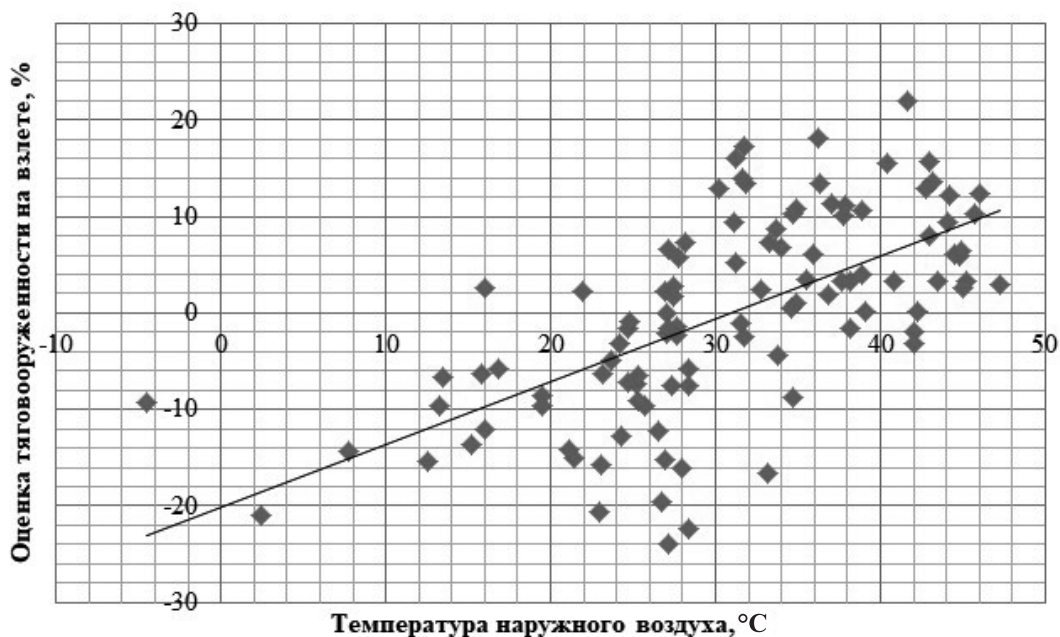


Рис. 3. Зависимость оценки тяговооруженности от $T_{\text{нв}}$ самолетов Ан-74

Согласно анализу данных РЛЭ номограммы для расчета длин разбега самолета Ан-74 и самолетов Ан-74ТК-100 и Ан-74-200 идентичны, т. е. тяга должна быть одинаковой.

2. В номограммах РЛЭ для положительных температур наружного воздуха заложен большой запас по длине разбега по сравнению с отрицательными $T_{\text{нв}}$.

Из рис. 3 также видно, что разброс оценок от линии тренда также достаточно высок. Это связано как с индивидуальными особенностями конкретного экземпляра ВС, так и с погрешностью определения значений входных параметров. За исключением взлетной массы все остальные входные параметры определяются по данным файла полетной информации. Параметры, регистрируемые БУР, имеют свою погрешность, которая зависит от типа датчиков. Точность и достоверность таких регистрируемых параметров, как приборная скорость, температура наружного воздуха и барометрическая высота над уровнем моря также зависят от тарировочной характеристики.

Опытная методика оценки взлетных характеристик самолетов типа Ан-74 относится к группе методик косвенных измерений и в перспективе должна подлежать аттестации по ГОСТ Р 8.563-2009, ОСТ 54-3-154.82-2002 и МИ 2083-90. Аттестация необходима для установления допускаемых значений суммарной погрешности методики и входящих в нее составляющих, к которым относятся погрешности измерительных каналов БУР и погрешности их тарировки, погрешности наземной обработки зарегистрированной информации и другие. Проведение аттестации обеспечит исключение возникновения метрологических рисков негативных ситуаций при применении методики в дальнейшем в практике авиационной деятельности [9, 10].

Заключение

На основе представленной информации можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Оценка тяговооруженности позволяет количественно определить тяговооруженность экземпляра самолета типа Ан-74 на взлете. Большой разброс оценок и малый объем выборки на данный момент не позволяют разработать достоверные критерии соответствия индивидуальных характеристик экземпляра ВС типовым данным.

2. Предложенная методика достаточно проста в использовании, что позволяет автоматизировать расчет по ней. Однако, при проведении работ следует особое внимание уделять корректности сбора данных.

3. Массив оценки тяговооруженности имеет положительный коэффициент корреляции с одним из входных параметров – температурой наружного воздуха. Необходимо выявить причину данной корреляции, возможно, провести сбор информации о параметрах работы двигателей на взлетном режиме, а также других данных, которые можно получить из файла полетной информации.

Список источников

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

2. Масленникова Г. Е. Постановка задачи разработки критериев оценивания основных летных характеристик ВС ГА в процедуре сертификации экземпляра ВС // Научный вестник МГТУ ГА. 2006. Вып. 99. С. 19–24.

3. Масленникова Г. Е. Контроль основных летных характеристик в процедуре поддержания летной годности воздушного судна // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА. 2008. № 310. С. 104–109.

4. Масленникова Г. Е. Оценка изменений основных летных характеристик экземпляра ВС в процессе эксплуатации по данным средств объективного контроля // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: тез. докладов международной научно-технической конференции. 18–19 мая 2006 г. Москва: МГТУ ГА, 2006. С. 99–100.

5. Арепьев К. А., Николас А. В., Масленникова Г. Е. Мониторинг летных характеристик – решаемые задачи и перспективы использования // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2011. № 1. С. 28–34.
6. Артамонов Л. Т., Долгов А. В., Масленникова Г. Е., Смирнова Л. В. Построение системы сохранения летных характеристик экземпляра ВС в процессе эксплуатации // Научный вестник МГТУ ГА. 2001. № 34. С. 50–57.
7. Самолет Ан-74ТК-100. Руководство по летной эксплуатации. 72.25.0000.000.000 РЛ1, Кн.1. 432 с.
8. Самолет Ан-74-200. Руководство по летной эксплуатации. 74.00.0000.000.000 РЛ-ЛУ. 2004. Кн. 1, 502 с. Кн. 2, 622 с.
9. Богоявленский А. А., Ермолаева О. Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2. С. 24–29.
10. Богоявленский А. А., Боков А. Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>

References

1. Arepyev K. A., Maslennikova G. E., Tazhetdinov R. R., Development of a methodology for assessing compliance with these operational documentation with the take-off characteristics of modern mainline aircraft, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2017, no. 19, pp. 54–63. (In Russ.)
2. Maslennikova G. E., Setting the task of developing criteria for assessing the main flight characteristics of the AC GA in the procedure of certification of the copy of the AC, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2006, no. 99, pp. 19–24. (In Russ.)
3. Maslennikova G. E., Control of the main flight characteristics in the procedure of maintaining the airworthiness of the aircraft, *Proceedings of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2008, no. 310, pp.104–109. (In Russ.)
4. Maslennikova G. E., Evaluation of changes in the basic flight characteristics the instance of the aircraft in service by means of objective control data, *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom ehtape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: Tez. dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, 18–19 May 2006, [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society: Abstracts of the International Scientific-Technical Conference], 18–19 May 2006, Moscow, MSTU CA Publ., 2006, pp. 99–100. (In Russ.)
5. Arep'ev K. A., Nikolas A. V., Maslennikova G. E., Monitoring of flight specifications – solvable problems and prospects, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2011, no. 1, pp. 28–34. (In Russ.)
6. Artamonov L. T., Dolgov A. V., Maslennikova G. E., Smirnova L. V., Construction of a system for maintaining the flight characteristics of an aircraft in the process of operation, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2001, no. 34, pp. 50–57. (In Russ.)
7. An-74TK-100. Airplane flight manual, 72.25.0000.000.000 RL1, Vol. 1, 432 p. (In Russ.)
8. An-74-200. Airplane flight manual, 74.00.0000.000.000 RL-LU, 2004, Vol. 1, 502 p., Vol. 2, 622 p. (In Russ.)
9. Bogoyavlenskiy A. A., Ermolaeva O. L., On the organization and carrying out of works on ensuring the uniformity of measurements in air transport, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2012, no. 2 (313), pp. 24–29. (In Russ.)
10. Bogoyavlenskiy A. A., Bokov A. E., Setting the task of developing methods for managing metrological risks of negative situations in aviation activity, *The world of measurement*, 2013, no. 10, pp. 3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>

Информация об авторах

Арепьев Кирилл Анатольевич, начальник группы отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, group_138an@ncplg.ru

Ковалевский Сергей Александрович, ведущий инженер-эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, kovalevskii_sa@ncplg.ru

Никитин Янис Юрьевич, ведущий инженер, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, nikitin_yy@ncplg.ru

Authors information

Arepev Kirill A., Head of Group of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, group_138an@ncplg.ru

Kovalevskiy Sergey A., Leader Engineer-expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, kovalevskii_sa@ncplg.ru

Nikitin Yanis Yu., Leader Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, nikitin_yy@ncplg.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 25.04.2022; принята к публикации 10.05.2022.

The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 25.04.2022; accepted for publication 10.05.2022.

Научная статья

УДК 536.24:629.735.017.1

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ЦИФРОВЫМ БОРТОВЫМ КОМПЛЕКСОМ

В. П. ГОРБУНОВ

Авиакомпания «Якутия», Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

Аннотация. Показано, что тепловой фактор – один из наиболее значимых среди факторов, ограничивающих работу авионики современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом, поэтому к базовым задачам проектирования авионики относится обеспечение приемлемого теплового режима работы систем авионики. С использованием закона Фурье и гипотезы Ньютона-Рихмана выработана теплофизическая модель промерзания внутренних зон самолета при оценке низкотемпературной надежности современных воздушных судов (ВС) с цифровым бортовым комплексом авионики. На основе теплофизического моделирования показано, что зависимости изменения температуры от времени при охлаждении воздуха внутри ВС как при использовании источника тепла, так и при его отсутствии имеют экспоненциальный характер с быстрым падением температуры ВС, что находит подтверждение по данным экспериментального испытания в натурных климатических условиях ВС Airbus A310-325 при экстремально низких температурах при проведении комплекса исследований в Якутске в 1996 году. Полученные результаты исследований были подтверждены во время проведения сертификационных испытаний более современного ВС с полностью цифровым бортовым комплексом авионики Airbus A319-112 зимой 2004 года, также в условиях аэропорта Якутск. Метод тепловой компенсации как средство управления надежностью современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом авионики судов показал свою эффективность как при модельном варианте, так и при натурном эксперименте, максимально приближенном к реальным условиям эксплуатации.

Ключевые слова: теплофизическая модель, закон Фурье, гипотеза Ньютона-Рихмана, авионика, низкотемпературная надежность, метод тепловой компенсации, климатические испытания

Для цитирования: Горбунов В. П. Теплофизическое моделирование при оценке низкотемпературной надежности воздушных судов с цифровым бортовым комплексом // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 27–41.

THERMAL AND PHYSICAL MODELING IN ASSESSING THE LOW-TEMPERATURE RELIABILITY OF AIRCRAFT WITH A DIGITAL ONBOARD SYSTEM

V. P. GORBUNOV

Yakutia Airlines, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

Abstract. It is shown that the thermal factor is one of the most significant limiting the work of avionics of modern aircraft with a digital onboard complex, therefore, the basic tasks of avionics design include ensuring an acceptable thermal mode of operation of avionics systems. Using the Fourier law and the Newton-Richman hypothesis, a thermophysical model of freezing of the internal zones of the aircraft was developed to assess the

low-temperature reliability of modern aircraft with a digital avionics onboard complex. Based on thermophysical modeling, it is shown that the dependences of temperature changes on time during cooling of the air inside the aircraft. Both when using a heat source and in its absence, have an exponential character with a rapid drop in the temperature of the aircraft, which is confirmed by the data of an experimental test in full-scale climatic conditions of the Airbus A310-325 aircraft at extremely low temperatures during a complex of studies in Yakutsk in 1996. The obtained research results were confirmed during the certification tests of a more modern aircraft with a, so-called “fly-by-wire” avionics complex Airbus A319-112 in the winter of 2004, also in the conditions of Yakutsk airport. The method of thermal compensation as a means of controlling the reliability of modern aircraft with a digital onboard avionics complex has shown its effectiveness both in a model version and in a full-scale experiment, as close as possible to real operating conditions.

Keywords: thermophysical model, Fourier law, Newton-Richman hypothesis, avionics, low-temperature reliability, thermal compensation method, climatic tests

For citation: Gorbunov V. P., Thermal and physical modeling in assessing the low-temperature reliability of aircraft with a digital onboard system, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 27–41. (In Russ.)

Введение

В настоящей статье рассмотрены вопросы теплофизического моделирования промерзания внутренних зон самолета при оценке низкотемпературной надежности авионики современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом¹.

Тепловой фактор – один из наиболее значимых, ограничивающих работу авионики современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом, поэтому к базовым задачам проектирования авионики относится обеспечение приемлемого теплового режима работы ее систем [1].

При проектировании тепловых режимов авионики широко используются методы математического моделирования. Так, в исследовании теплового состояния отсеков транспортного самолета применили математическую модель отсеков в виде системы одномерных уравнений теплопроводности, описывающих процесс передачи тепловой энергии через теплоизолированную обшивку, и обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих лучисто-конвективный теплообмен элементов отсеков [2]. Результатом исследования стало прогнозирование температуры воздушной среды в кабине самолета при различных режимах полета и параметрах воздушной среды за бортом.

Обзор исследований различных авторов

Рассматривая вопросы надежности авиационного радиоэлектронного оборудования, Дмитриевский Е. Г. [3] обращает внимание на способы тепловой защиты этого оборудования, прежде всего, с позиции недопущения повышенных температур, однако вопросы надежности указанных систем при низких температурах не получили должного освещения.

Показатели надежности узла авиационной электроники при пониженном и нормальном атмосферном давлении в условиях пространственной неоднородности температурного поля печатной платы исследовал Кравченко Е. В. [4]. Использованы методы теплофизического моделирования пространственных температурных полей на основе нелинейного нестационарного уравнения теплопроводности.

¹ Низкотемпературная надежность авионики – показатель, характеризующий работоспособность (интенсивность отказов) авионики при температурах -20°C и ниже, и представляющий собой значимый фактор летной годности и безопасности полетов современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом авионики в указанном температурном диапазоне.

В работе [5] изучены надежность и работоспособность изделий авионики в диапазоне рабочих температур от -60 до $+70$ °С, опыты проводились в климатической камере. Показано, что отмечается падение работоспособности радиоэлементов как при повышенных, так и при пониженных температурах. Указано, что обычно параметры надежности рассчитывают исходя из λ -характеристик и коэффициентов нагрузки элементов.

Анализ и обобщение результатов исследований теплового фактора, выполненных различными авторами, показал, что он является одним из наиболее влияющих на ограничение работы авионики современных самолетов с цифровым бортовым комплексом, при этом низкотемпературный сегмент надежности ВС конкретных типов практически не проработан как в научном, так и в технологическом плане в сравнении с высокотемпературным сегментом.

Состояние проблемы обеспечения летной годности ВС в условиях экстремально низких температур

Проблема обеспечения летной годности, безопасности и надежности в условиях экстремально низких температур носит принципиальный характер как для ВС с аналоговым комплексом авионики, так и для современных воздушных судов с цифровым комплексом авионики [6, 7].

Как показали данные многолетней эксплуатации воздушных судов с цифровым бортовым комплексом авионики, в условиях длительных стоянок при температурах от -30 °С и ниже после оставления самолета в режиме с выключенными силовыми системами без персонала на борту при выводе ВС из промерзшего состояния (Cold Soak) имеют место многочисленные отказы различных систем или отдельных агрегатов, компонентов ВС.

При этом в отношении авионики практикуемые методы устранения отказов предусматривают достаточно радикальные и трудоемкие решения, что продиктовано высокой стоимостью авионики. Для выработки более эффективных методов необходимо иметь представление о таких параметрах, как скорость промерзания внутренних зон самолета в местах расположения систем авионики, а также предельная скорость нарастания температур при обратном процессе вывода ВС из промерзшего состояния

Цели и метод исследования

Цель теплофизического моделирования – получение аналитических зависимостей изменения температуры воздушных судов с цифровым бортовым комплексом авионики при его нахождении на открытых площадках с экстремально низкими температурами. Представлены два тепловых случая:

- охлаждение и промерзание ВС с отключенными тепловыми системами при длительных стоянках на открытых площадках;
- задействование внутреннего источника тепла для недопущения потери надежности систем авионики (метод тепловой компенсации).

В соответствии со вторым началом термодинамики процесс передачи тепла от одной системы (ВС с температурой выше окружающей среды) к другой системе (окружающей среде) происходит до тех пор, пока температуры систем не выровняются [8].

По закону Фурье вектор теплового потока пропорционален перепаду температур [9]:

$$\mathbf{q} = -\lambda \text{grad}(T), \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности. Знак минус означает, что векторы теплового потока и градиента температур направлены в противоположные стороны.

Для решения задачи остывания ВС может быть использована гипотеза Ньютона-Рихмана, по которой интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой определяется соотношением:

$$q = a(T_{\text{ст}} - T_0), \quad (2)$$

где a – коэффициент теплоотдачи, который зависит от геометрии поверхности, скорости обтекания, теплофизических свойств теплоносителя и, вообще говоря, от температурного напора;
 T_0 – температура окружающей среды;
 $T_{\text{ст}}$ – температура стенки (корпуса ВС).

Формулировка задачи теплофизической модели: требуется определить вид зависимости $T(t)$ в случаях использования системы тепловой компенсации или при свободном остывании самолета.

Принятые допущения модели:

1. Температурное поле внутри ВС однородно (температура внутри ВС одинакова во всех точках объема ВС).
2. Корпус ВС – однородный, наличие стеклянных элементов не учитывается.
3. Толщина стенок ВС мала. Пространственное распределение температуры по стенке обшивки ВС не учитывается, температура по стенке усредняется (рис. 1).

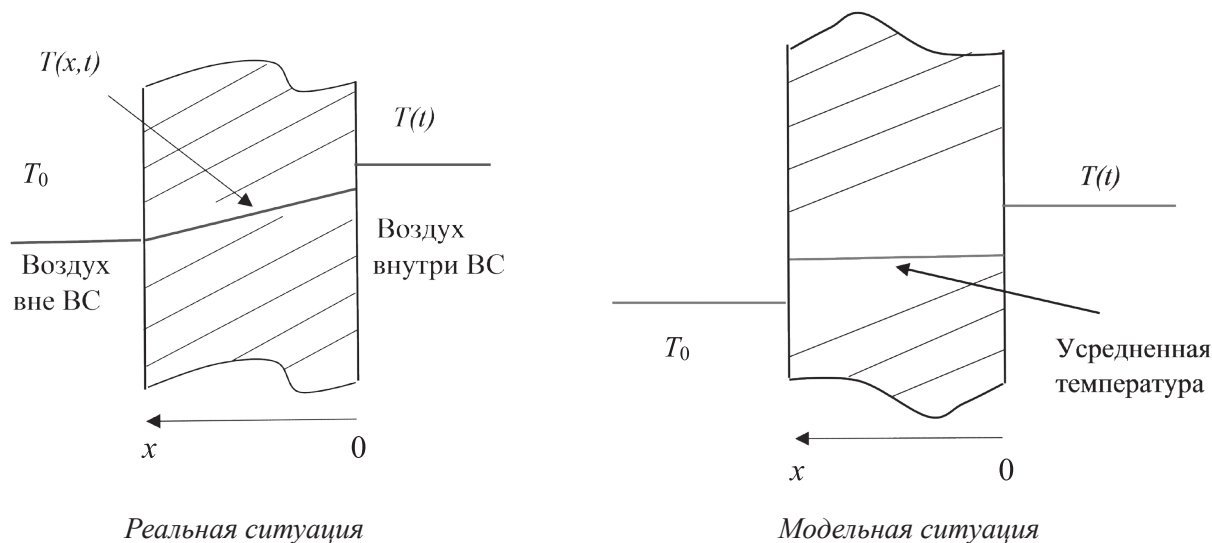


Рис. 1. Распределение температуры по обшивке ВС: реальное и модельное

4. Представляем ВС в виде пространственного тела, поперечное сечение которого имеет форму эллиптической оболочки (рис. 2), и при этом тело вытянуто в направлении перпендикулярном плоскости сечения.

Принятые обозначения:

V – внутренний объем ВС;
 S – площадь поверхности ВС;
 $T(t)$ – температура воздуха внутри ВС в разные моменты времени t ;
 q^* – потребляемая мощность системы тепловой компенсации.

Тогда соотношение (2) может быть записано в виде:

$$q_1 = a_1 [T_0(t) - T_{\text{ст}}(t)]. \quad (3)$$

Поток тепла через единичную внешнюю поверхность в единицу времени

$$q_2 = a_2 [T_{\text{ст}}(t) - T_0(t)]. \quad (4)$$

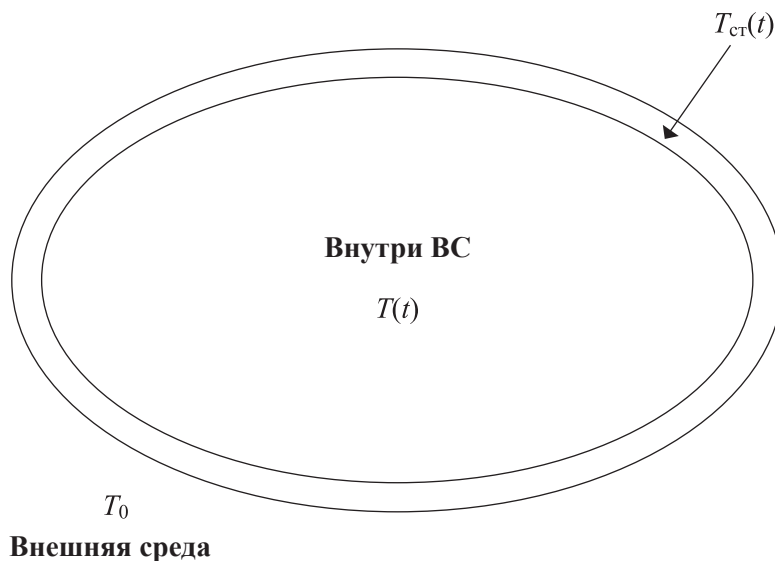


Рис. 2. Температуры вне и внутри эллиптической оболочки

Принимая $a_1=a_2$ и $q_1=q_2$, находим:

$$T_{\text{ст}}(t) = \frac{T_0 + T(t)}{2}. \quad (5)$$

Учитывая, что потоки через внешнюю и внутреннюю поверхность равны, уравнение теплового баланса решаемой задачи в случае отсутствия источников тепла внутри ВС имеет вид:

$$\frac{dU}{dt} = -q_1 S = -q_2 S. \quad (6)$$

В последнем соотношении U – внутренняя энергия воздуха внутри ВС;

$$U = c_v \rho V T(t), \quad (7)$$

где c_v – удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме;
 ρ – плотность воздуха внутри ВС.

Опуская промежуточные математические выкладки, имеем функциональные зависимости процесса охлаждения воздуха внутри ВС (свободное охлаждение ВС на открытой стоянке):

$$T(t) = T_0 + [T(0) - T_0] \exp\left(-\frac{a_1 S}{2c_v \rho V} t\right). \quad (8)$$

Аналогичное соотношение зависимости температуры от времени в случае задействования источника тепла:

$$T(t) = T_0 + [T(0) - T_{0\text{эфф}}] \exp\left(-\frac{a_1 S}{2c_v \rho V} t\right), \quad (9)$$

$$\text{где } T_{0\text{эфф}} = T_0 + \frac{2q^*}{aS}.$$

На рис. 3 показаны графики зависимости изменения температуры от времени при охлаждении воздуха внутри ВС при использовании источника тепла и при его отсутствии.

Соотношения (8) и (9) представляют собой функциональные зависимости процесса охлаждения ВС, с помощью которых описывается ход изменения температуры от времени при

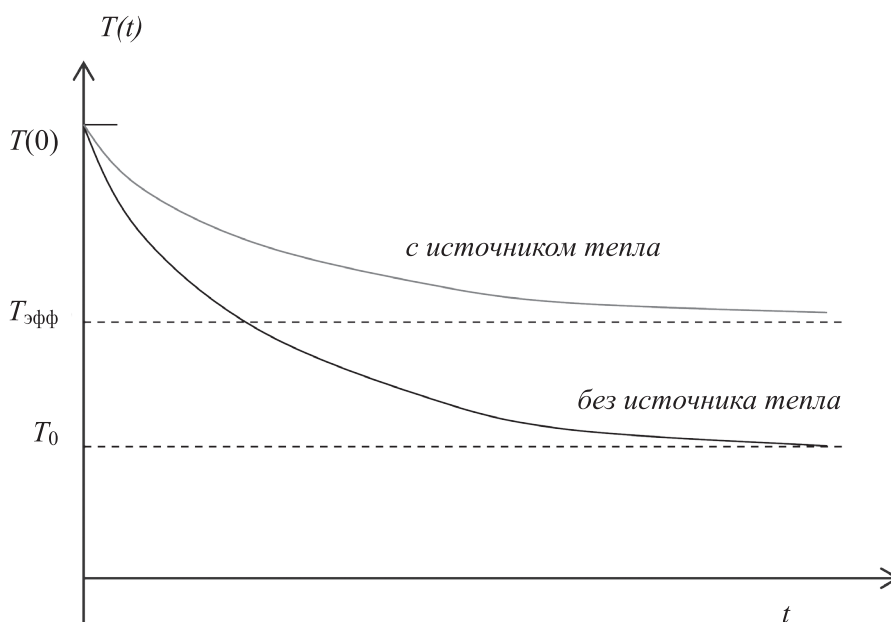


Рис. 3. Графики зависимости изменения температуры от времени при охлаждении воздуха внутри ВС при использовании источника тепла и при его отсутствии

охлаждении воздуха внутри ВС в двух вариантах: при свободном охлаждении ВС на открытой стоянке и при использовании источников тепла.

Как видно из соотношений (8) и (9), зависимости изменения температуры от времени при охлаждении воздуха внутри ВС как при использовании источника тепла, так и при его отсутствии имеют экспоненциальный характер с быстрым падением температуры ВС в первые периоды нахождения ВС на открытой холодной стоянке с последующим замедлением скорости падения температуры по мере приближения температуры воздуха внутри ВС к температуре за бортом. Из этого следует, что при выборе методов недопущения промерзания воздушного судна факторы параметров температуры и времени имеют принципиальное и в определенных обстоятельствах критическое значение:

- фактор температуры – предельное значение температуры, при которой необходимо задействовать систему тепловой компенсации;
- фактор времени – задержка с запуском системы тепловой компенсации может привести к потере надежности и летной годности.

Использование систем тепловой компенсации позволяет регулировать температуру внутри ВС на величину $\Delta T = 2q^*/aS$.

Экспериментальная часть

Отечественная школа проведения сертификационных и климатических испытаний ВС гражданского назначения неразрывно связана с деятельностью головной научной организации отрасли – Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации (ГосНИИ ГА). За почти столетний период своей деятельности институт обеспечил научное сопровождение работ по внедрению в эксплуатацию свыше 100 типов ВС. Значительный вклад был внесен институтом в проведение сертификационных и специальных испытаний и внедрение новых ВС и силовых установок.

Учеными и специалистами ФГУП ГосНИИ ГА проводится большая научная работа по отработке вопросов инструментального оснащения измерительных процессов. Благодаря этому и разработанным институтом средствам, методам (методикам) при проведении экспериментов

обеспечивается необходимое единство измерений, что является основой достоверности полученных результатов при проведении сертификационных испытаний. Все эти вопросы были учтены и реализованы до проведения экспериментов в соответствии с методическими подходами и в формате организационных рамок [11-16].

В свою очередь, разработка и реализация вопросов метрологического обеспечения проведенных испытаний позволили избежать возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в авиационной деятельности, и обеспечить достаточный уровень доверия к полученным результатам [17].

Экспериментальное апробирование теплофизической модели проводилось в г. Якутске в феврале 1996 г. на ВС производства западноевропейского концерна Airbus A310-325 сер. № MSN687 производства 1993 г. (рис. 4), ранее эксплуатировавшемся в авиакомпании "Delta Airlines" (США).

Автор статьи, как ведущий инженер по типу А310-300 авиакомпании «Авиалинии Алмазы Саха», первой авиакомпании в России, освоившей эксплуатацию данного типа ВС в условиях экстремально низких температур Республики Саха (Якутия), принимал непосредственное участие в проведении климатических испытаний, в сборе и оформлении результатов, о чем имеется документально оформленное подтверждение от концерна Airbus.



Рис. 4. Специально подготовленное для натурных испытаний по программе метода глубокой заморозки (Cold Soak Test) ВС Airbus A310-325 сер. № MSN687 на открытой площадке в аэропорту Якутск, февраль 1996 года

Тестовое оборудование FTI при испытаниях А310-325

При испытаниях самолетов А310-325 в 1996 году применялась система регистрации FTI (Flight Testing Instruments), разработанная компанией Airbus и способная функционировать при температуре окружающего воздуха до -50°C .

Для обеспечения наибольшей репрезентативности по контролируемым параметрам и более широкого охвата всех систем самолета, важных для оценки и анализа их работоспособности при воздействии на них низких температур, самолет охватывается сетью датчиков методами как прямого подключения непосредственно к системам самолета, так и расположения на интересующих поверхностях конструкции ВС. Таким образом, система сбора и регистрации параметров FTI при

испытаниях в 1996 году на самолете А310 обеспечивала запись 250 параметров со скоростью 920 слов в секунду со следующей организацией:

- 77 аналоговых параметров температуры;
- 1 термopapa;
- 2 регистратора силы тока;
- 3 регистратора напряжения;
- 6 датчиков давления;
- 3 датчика положений;
- 14 точек подключения к шинам ARINC 429 (144 знака);
- 14 дискретных параметров срабатывания разовых команд: вкл/выкл.

Блок сбора и регистрации параметров размещается в отсеке авионики в термозащитной оболочке. Управление и непрерывный контроль поведения самолетных систем осуществляется системой дистанционного управления из расположенного рядом со стоянкой самолета специально утепленного и оборудованного автомобиля. Датчики температуры закрепляли на корпусах наиболее важных компьютеров систем навигации и автопилота, расположенных в отсеке авионики на этажерках 80VU и 90VU (рис. 5):

- FMC – Flight Management Computer – параметр 215 007;
- FAC – Flight Augmentation Computer – параметр 215 009;
- FCC – Flight Control Computer – параметр 215 010;
- ADF – Air Data Finder – параметр 215 008;
- GPCU – Ground Power Control Unit – параметр 215 012.

Места расположения датчиков температуры в кабине экипажа, отсеке авионики и на корпусах компьютеров с обозначениями параметров в системе регистрации показаны на рис. 5.



Рис. 5. Блок-схема расположения датчиков регистрации параметров и температуры полей в кабине экипажа и отсеке авионики

В феврале 2004 г., в условиях экстремально низких температур аэропорта Якутск, проводились климатические и сертификационные испытания на ВС А319-112 (семейство ВС А320) сер. № MSN1742 производства 2002 года из флота Air Canada (Канада).

Автор, будучи руководителем представительства концерна Airbus по обеспечению эксплуатации в России, принимал непосредственное участие в организации и проведении климатических испытаний, в сборе и оформлении результатов, о чем имеется документально оформленное подтверждение от концерна Airbus.

Тестовое оборудование FTI при испытаниях Airbus A319 (A320 Family)

При проведении испытаний ВС А319-112 с цифровым бортовым комплексом в феврале 2004 года система регистрации параметров должна была решать более широкую задачу как по количеству регистрируемых параметров, так и по их более высокой точности и удобству дальнейшего анализа получаемых данных. Система регистрации параметров (FTI) была подключена уже к примерно 140 точкам измерений с использованием трех независимых и полностью автономных систем регистрации цифровых и аналоговых параметров:

VAP (Valise d'Acquisition Portable) – переносной аппарат регистрации данных:

Автономная система получения и записи параметров.

Размещается в салоне в термо-защитной оболочке.

Управление и включение записи с пульта дистанционного управления, длина кабеля 40 м.

Система получения данных: 5 аналоговых карт памяти, 7 цифровых карт памяти.

Виды параметров: температура, давление и их разница, сила тока, напряжение на шинах.

Общее количество регистрируемых параметров: 48.

Электропитание от батарей, запас времени работы ограничен 11 ч.

CASTOR – аппарат записи:

Параллельно с VAP позволяет записывать основные параметры для сертификации в случае отказа VAP.

Система получения и регистрации аналоговых данных.

Программируемая многоканальная система. Несинхронизируемая система: частота разделена по количеству каналов записи.

Регистрируемый параметр: температура.

Общее количество регистрируемых параметров: 26.

Время работы не ограничено.

Размещается в теплом месте ($>-10^{\circ}\text{C}$).

SONY – аппарат записи:

Высокочастотный аппарат записи.

Размещается в теплом месте.

Система получения данных: 8 каналов.

Values recorded: vibrations (accelerations in x-, y-, z-axis) on IDG.

Периодичность записи: максимум 180 мин при нормальной скорости (8,15 мм/с) или 90 мин при удвоенной скорости (16,30 мм/с).

Все три системы регистрации VAP, CASTOR и SONY использовались по разработанной дневной циклограмме согласно программе испытаний (рис. 6).

Система визуализации ARINC параметров позволяет с высокой точностью отследить все отклонения при циклах остывания и восстановительном прогреве систем самолета.

Дневной цикл :

Циклы записи и режимы питания регистраторов параметров VAP - CASTOR - SONY

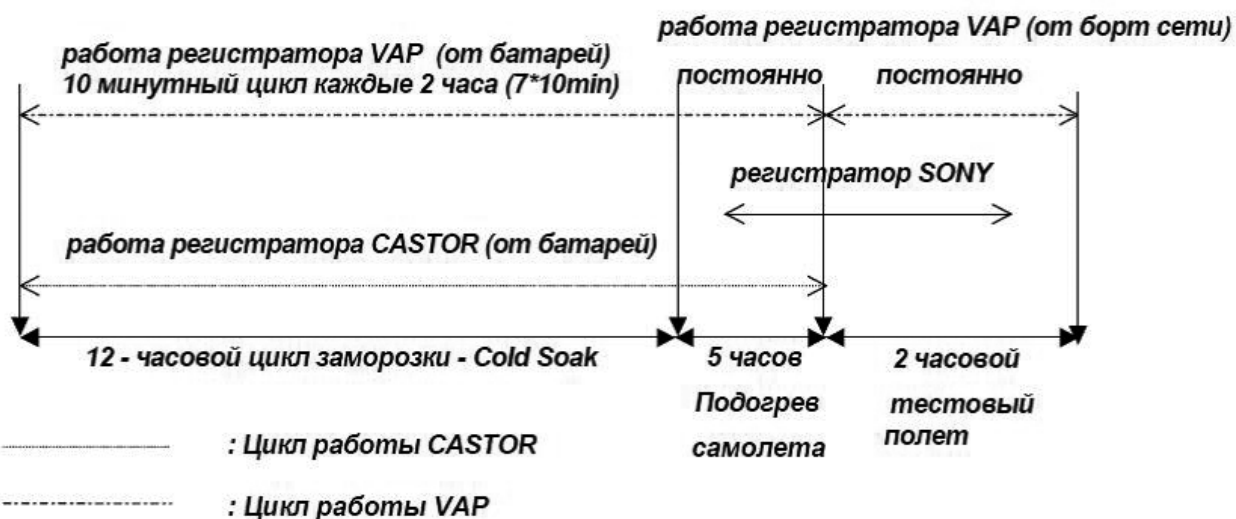


Рис. 6. Дневная циклограмма работы систем регистрации VAP, CASTOR и SONY

Точность измерения параметров температуры

Примененное тестовое оборудование FTI позволило измерять температуры в диапазоне от 0 до -50°C с точностью от 0,1 до 0,15 $^{\circ}\text{C}$. Точность измерения температур гидравлических жидкостей составила 0,25–0,4 $^{\circ}\text{C}$. Указанные характеристики обеспечили необходимую достоверность полученных результатов испытаний.

Результаты проведенных исследований

Экспериментально получено, что значения температуры полей достигают критического значения ниже -40°C через 9–12 ч. При этом наиболее высокая скорость охлаждения наблюдается в отсеке авионики, что говорит о более высокой температурной уязвимости компонентов и систем комплекса авионики.

Рассмотрим случай охлаждения ВС без использования систем тепловой компенсации: в первый момент ($t=0$) температура ВС составляет $+25^{\circ}\text{C}$, одинаковая по всему объему, а температура окружающей среды -55°C ; температура окружающей среды не меняется на протяжении всего периода остывания ВС; при $t=\infty$ температура ВС и окружающей среды -55°C .

С учетом указанных условий запишем:

$$\beta = \ln[T(t) + 55^{\circ}\text{C}]. \quad (10)$$

При $t=0$ $T(t)=25^{\circ}\text{C}$, при $t \rightarrow \infty$ $T(t)=-55^{\circ}\text{C}$.

На рис. 7 приведены модельные экспоненциальные графики зависимости температуры от времени остывания ВС, построенные по соотношению (10) при разных β .

Коэффициент β определяет скорость остывания ВС.

На рис. 8 представлен случай, когда ВС с выключенными тепловыми системами свободно охлаждался до низкой температуры (-35°C), после чего были задействованы средства МТК – метода тепловой компенсации, и температура быстро поднималась.

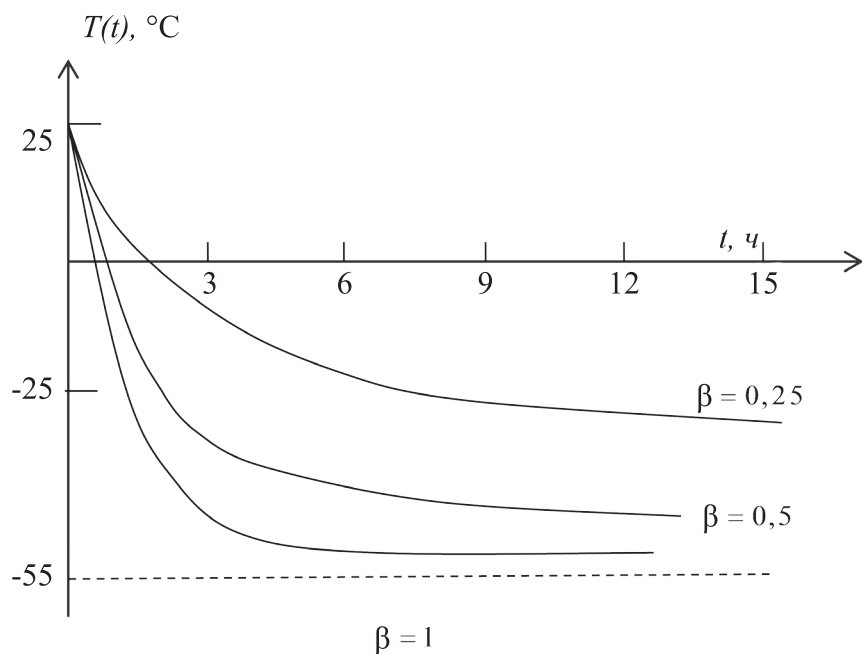


Рис. 7. Модельные графики зависимости температуры от времени при остывании ВС, построенные по соотношению (10)

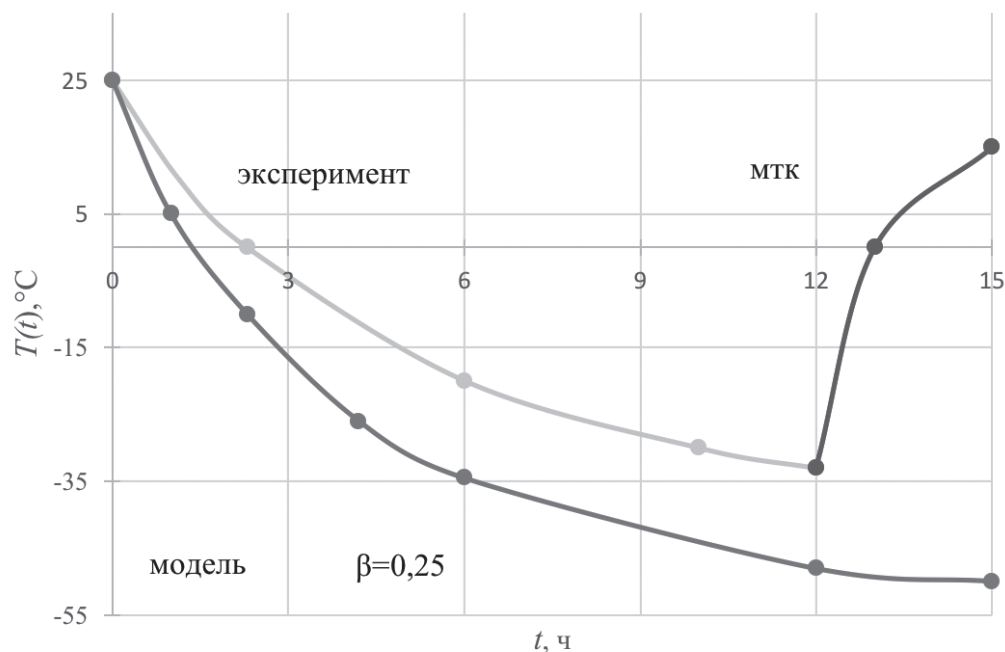


Рис. 8. Графики зависимостей температуры от времени остывания воздушного судна с цифровым бортовым комплексом авионики (экспериментальные, при использовании МТК, и модельные данные)

Экспериментальная кривая делится на два участка:

- участок свободного остывания ВС с монотонным падением от $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до предельно допустимой отрицательной температуры, при которой включаются системы тепловой компенсации;
- участок быстрого подъема температуры в результате работы системы тепловой компенсации.

Сопоставление экспериментальных и модельных данных указывает на схожесть характера кривых, и, таким образом, можно говорить о правомерности гипотезы об экспоненциальном характере температурной кривой остывания ВС.

На рис. 9 представлен экспериментальный случай, когда технологические средства МТК, а именно экспериментально замкнутый контур воздушного потока системы обдува компьютеров отсека авионики, были задействованы непосредственно после выполнения очередного экспериментального полета. Цель эксперимента – предотвращение потери надежности систем авионики за счет недопущения существенного промерзания ВС и обеспечение комфортного температурного режима (не ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$), обеспечивающего полную работоспособность авионики и ее безопасное включение после 12 ч межрейсового нахождения в условиях экстремально низкой температуры внешнего воздуха ниже $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$.

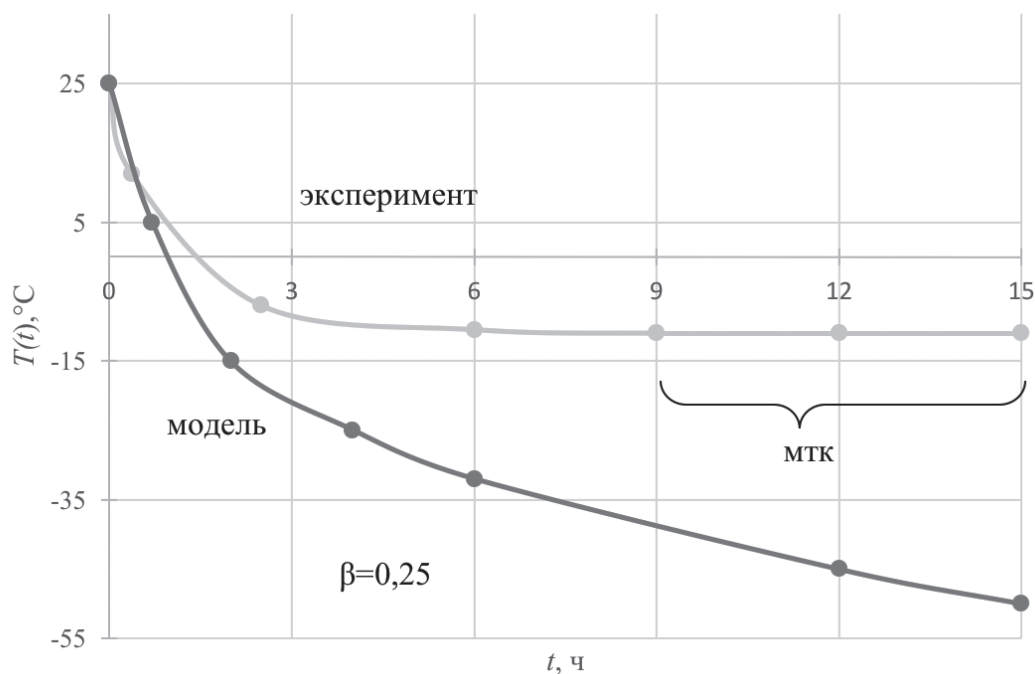


Рис. 9. Полученная экспериментальным путем кривая стабилизации температуры в отсеке авионики с использованием средств МТК

Как видно из хода экспериментальных кривых, поставленная цель была достигнута благодаря использованию ресурсов МТК. Начиная с девятого часа нахождения ВС на открытой стоянке, искусственно созданный режим тепловой поддержки с помощью закольцованного и относительно нагретого воздуха системы обдува позволил температуре стабилизироваться. Циркуляция воздуха, прошедшего через рубашки охлаждения компьютеров, позволила выйти на устойчивый температурный режим, при котором минимальная температура составляла $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Описанная технология управления тепловым режимом внутри воздушного судна прошла успешную апробацию на современных воздушных судах с цифровым бортовым комплексом авионики в условиях экстремально низких температур.

Заключение

1. Показано, что тепловой фактор – один из наиболее значимых факторов, ограничивающих работу авионики ВС с цифровым бортовым комплексом, поэтому к базовым задачам проектирования относится обеспечение приемлемого теплового режима работы систем авионики.

2. С использованием закона Фурье и гипотезы Ньютона-Рихмана выработана теплофизическая модель промерзания внутренних зон самолета при оценке низкотемпературной надежности современных воздушных судов с цифровым бортовым комплексом авионики.

3. На основе теплофизического моделирования показано, что зависимости изменения температуры от времени при охлаждении воздуха внутри ВС как при использовании источника тепла, так и при его отсутствии имеют экспоненциальный характер с быстрым падением температуры ВС, что находит подтверждение по данным экспериментального испытания самолета Airbus A310-325 в натурных условиях при экстремально низких температурах.

4. Метод тепловой компенсации как средство управления надежностью современного воздушного судна с цифровым бортовым комплексом авионики показал свою эффективность как при модельном варианте, так и на эксперименте.

Список источников

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики: термодинамика и молекулярная физика. Москва: Физматлит, 2006. 345 с.
2. Николаев В. Н. Математическое моделирование теплового состояния отсеков транспортного самолета // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2010. № 3. С. 3–14.
3. Дмитриевский Е. Г. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационной надежности авиационного радиоэлектронного оборудования: Учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУАП, 2001. 88 с.
4. Кравченко Е. В. Надежность работы узла авиационной радиоэлектроники в стационарном режиме работы при пониженном атмосферном давлении // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 186 (12). С. 102–108.
5. Жаринов И. О., Жаринов О. О., Парамонов П. П., Костишин М. О., Сударчиков С. А. Принципы построения автоматических систем в канале управления тепловыми и светотехническими характеристиками бортовых средств индикации // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 12. С. 34–38.
6. Рухлинский В. М. Повышение надежности и безопасности полетов самолетов на основе совершенствования процесса их технической эксплуатации в условиях Крайнего Севера: дисс. канд. техн. наук / В. М. Рухлинский; Московский институт инженеров гражданской авиации. Москва, 1988.
7. Горбунов В. П. Метод поддержания летной годности воздушных судов с бортовым цифровым комплексом в условиях экстремально низких температур: дисс. канд. техн. наук / В. П. Горбунов; Московский государственный технический университет гражданской авиации. Москва, 2018.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Том V. Часть 1. Теоретическая физика. 3-е изд., доп. Москва: Наука, 1976. 584 с.
9. Коган Е. А., Лопаницын Е. А. Ряды Фурье и дифференциальные уравнения математической физики: учебное пособие. Москва: МАМИ, 2012. 137 с.
10. A310-324. Cold Weather Test Certification Report, Compiled by AI/EA-T under ref. 414.0578/96, Vol. 1, 2, Airbus, Toulouse, 1996.
11. Богоявленский А. А. Методология и практика обеспечения единства измерений при эксплуатации наземных автоматизированных систем контроля бортового оборудования воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 31–41.
12. Богоявленский А. А., Боков А. Е., Матюхин К. Е. Метрологическое обеспечение эксплуатационных испытаний наземной автоматизированной системы контроля: методология и анализ результатов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 219 (9). С. 137–143.
13. Богоявленский А. А., Боков А. Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2012-11-14-22>
14. Богоявленский А. А. Аттестация испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 199 (1). С. 126–133.
15. Богоявленский А. А., Боков А. Е., Ермолаева О. Л., Матюхин К. Е. О сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых в гражданской авиации // Труды ГосНИИ ГА. 2010. Вып. 311. С. 86–90.

16. Богоявленский А. А., Ермолаева О. Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2 (313). С. 24–29.
17. Богоявленский А. А., Боков А. Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>

References

1. Sivukhin D. V., *Obshhiy kurs fiziki: termodinamika i molekulyarnaya fizika*, Moscow, Phizmatlit Publ., 2006, 345 p. (In Russ.)
2. Nikolaev V., Mathematical Simulation of Thermal State of Transport Airplane Compartments, *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering*, 2010, no. 3, pp. 3–14. (In Russ.)
3. Dmitrievsky E. G., *Konstruktersko-tekhnologicheskoe obespechenie e`kspluatatsionnoy nadezhnosti aviacionnogo radioelektronnogo oborudovaniya*, St. Petersburg, SPbGUAP Publ., 2001, 88 p. (In Russ.)
4. Kravchenko E. V., Reliability of the aviation radio electronics unit in a stationary mode of operation at low atmospheric pressure, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2013, no. 186 (12), pp. 102–108. (In Russ.)
5. Zharinov I. O., Zharinov O. O., Paramonov P. P., Kostishin M. O., Sudarchikov S. A., Principles of automatic system design for control over thermal and lighting characteristics of airborne indication means, *Journal of instrument engineering*, 2014, vol. 57, no. 12, pp. 36–37. (In Russ.)
6. Rukhlinsky V. M. *Povyshenie nadezhnosti i bezopasnosti poletov samoletov na osnove sovershenstvovaniya protsessa ikh tekhnicheskoy ehkspluatatsii. Diss. kand. tekhn. Nauk [Improving the reliability and safety of aircraft flights based on improving the process of their technical operation in the conditions of the Far North, Cand. eng. sci diss]*, Moscow, MIIGA Publ., 1988. (In Russ.)
7. Gorbunov V. P. *Metod podderzhaniya letnoj godnosti vozdukhnykh sudov s bortovym tsifrovym kompleksom v usloviyakh ehkstremaal`no nizkikh temperatur. Diss. kand. tekhn. nauk [The method of maintaining the airworthiness of aircraft with an onboard digital complex in extremely low temperatures. Cand. eng. sci diss]*, Moscow, MGTU GA Publ., 2018. (In Russ.)
8. Landau L. D., Lifshits E. M., *Statisticheskaya fizika, tom V, chast` 1. Teoreticheskaya fizika [Statistical physic, vol. V, part 1. Theoretical Physics]*, 3rd ed., add., Nauka Publ., 1976, 584 p. (In Russ.)
9. Kogan E. A., Lopanitsyn E. A., *Ryady Fur`e i differentsial`nye uravneniya matematicheskoy fiziki. Uchebnoe posobie [Fourier series and differential equations of mathematical physics. A textbook]*, MAMI Publ., 2012, 137 p. (In Russ.)
10. A310-324 Cold Weather Test Certification Report, Compiled by AI/EA-T under ref. 414.0578/96, Vol. 1, 2, Airbus, Toulouse, 1996.
11. Bogoyavlenskiy A. A. Methodology and practice of ensuring the uniformity of measurements during the operation of ground-based automated control systems for aircraft onboard, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 37, pp. 31–41. (In Russ.)
12. Bogoyavlenskiy A. A., Bokov A. E., Matyukhin K. E., Metrological support of operational tests of a ground-based automated control system: methodology and analysis of results, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2015, no. 219 (9), pp. 137–143. (In Russ.)
13. Bogoyavlenskiy A. A., Bokov A. E., Certification software special SI air transport, *The world of measurement*, 2012, no. 11, pp. 14–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2012-11-14-22>
14. Bogoyavlenskiy A. A., Certification of test equipment of components and assemblies of aviation equipment, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2014, no. 199 (1), pp. 126–133. (In Russ.)
15. Bogoyavlenskiy A. A., Bokov A. E., Ermolaeva O. L., Matyukhin K. E., On certification of software for measuring instruments and information-measuring systems used in civil aviation, *Proceedings of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2010, issue 311, pp. 86–90. (In Russ.)

16. Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L., On the organization and conduct of work to ensure the uniformity of measurements in air, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2012, no. 2 (313), pp. 24–29. (In Russ.)

17. Bogoyavlenskiy A. A., Bokov A. E. Statement of the problem of development of methods of management of metrological risks of negative situations in aviation activity, *The world of measurement*, 2013, no. 10, pp. 3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>

Информация об авторе

Горбунов Владимир Павлович, кандидат технических наук, генеральный директор, Авиакомпания «Якутия», Якутск, Россия, vlad.gorbunov@bk.ru; gorbunov.vladimir@yakutia.aero

Author information

Gorbunov Vladimir P., Candidate of Sciences (Engineering), General Director, Yakutia Airlines, Yakutsk, Russia, vlad.gorbunov@bk.ru; gorbunov.vladimir@yakutia.aero

*Статья поступила в редакцию 28.12.2021; одобрена после рецензирования 12.05.2022; принята к публикации 19.05.2022.
The article was submitted 28.12.2021; approved after reviewing 12.05.2022; accepted for publication 19.05.2022.*

Научная статья

УДК 629.735.054:629.735.066

ДОРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КПА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОВЕРКИ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В. А. МХИТАРЯН¹, А. И. КОЗЛОВ², Н. Ф. МАРТИРОСЯН¹, О. Н. ЧЕРНЫХ¹, А. А. ПАРШИКОВ¹

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

² Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, Ульяновск, Россия

Аннотация. На современных воздушных судах гражданской авиации установлены прецизионные системы воздушных сигналов (СВС). Для их проверки в эксплуатации необходимо иметь контрольно-проверочную аппаратуру (КПА) соответствующего класса точности. В связи с тем, что по метрологическим характеристикам отечественная аппаратура не подходит для проверки точных СВС воздушных судов гражданской авиации, используется иностранная. Ульяновским конструкторским бюро приборостроения был разработан и включен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации генератор давлений малогабаритный цифровой (ГДМЦ-1). В статье изложены рекомендации по замене иностранной аппаратуры для проверки СВС на отечественную после доработки существующего генератора давлений, проанализированы точностные характеристики современных отечественных систем СВС по каналам высоты и скорости полета, основные технические характеристики иностранной – ADTS и отечественной – ГДМЦ-1 контрольно-проверочной аппаратуры. Описаны преимущества использования доработанной аппаратуры, приведены этапы работ, необходимые для ее внедрения. Применение аппаратуры, по техническим характеристикам не уступающей зарубежной, позволит проверять точные системы СВС воздушных судов с использованием нового класса отечественной КПА, выполнить задачу импортозамещения и снижения стоимости аппаратуры.

Ключевые слова: воздушное судно, генератор давлений, контрольно-проверочная аппаратура, технические характеристики, погрешность, доработка, система воздушных сигналов

Для цитирования: Мхитарян В. А., Козлов А. И., Мартиросян Н. Ф., Черных О. Н., Паршиков А. А. Доработка отечественной КПА для обеспечения проверки систем воздушных сигналов современных воздушных судов гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С 42–50.

REVISION OF THE DOMESTIC CONTROL AND TEST EQUIPMENT TO ENSURE CHECKS OF AIR SIGNAL SYSTEMS OF MODERN CIVIL AVIATION AIRCRAFT

V. A. MKHITARYAN¹, A. I. KOZLOV², N. F. MARTIROSYAN¹, O. N. CHERNYKH¹, A. A. PARSHIKOV¹

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

² Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau, Ulyanovsk, Russia

Abstract. For operational checking in of precision air data systems (ADS) which installed on modern civil aviation aircraft, it is necessary to have appropriate accuracy class control and test equipment (CTE). Due to the fact that, according to metrological characteristics, the domestic CTE is not suitable for checking the exact ADS

of civil aviation aircraft (CAA), a foreign CTE is used. The Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau developed and included a small-sized digital pressure generator GDMC-1 in the State Register of the Russian Federation. The article contains recommendations for replacing foreign CTE for checking ADS with domestic equipment after refining the existing pressure generator. The accuracy characteristics of modern domestic ADS and the main technical characteristics of the foreign equipment – ADTS and the domestic GDMC-1 are analyzed in terms of altitude and flight speed channels. The advantages of using the modified equipment are described, the stages of work necessary for its implementation are given. Application of modified equipment, which is not inferior to foreign analogues in terms of technical characteristics, makes it possible to check the ADS technical systems of civil aviation aircraft by new class of domestic CTE.

Keywords: aircraft, pressure generator, control and test equipment, technical characteristics, error, revision, air data system

For citation: Mkhitarian V. A., Kozlov A. I., Martirosyan N. F., Chernykh O. N., Parshikov A. A., Revision of the domestic control and test equipment to ensure checks of air signal systems of modern civil aviation aircraft, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 42–50. (In Russ.)

Введение

При разработке новых типов высотно-скоростного оборудования воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА) большое внимание всегда уделялось одновременному проектированию и внедрению в эксплуатацию контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) для регламентных проверок этого оборудования при всех видах испытаний и в технологических процессах технического обслуживания (ТО). КПА должна соответствовать требованиям по точностным, надёжностным, эксплуатационным характеристикам для возможности ее применения в организациях по ТО [1].

В последнее время эта традиционная практика не всегда выполнялась, что приводило к необходимости применения КПА зарубежного производства.

Применяемая КПА для контроля параметров СВС

На современных ВС, таких как МС-21, Ми-38, Ми-171А2, а также на планируемых к внедрению в ближайшем будущем Ил-114, Ка-32А11М установлены прецизионные СВС. Погрешности измерения этих систем приведены в табл. 1, в единицах, используемых для индикации на приборах, устанавливаемых на ВС.

Таблица 1

Погрешности современных систем воздушных сигналов

Тип СВС	Погрешности измерения		
	ΔH	$\Delta V_{пр}$	ΔV_y
МИВД	От ± 15 до ± 80 фут	От ± 1 до ± 5 уз	± 30 фут/мин или 5 %, что больше
ИСПП-21	От ± 15 до ± 80 фут	От ± 1 до ± 5 уз	± 30 фут/мин или 5 %, что больше
ВВД-21(без учета погрешности МВД)	От ± 2 до ± 7 фут	От $\pm 0,14$ до $\pm 0,4$ уз	± 30 фут/мин или 5 %, что больше
ИСПП-4	От ± 15 до ± 80 фут	От ± 1 до ± 8 уз	± 30 фут/мин или ± 5 %, что больше

Продолжение таблицы 1

Тип СВС	Погрешности измерения		
	ΔH	$\Delta V_{пр}$	ΔV_y
ВВС-226	От ± 8 до ± 18 м	От $\pm 9,0$ до $\pm 9,0$ км/ч	От $\pm 0,25$ до $\pm 3,00$ м/с
ИСРП-4-1	$\pm(5+0,001H)$ м	От $\pm 3,5$ до ± 10 км/ч	От $\pm 0,3$ до $\pm 0,8$ м/с
ВВС-В3	От ± 4 до ± 7 м	От ± 2 до ± 8 км/ч	$\pm(0,3+0,01V_y)$ м/с
ИСРП-5	$\pm(5+0,001H)$ м	От $\pm 3,5$ до ± 10 км/ч	От $\pm 0,3$ до $\pm 0,8$ м/с

Для проверки точностных характеристик СВС должна была быть разработана отечественная КПА нового класса по отдельному техническому заданию. Так, в технической документации на многофункциональный измеритель воздушных данных (МИВД), записаны следующие требования:

- «МИВД должен обеспечивать: ... в) проверку технического состояния при помощи наземных технических средств. Полнота контроля не менее 0,99» [2].
- Должна быть обеспечена возможность контроля демонтированного с объекта изделия с помощью наземной автоматизированной системы контроля (НАСК) с полнотой контроля не менее 0,99. Разработка НАСК должна производиться по отдельному техническому заданию и договору.
- Проверка МИВД на герметичность и точность на объекте при регламентных работах через 12 месяцев [3, 4].

Однако российской промышленностью такая КПА не разрабатывалась. Поскольку по метрологическим характеристикам существующая отечественная КПА не подходит для проверки современных СВС, используется КПА зарубежного производства. Так, для проверки систем МИВД при проведении сертификационных испытаний использовалась аппаратура типа ADTS (фирма Druck), а в НАСК, предназначенной для проверки демонтированного бортового оборудования (разработка АО «БЕТА ИР», Таганрог), в качестве модуля – калибратор параметров воздушной среды MPS (фирма Marchiori).

Проблемными вопросами применения этих систем в настоящее время являются:

- большая вероятность непоставки в российские эксплуатационные подразделения (в условиях существующих санкций) экземпляров иностранной КПА;
- высокая стоимость иностранной аппаратуры.

Цель данной статьи – показать актуальность проблемы создания отечественной КПА для обеспечения контроля в эксплуатации современных СВС, установленных на ВС ГА, а также целесообразность доработок отечественной КПА другого ведомства для возможности ее использования для нужд ГА.

По техническому заданию Ульяновским конструкторским бюро приборостроения (УКБП) разработан, прошел успешно все виды испытаний (с участием авторов статьи) с положительными результатами и включен в Государственный реестр средств измерений военного назначения Российской Федерации генератор давлений малогабаритный (для диапазона высот 0–30 км) ГДМЦ-1 (Свидетельство об утверждении типа средств измерений № 68950). При создании генератора конструкторами УКБП (при участии автора статьи Козлова А. И.) использовался передовой зарубежный и отечественный опыт в создании высокоточной КПА для проверки СВС ВС [5, 6], блоков пневморегулирования [8, 9], модулей измерения и вычисления. Процесс разработки ГДМЦ-1 сопровождался решением задач с применением теории измерений и автоматического управления [7]. В качестве первичных измерительных элементов применены вибросредоточные датчики давления производства УКБП. В процессе решения поставленных задач были разработаны оригинальные конструктивные решения и алгоритмы вычислений, на которые в настоящее время оформляются патенты.

Этот генератор по своим основным метрологическим характеристикам, таким как диапазон задания и измерения абсолютного давления, предел допускаемой основной и дополнительной погрешности, не уступает аппаратуре класса ADTS [1, 11], что подтверждает возможность его применения для проверок современных СВС. В таблице 2 приведены сравнительные характеристики аппаратуры ГДМЦ-1 и ADTS-405 (ADTS-554 имеет аналогичные технические характеристики).

Таблица 2

Сравнение характеристик генераторов давлений ГДМЦ-1 и ADTS 405

Технические характеристики	ГДМЦ-1	ADTS 405
Электропитание изделия	От сети переменного тока 50 Гц напряжением 220 В	От сети переменного тока 47÷440 Гц напряжением 88-260 В
Потребляемая мощность	без обогрева ≤ 100 ВА с обогревом ≤ 400 ВА	200 ВА
Диапазон измерения абсолютного статического давления	5÷900 мм рт. ст. (6,67÷1199,90 гПа)	26÷1016 мм рт. ст. (35÷1355 гПа)
Диапазон измерения абсолютного полного давления	5÷2100 мм рт. ст. (6,67÷2799,77 гПа)	26÷2625 мм рт. ст. (35÷3500 гПа)
Погрешность изделия: - по каналу статического давления; - по каналу полного давления	$P_c \pm 0,008$ % ВПИ; $P_p \pm (0,008$ % ВПИ + $0,014$ % ИВ)	$P_c \pm 0,008$ % ВПИ $P_p \pm (0,007$ % ВПИ + $0,012$ % ИВ)
Ориентировочная стоимость (\$ тыс.)	< 70 (4 выхода)	100 (2 выхода), за 2 комплекта
Количество выходов	4	ADTS 405 – 2 ADTS 554 – 4
Необходимое количество для проверок на МС-21, шт.	1	ADTS 405 – 2 ADTS 554 – 1

Примечания: ВПИ – верхний предел измерения; ИВ – измеряемая величина.

Генератор давлений ГДМЦ-1 состоит из двух блоков: № 1 – ГД-1 (генератор – задатчик и измеритель давлений и блок насосов для создания разрежения воздуха в диапазоне высот 0–15 км) и № 2 – БК-1ГД (блок насосов для создания разрежения воздуха в диапазоне высот 15–30 км) (рис. 1).

ГД-1 является основным блоком и предназначен для измерения и автоматического ввода в объект контрольных заданных значений уровня давлений при наземном контроле аэрометрических комплексов и приборов.

Доработка отечественной КПА

Доработка ГДМЦ-1 сводится к замене второго блока комплекта аппаратуры на первый. Для проверок систем СВС второй блок не требуется (выше 15 км ВС ГА не летают). Поэтому целесообразно, чтобы доработанный вариант состоял из двух одинаковых блоков ГД-1. На рис. 1 представлен внешний вид генератора с его блоками – генератор ГД-1 и блок насосов БК-1ГД, а также показана схема подсоединения КПА к приемникам статического и полного давлений. Как видно из схемы, каждый из генераторов ГД-1, так же как и ADTS-405, имеет по одному выходу статического и полного давлений для соединения через насадки с приемниками

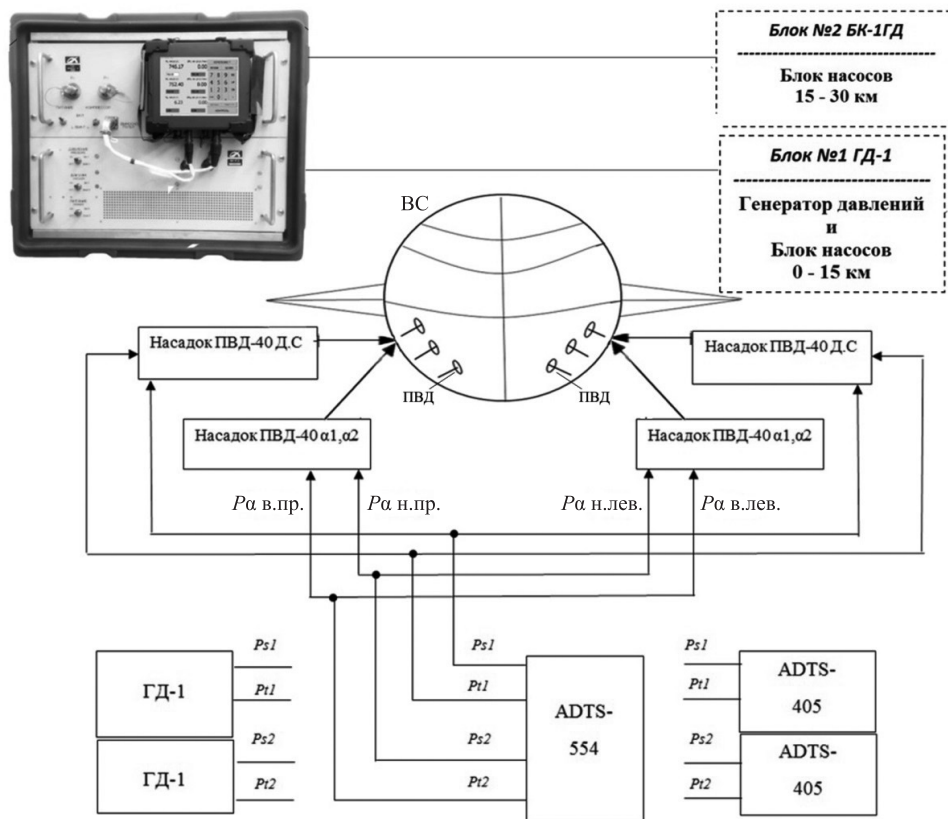


Рис. 1. Внешний вид ГДМЦ-1 и схема подсоединения контрольно-проверочной аппаратуры:

P_s , P_t – соответственно статическое и полное давление; P_a – разность давлений от статических отверстий верхней и нижней плоскости приемников воздушных давлений МИВД;
 P_a в.пр., P_a н.пр. – соответственно давление для определения угла атаки верхней и нижней статики правого борта; P_a н.лев., P_a в.лев. – соответственно давление для определения угла атаки нижней и верхней статики левого борта

воздушных давлений ВС. Доработанный ГДМЦ вместо двух выходов будет иметь четыре – два по статическому и два по полному давлению (например, для самолета типа МС-21). Для таких же проверок могут использоваться или два комплекта ADTS-405 или один комплект ADTS-554. Для ВС, использующих для проверки два выхода, достаточно варианта комплектации с одним ГД-1.

29.09.2018 в АО «Аэроприбор-Восход» прошло техническое совещание с участием авторов, АО «УКБП», НИИ «Аэронавигации», ПАО «Корпорация «Иркут», ООО «ОАК-Центр комплексирования». В п. 3 подписанного участниками Протокола указано: «С целью подтверждения возможности проверок МИВД генератором ГДМЦ-1 АО «УКБП» и АО «Аэроприбор-Восход» провести совместную отработку данных изделий и по результатам отработки составить протокол».

Возможность проверки системы МИВД вне объекта была продемонстрирована на предприятии УКБП в декабре 2018 года в рамках лабораторных исследовательских работ по изучению функциональных и метрологических характеристик МИВД путем задания тестовых сигналов с помощью генераторов ГД-1 и ADTS-405 в приемники статического и полного давлений и в приемники давлений для определения местного аэродинамического угла атаки самолета. В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены полученные по данным протоколов исследований при участии автора статьи Козлова А. И. (участие в организации и проведении проверок) результаты сравнения измеряемых МИВД давлений по каналам числа М ($P_{п_Млев}$ – полное давление для определения числа М в гектопаскалях) и угла атаки ($P_{a1лев}$ – давление для определения угла атаки в гектопаскалях) самолета при подаче в соответствующие приемники тестовых сигналов сначала от ГД-1, потом от ADTS-405.

Из графиков рис. 2 и 3 видно, что значения разности погрешностей измеряемых МИВД абсолютных давлений в диапазоне от 100 до 1100 гПа при задании давления с помощью ГДМЦ-1 и ADTS-405 не превышают 0,1 гПа, т. е. практически совпадают.

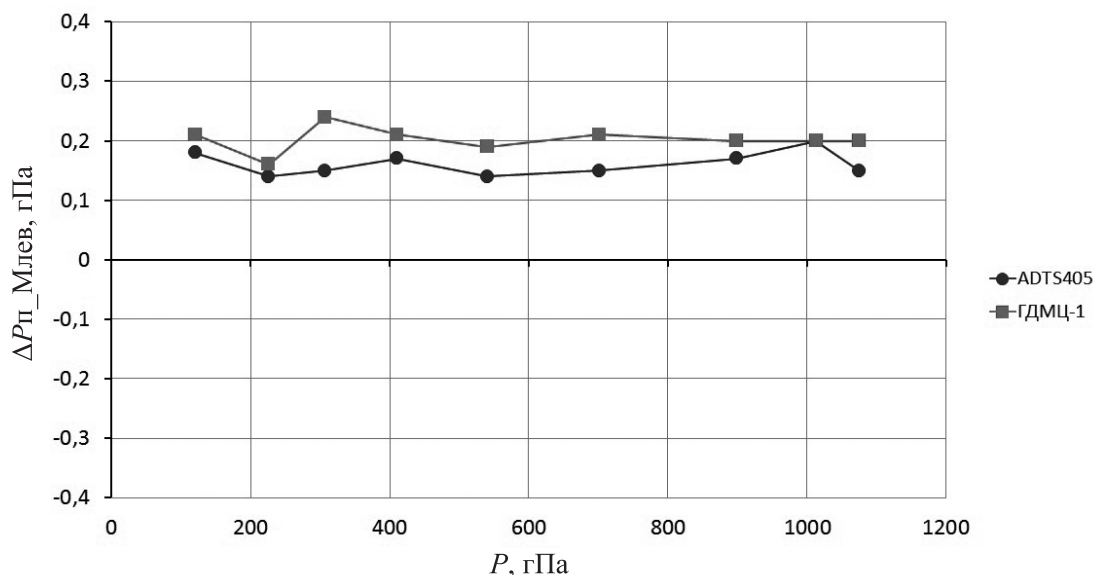


Рис. 2. График зависимости погрешности $\Delta P_{п_Млев}$ от задаваемых с помощью ГДМЦ-1 и ADTS-405 абсолютных давлений P

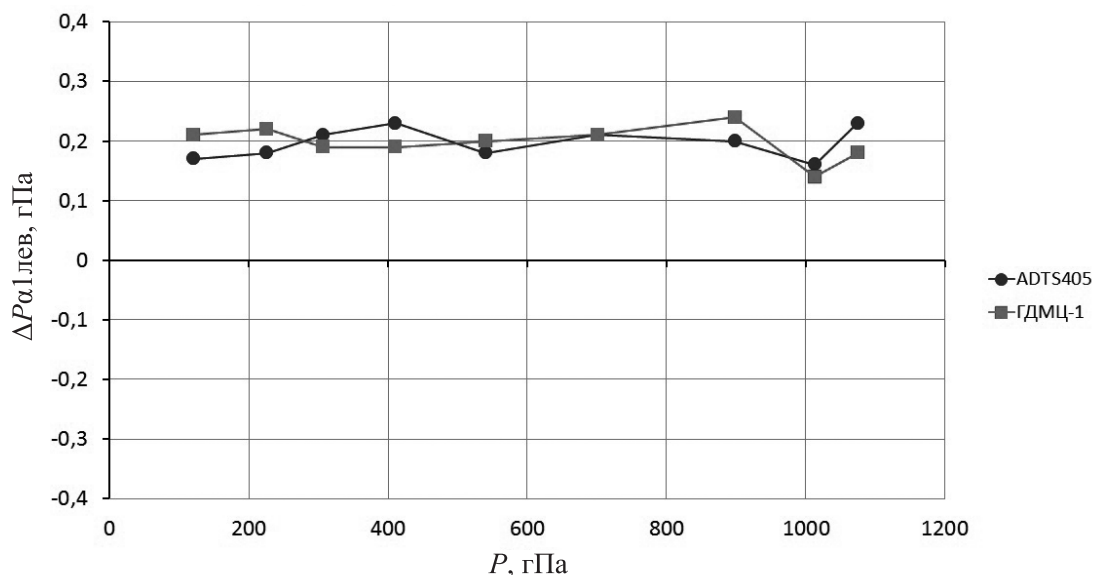


Рис. 3. График зависимости погрешности $\Delta P_{\alpha 1лев}$ от задаваемых с помощью ГДМЦ-1 и ADTS-405 абсолютных давлений P

Доработанная КПА может применяться для проведения регламентных работ или иных проверок на объекте, или как самостоятельный модуль в качестве калибратора давлений в составе НАСК. В ранее упомянутом протоколе совещания в АО «Аэроприбор-Восход» в п. 5 написано: «ООО «ОАК-Центр комплексирования» сообщил, что ... готов рассматривать ГДМЦ-1 в качестве калибратора давлений для проверки аэрометрического оборудования ...». Доработанный ГДМЦ-1 может быть оснащен приборным интерфейсом для применения в составе НАСК.

Обращения к авиационной администрации ГА авторов статьи (письма, презентация КПА, совещание в Управлении сертификации Росавиации) пока не привели к желаемому результату. Необходимо решить вопрос о финансировании доработки, которая потребует затрат значительно меньше, чем разработка новой КПА. Сама доработка и дополнительные контрольные испытания непродолжительны по времени (несколько месяцев), так как генератор ГДМЦ-1 прошел с положительными результатами все виды испытаний, в том числе стыковочные ГД-1 и МИВД.

При проведении дополнительных контрольных испытаний генератора типа ГДМЦ-1 для оценки возможности его применения в качестве КПА, в Программу испытаний следует включить раздел, описывающий вопросы обеспечения единства измерений и метрологического обеспечения при применении генератора для регламентного обслуживания СВС типа МИВД. При его подготовке возможно применение методологии и подходов, описанных в [12, 13], актуальных в части, касающейся включения указанной КПА в состав НАСК. Проведение работ в области обеспечения единства измерений позволит установить прослеживаемость измерений от первичного государственного эталона величин абсолютного давления ГЭТ 101-76, а также обеспечит возможность исключения возникновения метрологических рисков негативных ситуаций при применении доработанной КПА в дальнейшем в практике авиационной деятельности.

Оптимальность варианта доработки ГДМЦ-1 очевидна, так как резко сократится стоимость разработки, время на доработку и испытания по сравнению с созданием нового образца.

Заключение

По результатам проведенных исследований и анализа точностных характеристик систем СВС современных отечественных ВС, сравнительных характеристик отечественной КПА ГДМЦ-1 и иностранных аналогов типа ADTS, стыковочных испытаний генератора ГД-1 и системы воздушных сигналов МИВД с участием аппаратуры ADTS, целесообразно рекомендовать проведение доработок генератора ГДМЦ-1.

Доработка генератора ГДМЦ-1, заключающаяся в замене блока насосов БК-1ГД, не используемого в ГА, на генератор ГД-1 для увеличения вдвое количества выходов по статическому и полному давлению (или в использовании только одного ГД-1), позволит применять КПА для нужд гражданской авиации взамен иностранной.

Для внедрения ГДМЦ-1 в эксплуатацию необходимо определение источников финансирования, завершение доработки генератора и проведение дополнительных контрольных испытаний.

Внедрение доработанного генератора в эксплуатацию актуально и позволит выполнить задачу импортозамещения КПА для проверки современных СВС, снизить стоимость КПА для эксплуатационных подразделений ГА, выполнить требования ТЗ на систему МИВД.

Список источников

1. Приложение к свидетельству № 68950 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средств измерений. Генераторы давления малогабаритные цифровые ГДМЦ-1. 2018. 5 л.
2. Квалификационный базис «Многофункциональный измеритель воздушных данных МИВД, издание 01». Аэроприбор-Восход. 2015. 21 с.
3. МИВД: регламент технического обслуживания, MIVD-IKLV-00001-02. Аэроприбор-Восход. 2015. 9 с.
4. МИВД: руководство по технической эксплуатации, MIVD-IKLV-00001-01. Аэроприбор-Восход, 2015. 62 с.
5. Пат. РФ № RU 2697567 C1 / Витютин Г. А., Загидуллин Ш. М., Зубов Е. Г., Клюев Е. А. // Изобретения. Полезные модели 2019. № 23.
6. Qing Shan, Pressure controller system valve characterization, Pat. US no. 9618944B2 (11 April 2017).

7. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 640 с.
8. Amir Gnessin, Robert T. Welther, Multi-fluid precision calibration pressure source, Pat. US no. 9309898B2 (2016).
9. Richard Dean McFarland, Portable pressure switch calibration and diagnostic tool, Patent US no. 9640344B2 (2017).
10. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. Москва: Издательство стандартов, 1981. 182 с.
11. Приложение к свидетельству № 64003 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средств измерений. Приборы цифровые для проверки систем воздушных сигналов ADTS. 2016. 9 л.
12. Богоявленский А. А. Методология и практика обеспечения единства измерений при эксплуатации наземных автоматизированных систем контроля бортового оборудования воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 31–41.
13. Богоявленский А. А., Боков А. Е., Матюхин К. Е. Метрологическое обеспечение межведомственных испытаний наземной автоматизированной системы контроля: методология и анализ результатов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 219 (9). С. 137–143.

References

1. Prilozhenie k svidetel'stvu № 68950 ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenij. Opisanie tipa sredstv izmerenij. Generatory davleniya malogabaritnye cifrovye GDMC-1, 2018, 5 p. (In Russ.)
2. Kvalifikacionnyj bazis "Mnogofunkcional'nyj izmeritel' vozdushnyh dannyh MIVD, izdanie 01", Aeropribor-Voskhod Publ., 2015, 21 p. (In Russ.)
3. MIVD: reglament tekhnicheskogo obsluzhivaniya, MIVD-IKLV-00001-02, Aeropribor-Voskhod Publ., 2015, 9 p. (In Russ.)
4. MIVD: rukovodstvo po tekhnicheskoy ekspluatatsii, MIVD-IKLV-00001-01, Aeropribor-Voskhod Publ., 2015, 62 p. (In Russ.)
5. Vityutin G. A., Zagidullin Sh. M., Zubov E. G., Klyuev E. A., RF Patent no. RU 2697567 C1, *Inventions. Utility models*, no. 23 (2019).
6. Qing Shan, Pressure controller system valve characterization, Pat. US no. 9618944B2 (11 April 2017).
7. *Metody klassicheskoy i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya. Tom 2. Statisticheskaya dinamika i identifikatsiya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Methods of classical and modern theory of automatic control. Vol. 2. Statistical dynamics and identification of automatic control systems]*, Ed. K. A. Pupkov, N. D. Egupov, 2nd ed., with add., Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2004, 640 p. (In Russ.)
8. Amir Gnessin, Robert T. Welther, Multi-fluid precision calibration pressure source, Pat. US no. 9309898B2 (2016).
9. Richard Dean McFarland, Portable pressure switch calibration and diagnostic tool, Patent US no. 9640344B2 (2017).
10. GOST 4401-81. Atmosfera standartnaja. Parametry, Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1981, 182 p. (In Russ.)
11. Prilozhenie k svidetel'stvu № 64003 ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenij. Opisanie tipa sredstv izmerenij. Pribory cifrovye dlja proverki sistem vozdushnyh signalov ADTS, 2016, 9 p. (In Russ.)
12. Bogoyavlenskij A. A., Methodology and practice of ensuring the uniformity of measurements in the operation of ground-based automated verification systems of aircraft on-board, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 37, pp. 31–41. (In Russ.)
13. Bogoyavlenskij A. A., Bokov A. E., Matyukhin K. E., Metrological support of operation testing of ground-based automated control system: the methodology and analysis of results, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2015, no. 219, pp.137–143. (In Russ.)

Информация об авторах

Мхитарян Валерий Абрамович, начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, val.mkhit7@yandex.ru

Козлов Александр Ипатьевич, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела, Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, Ульяновск, Россия, nio22@ukbp.ru

Мартиросян Нина Федоровна, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, martirosian@atminst.ru

Черных Олег Николаевич, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, chernikh@atminst.ru

Паршиков Александр Анатольевич, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, parshikov@atminst.ru

Authors information

Mkhitaryan Valery A., Head of Sector, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, val.mkhit7@yandex.ru

Kozlov Alexander I., Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Research Department, Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau (UIMDB), nio22@ukbp.ru

Martirosyan Nina F., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, martirosian@atminst.ru

Chernykh Oleg N., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, chernikh@atminst.ru

Parshikov Alexander A., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, parshikov@atminst.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2022; одобрена после рецензирования 13.05.2022; принята к публикации 20.05.2022.

The article was submitted 14.03.2022; approved after reviewing 13.05.2022; accepted for publication 20.05.2022.

Научная статья
УДК 656.7.025 (4-21)

СОЦИАЛЬНОЕ ПРИЗНАНИЕ ГОРОДСКОЙ АЭРОМОБИЛЬНОСТИ В ЕВРОПЕ

Б. С. АЛЕШИН, А. В. КАН, И. С. МИХАЙЛИН, В. С. ШАПКИН

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

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор и обобщенные результаты исследования европейского агентства по безопасности (EASA) на предмет общественного признания городской аэромобильности (UAM) в Европейском Союзе в 2021 году. Данное исследование проводилось впервые. Был проведен опрос более четырех тысяч жителей из разных городов Европы с целью определения целевых рынков для будущего развертывания городской аэромобильности. В ходе исследования были выявлены основные проблемы внедрения, а также разработан ряд нормативно-правовых документов, обеспечивающих функционирование такой системы. Данные документы были разработаны впервые в мировой практике. Особое внимание также заслуживает тот факт, что на основании данного исследования был разработан пакет новых услуг, основанных на высоком уровне цифровизации и автоматизации функций, а также специальных процедур, разработанных для обеспечения безопасного, эффективного и надежного доступа в воздушное пространство большого количества дронов. Разработанный пакет услуг и процедур представляет собой благоприятную основу, предназначенную для облегчения любого вида рутинных операций во всех классах воздушного пространства и во всех типах окружающей среды, даже в самых загруженных, при обеспечении соответствующего интерфейса взаимодействия с пилотируемой авиацией и системой управления воздушным движением. Основная цель EASA заключается в том, чтобы преподнести новый вид транспорта обществу и обеспечить благоприятную среду, позволяющую Европейскому Союзу зарекомендовать себя в качестве одного из первых глобальных лидеров в области городской аэромобильности.

Ключевые слова: авиационная мобильность, беспилотный летательный аппарат, концепция городской аэромобильности, авиационная безопасность

Для цитирования: Аleshин Б. С., Кан А. В., Михайлин И. С., Шапкин В. С. Социальное признание городской аэромобильности в Европе // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 51–64.

SOCIAL RECOGNITION OF URBAN AIRMOBILITY IN EUROPE

B. S. ALESHIN, A. V. KAN, I. S. MIKHAILIN, V. S. SHAPKIN

National Research Center "Zhukovsky Institute", Moscow, Russia

Abstract. The article provides an analytical review and generalized results of the European Safety Agency (EASA) study on the public acceptance of urban air mobility (UAM) in the European Union in 2021. This study was carried out for the first time. More than 4,000 residents across Europe were surveyed to identify target markets for the future deployment of urban air mobility. During the study, the main problems of implementation were identified, and a number of legal documents were developed to ensure the functioning of such a system. These documents were developed for the first time in world practice. Of particular note is the fact that based on

this study, a package of new services has been developed based on a high level of digitalization and automation of functions, as well as special procedures designed to ensure safe, efficient and reliable access to the airspace of a large number of drones. Thus, the developed package of services and procedures provides a supportive framework designed to facilitate any kind of routine operations in all classes of airspace and in all types of environments - even the busiest - while providing an appropriate interface for interaction with manned aircraft and the air traffic control system. Main objective of EASA is to bring a new mode of transport to society and provide an enabling environment for the European Union to establish itself as one of the first global leaders in urban air mobility.

Keywords: aviation mobility, unmanned aerial vehicle, urban air mobility concept, aviation security

For citation: Aleshin B. S., Kan A. V., Mikhailin I. S., Shapkin V. S., Social recognition of urban airmobility in Europe, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 51–64. (In Russ.)

Введение

Перегруженные улицы и плохая экология уже давно стали реальностью в европейских городах. Об этом свидетельствуют исследование TomTom Traffic Index 2020 и отчет Европейского агентства по охране окружающей среды «Качество воздуха Европы 2020» [1, 2].

Ожидаемый прирост населения Европейского Союза к 2030 году более чем на 340 миллионов человек приведет к риску возникновения экологической катастрофы. Данная проблема поставила практически нерешаемые задачи перед местными властями, что в свою очередь привело к разработке новых транспортных концепций. Одной из таких концепций стала концепция городской аэромобильности (UAM) [3–5]. Появление нового типа городского транспорта позволит перевозить товары и людей, а также может ускорить развитие «умных» и экологически безопасных городов. Ожидается, что UAM принесет как экологические выгоды, так и преимущества для граждан и предприятий, особенно в коммерческих, чрезвычайных и медицинских целях.

Ключевым фактором развития UAM стало значительное снижение стоимости литий-ионных аккумуляторных элементов до 110 евро за кВт·ч в 2020 г. с 1000 евро за кВт·ч в 2010 году, а также увеличение плотности энергии элементов до 300 Вт·ч/кг со 150 Вт·ч/кг за тот же период. Опыт, накопленный при разработке электромобилей, также повлиял на развитие UAM во всем мире и в Европе. Европейская промышленность сыграла ведущую роль в разработке UAM с момента первого полета электрического воздушного судна (eVTOL) от компании Volocopter в 2011 году [6], и в настоящий момент еще несколько европейских авиастроительных компаний разрабатывают воздушные суда (ВС) для UAM (Airbus, Ascendence, Lilium, Pipistrel, Quantum Systems и Tecnaia) [7–9].

Ожидаемый прорыв в UAM должен сопровождаться и поддерживаться соответствующими мерами, в частности, адекватной нормативно-правовой средой, которая отражала бы потребности и надежды европейского общества, обеспечивала стабильную и четкую основу для отрасли. Первый шаг к осмыслению проблемы UAM состоит в исследовании готовности граждан ЕС принять новый вид транспорта, оценить возможные опасения и ожидания, например, связанные с безопасностью, конфиденциальностью и воздействием на экологию.

Европейское агентство авиационной безопасности (EASA) в ноябре 2020 года начало всестороннее исследование общественного признания UAM в Европе. Работа включала поиск и обработку информации из открытых источников, обзор литературы, а также анкетирование порядка 4000 жителей шести европейских городов. Полигонами для проводимых исследований стали Барселона, Будапешт, Гамбург, Милан, Париж и приграничный регион Эресунн. Данные города были определены как потенциальные целевые рынки для будущего развертывания UAM. Опрос был дополнен более чем 40 качественными интервью с фокус-группами местных,

национальных и европейских заинтересованных сторон, а также исследованием восприятия шума на основе интервью с группой, состоящей из 20 жителей Европы.

Исследование общественного признания – всего лишь один из аспектов работы EASA по поддержке развертывания UAM в ЕС. Основная цель EASA заключается в том, чтобы преподнести новый вид транспорта обществу и обеспечить благоприятную среду, позволяющую ЕС зарекомендовать себя в качестве одного из первых глобальных лидеров в области UAM. EASA подготовило ряд нормативных документов, обеспечивающих функционирование UAM. Данные документы были разработаны впервые в мировой практике. На основе подготовленных документов был сформирован проект единой европейской диспетчерской системы для дронов (U-space). U-space – это набор новых услуг, основанных на высоком уровне цифровизации и автоматизации функций, а также специальных процедур, разработанных для обеспечения безопасного, эффективного и надежного доступа в воздушное пространство для большого количества дронов [10]. Таким образом, U-space представляет собой благоприятную основу для облегчения любого вида рутинных операций во всех классах воздушного пространства и во всех типах окружающей среды, даже в самых загруженных, при обеспечении соответствующего взаимодействия с пилотируемой авиацией и системой управления воздушным движением.

Анализ публикаций по теме городской аэромобильности

Чтобы заложить основу для исследования общественного признания городской воздушной мобильности, а также сбора исходных данных и информации для проведения количественного и качественного исследования, был проведен анализ публикаций по следующим направлениям:

1) Рынок UAM и факторы общественного признания, связанные с UAM.

2) Изучение соответствующих факторов общественного признания смежных технологий, таких как автономное вождение, умный дом и другие новейшие технологии.

Обзор был сфокусирован на рынке UAM и связанных с ним факторах общественного признания в качестве основных целей данного исследования. Рассмотренная литература включала недавние публикации, то есть не старше трех лет, на английском и других европейских языках из общедоступных источников.

Чтобы получить представление о рынке UAM, литература оценивалась с точки зрения случаев применения, проблем, факторов принятия обществом, заинтересованных сторон, сроков и целевых рынков.

В публикациях чаще всего упоминаются такие варианты использования, как воздушное такси, дроны для доставки и спасательные дроны.

Основные поднятые проблемы: инфраструктура и безопасность. Шум и безопасность были названы главными препятствиями для принятия обществом. Сроки ввода в эксплуатацию значительно различаются между пилотируемыми и автономными транспортными средствами, при этом большая часть сертификации для пилотируемых операций планируется примерно на 2025 год. Ожидается, что беспилотные или автономные транспортные средства начнут выходить на рынок не раньше 2030 года, согласно заявлениям, сделанным в рассмотренной литературе [5, 6].

Ожидаемые проблемы

Согласно литературным источникам, самыми большими проблемами для UAM будут инфраструктура, безопасность, шум и воздействие на окружающую среду. Однако «воздействие на окружающую среду» – это термин, который используется в обзорной литературе в целом и может включать множество тем, таких как шум, видимое загрязнение, загрязнение воздуха, землепользование, защита биоразнообразия, климат, природные ресурсы, вода и почва.

Статус отрасли и прогноз

По состоянию на 2021 год рынок UAM находится на ранней стадии развития, но при этом демонстрирует растущую динамику. Более 200 проектов и концепций eVTOL в настоящее время исследуются и разрабатываются с участием многих известных компаний, таких как Volocopter, Joby, Lilium, Airbus или Kitty Hawk. В целом компоновки самолетов UAM для вертикального взлета и посадки (eVTOL) можно разделить на несколько типов:

1) Изменяемый вектор тяги. Эти двигательные установки сначала обеспечивают подъем, а затем поворачиваются для создания тяги. Подъемная сила создается крыльями. Эта схема лучше подходит для полетов на большие расстояния, поскольку система более эффективна, но более сложна, чем другие концепции.

2) Лифт плюс круиз. Эта компоновка имеет отдельные силовые установки для фаз зависания и крейсерского полета. Крылья создают необходимую подъемную силу во время крейсерской фазы. Лифт плюс круиз подходит для полетов на меньшие расстояния, чем с векторной тягой, но на большие расстояния, чем у мультикоптеров. Потенциально этот тип легче сертифицировать, чем изменяемый вектор тяги.

3) Мультикоптер. Здесь двигательные установки зафиксированы на месте и все время создают подъемную силу. Данный вариант предназначен для коротких дистанций полета и в целом является самой простой концепцией.

Что касается наземной инфраструктуры UAM, то она необходима для ввода в эксплуатацию пассажирского транспорта. Ожидается, что вертипорты, вероятно, появятся в различных типоразмерах и разных количествах, в зависимости от прогнозируемых объемов трафика. Самые большие вертипорты будут наименьшими по количеству в городе, а самые маленькие будут многочисленными. На данный момент разработка вертипортов, по всей видимости, происходит в основном за счет сотрудничества между опытными игроками в области инфраструктуры и производителями автомобилей.

Двумя важными факторами для размещения вертипортов будут легкость доступа к ним, а также подключение к инфраструктуре электроснабжения. Поскольку энергия для работы большинства самолетов UAM будет храниться в аккумуляторах, перезарядка аккумуляторов, вероятно, будет происходить в вертипортах, и, следовательно, потребуется стабильное подключение к источникам электроэнергии.

Рассмотрим грузовые перевозки. Данный сегмент охватывает перевозки грузов самолетами UAM для коммерческих или промышленных целей, например, доставку «последней мили», или доставку товаров в сельской местности. Транспортировка предметов первой необходимости и медицинского назначения, таких как органы и кровь, исключена из этой категории, так как на нее распространяется случай использования в чрезвычайных ситуациях.

Что касается самолетов, то они могут быть использованы для транспортировки персонала скорой медицинской помощи к месту происшествия, доставки пациентов в больницу, оценки аварийных зон, прямого тушения пожара или доставки медицинских, неотложных предметов снабжения.

Заинтересованные стороны UAM

В группу заинтересованных сторон отрасли UAM входят все организации, непосредственно участвующие в разработке, производстве, эксплуатации и обслуживании самолетов и услуг UAM. Основная мотивация для этой группы – получение прибыли от своей деятельности. Они также могут быть нацелены на развитие технологий, сохранение или увеличение числа сотрудников или на открытие новых направлений деятельности.

Занимаясь разработкой UAM, компании могут надеяться на стабильную нормативно-правовую базу, минимальный уровень бюрократии, поддержку создания новой отрасли, доступ

к квалифицированной рабочей силе и выгодное налогообложение. Их основными проблемами могут быть влияние регулирования на экономику UAM, общественное мнение, нимбизм и экологические проблемы.

Для потенциальной группы заинтересованных сторон экономия времени и затрат, а также комфорт являются одними из основных критериев принятия решения при выборе вида транспорта. Ожидания потенциальной группы пользователей от UAM, вероятно, будут заключаться в безопасности, надежности, предсказуемости, доступности, простоте использования и удобстве.

С точки зрения правительства, государственных учреждений и группы регулирующих органов в игру вступают три различных уровня политических структур: наднациональный, национальный и местный. В центре внимания этой группы заинтересованных сторон – общественное благо, безопасность населения, эффективная система мобильности, ограничение скоплений и загрязнения, создание рабочих мест, поддержка и развитие отрасли в их соответствующих юрисдикциях, окружающая среда и общественное мнение.

В отношении UAM ожидают, что она внесет положительный вклад в общество, подходящий налог, который финансирует государственные задачи, и что отрасль будет соблюдать нормативные требования. Основные опасения, вероятно, связаны с общественным мнением, человеческими жертвами, влиянием на избирателей, престижем соответствующих юрисдикций, недостаточным или чрезмерным регулированием и проблемами окружающей среды.

На членов группы третьих сторон, на которую распространяется косвенное воздействие, также может оказывать влияние развивающаяся отрасль UAM. Их можно разделить на частных лиц, профессионалов, ассоциации, расширенную отрасль и потенциальных конкурентов. UAM, скорее всего, будет оцениваться этой группой заинтересованных сторон через призму выгоды для себя и общества. Возможности для роста и развития – это вероятные ожидания от этой группы, с другой стороны их беспокоит потеря гарантированной работы.

Социальные выгоды и риски высокого уровня UAM

Ожидается, что концепция UAM принесет следующие общественные выгоды ЕС.

Предполагаемый размер рынка UAM в Европе составит примерно 4,2 миллиарда евро в 2030 году, что составит почти треть мирового рынка и указывает на возможности, которые эта отрасль может предложить для Европы.

Предполагаемый размер рынка может создать или поддержать около 90 000 рабочих мест в 2030 году исходя из ожидаемой трудоемкости для строительства соответствующей инфраструктуры и эксплуатации UAM.

Локальные выбросы UAM в городской среде могут быть почти нулевыми, если будут использоваться аккумуляторные электрические двигательные установки. Большинство рассмотренных концепций UAM уже опираются на этот тип силовой установки, также проводятся работы по созданию гибридных электрических силовых установок.

Одним из основных преимуществ UAM для пользователей будет экономия времени. Например, трансфер из города в аэропорт в Париже на воздушном такси может быть в 2-4 раза быстрее, чем поездка на автомобиле в четверг вечером в час пик. Кроме того, медицинская транспортировка оборудования или органов с помощью дронов может быть выполнена примерно на 73 % быстрее, чем с помощью машины скорой помощи.

Если пассажирский транспорт UAM достигнет того же уровня безопасности, что и авиация в ЕС в 2018 году (0,01 погибших на миллиард пассажиро-километров), тогда он будет примерно в 1500 раз безопаснее в расчете на пассажиро-километр, чем автомобильный транспорт. Это число основано на данных по автомобильному транспорту и коммерческому воздушному транспорту в ЕС. В качестве первого шага было рассчитано количество погибших на миллион пассажиро-километров для обоих видов транспорта, и на втором этапе эти соответствующие числа были сопоставлены.

Оценка целевых европейских рынков

Был проведен широкий анализ рынка для определения списка городов ЕС, в которых развертывание местных рынков UAM представляется вероятным в ближайшие годы с учетом местной специфики и потребностей. Основная цель заключалась в том, чтобы определить шесть городов из этого списка, где можно было бы провести количественный опрос. Поскольку респонденты количественного опроса должны были включать достаточное количество представителей различных слоев местного населения, предварительно были отобраны только крупные города с минимальным количеством жителей (300 000 человек для городов и 2 000 000 для приграничных регионов). Этот список является только ориентировочным, а не исчерпывающим, и отсутствие города не означает, что UAM не будет хорошо работать в этом месте.

Приоритет в сценариях использования

Обзор международной литературы выявил шесть категорий основных вариантов использования UAM: транспорт (перевозка пассажиров для коммерческих приложений), доставка (транспортировка товаров для коммерческих и промышленных приложений), экстренные службы (реагирование в случае аварии), авария, пожар, стихийное бедствие и т. д.), гражданское наблюдение и другие операции (ручные операции, которые физически взаимодействуют с окружающей средой), суверенные функции (наблюдение и анализ территорий, объектов или людей) и связи (обеспечение полосы пропускания мультимедиа путем передачи сигнала, видео или звука).

Для каждой из этих категорий вариантов использования были оценены социальные риски и выгоды, чтобы выявить те, которые имеют самые высокие показатели, которые затем были бы категоризованы. Это позволило выявить, какие варианты использования могут быть развернуты в ЕС в ближайшие пять-десять лет, и включить их в исследование.

Результаты показывают, что три варианта использования имеют наивысший риск и выгоду и, следовательно, являются наиболее важными для анализа общественного признания:

1) Пилотируемый пассажирский транспорт с электрическим вертикальным взлетом и посадкой (eVTOL).

2) Службы экстренной помощи (как медицинское оборудование с помощью дронов, так и транспортировка людей с помощью eVTOL с пилотом на борту).

3) Доставка с помощью дронов для коммерческого и промышленного применения.

Три основных варианта использования были подробно проанализированы, и для каждого были определены подварианты. Анализ был сосредоточен на том, как часто субварианты упоминались в обзоре литературы, а также во время интервью с внешними и внутренними экспертами UAM. Для каждого вспомогательного варианта использования этот анализ показал, является ли он вероятным кандидатом для первоначального внедрения в ЕС, его жизнеспособность в ближайшем будущем на период с 2025 по 2030 год, а также с какими преимуществами и рисками он связан. На основе этой оценки для дальнейшего анализа было выбрано несколько приоритетных подвариантов.

Варианты использования пассажирских трансферов для коммерческого применения. Подварианты коммерческого пассажирского транспорта были разделены на три категории: внутригородской транспорт (менее 40 км), транспорт пригород/регион – город (менее 100 км) и региональный междугородный транспорт (от 100 км до 300 км).

Сценарии использования службы экстренной помощи. Дополнительные варианты использования служб экстренной помощи были разделены на три категории: реагирование на аварии, управление операциями в случае стихийных бедствий и доставка материалов.

Доставка товаров коммерческого и промышленного назначения. Дополнительные варианты использования для доставки товаров были разделены на две категории: доставка

«последняя миля» и доставка на большие расстояния. Категория доставки «последняя миля» была определена в качестве приоритетного вспомогательного варианта использования, имеющего наивысшие выгоды, наименьший риск и наилучшую жизнеспособность для первоначального внедрения UAM в 2025–2030 гг.

Методология исследования

В основу методологии исследования были положены количественные методы социологического исследования, основанные на количественном опросе с применением онлайн-панели.

Целевая аудитория количественного опроса – не менее 600 человек из каждого из шести опрошенных городов. Чтобы гарантировать, что участники опросов были достаточно репрезентативными для населения исследуемых городов, было выбрано национально репрезентативное распределение по полу, возрасту и статусу занятости. Поскольку выборка никогда не может быть полностью репрезентативной для распределения совокупности, были использованы технические критерии для обеспечения минимальной погрешности. Отборочные вопросы использовались в начале анкеты для обеспечения выполнения квот и выявления иных демографических характеристик. Например, возраст, пол, тип домохозяйства, место жительства и т. д.

Общее количество участников из шести городов составило 3 690 человек. В процессе опроса было соблюдено гендерное распределение. Поскольку женщины обычно более отзывчивы к онлайн-панелям, чем мужчины, было важно поддерживать баланс между полами, однако погрешность от 1 до 2 % считается статистически приемлемым диапазоном. Возраст участников был относительно равномерно распределен от 16 до 75 лет. По крайней мере 15 % участников должны были принадлежать к каждой из возрастных групп: от 18 до 24; от 25 до 34; от 35 до 44; от 45 до 54 и от 55 до 64, и 10 % – к возрастной группе от 65 до 75 лет. Возрастная группа от 65 до 75 лет не должна была быть такой же большой, как другие группы, поскольку эта группа, как правило, менее восприимчива к онлайн-панелям и будет меньше зависеть от инноваций в UAM, которые в настоящее время все еще находятся в зачаточном состоянии, и на их разработку уйдут годы. Участники должны были проживать в городе или регионе, где проводился опрос, поскольку основная цель заключалась в том, чтобы отразить предполагаемые выгоды и опасения жителей, потенциально затронутых ростом UAM.

Чтобы убедиться, что была составлена надежная база данных о потенциальных пользователях UAM, особое внимание было уделено обеспечению минимального числа респондентов, которые в целом положительно относятся к UAM и были определены как потенциальные пользователи. Как минимум 120 участников в каждом городе были определены как потенциальные пользователи доставки с помощью дронов – то же самое и для воздушного такси. Как минимум 200 участников в каждом городе были определены как потенциальные пользователи либо дронов, либо авиатакси. И минимум 240 участников на город не были определены как потенциальные пользователи UAM.

Опрос был переведен на местные языки участников (испанский, венгерский, немецкий, итальянский и французский), чтобы обеспечить понимание в разных городах и регионах.

Информация о структуре анкеты и типах вопросов

Анкета была разработана для оценки, понимания и исследования наиболее важных факторов признания UAM обществом, включая предполагаемые выгоды и проблемы, а также то, что потребуется для повышения общественного признания. Анкета включала 36 вопросов; время ответа оценивалось в 25 минут.

В количественном обследовании для определения уровней приемлемости использовались два варианта, которые легко представить себе и которые не требуют пояснений для неспециалистов: доставка грузов малым дроном и перевозка пассажиров воздушным такси. Был проведен

углубленный анализ для исследования относительного уровня принятия в разных культурах трех ключевых проблем, выявленных в ходе обзора: восприятие безопасности, шума и визуального раздражения в городской среде. Наконец, анкета касалась общего отношения и ожиданий респондентов в отношении регулирующих органов.

Первая часть опроса обеспечивала соответствие участников заранее определенным критериям. Был представлен информационный видеоролик продолжительностью 1 мин 36 с, чтобы предоставить участникам опроса предварительную информацию, а также общее понимание UAM. Примеры использования, показанные на видео, включают пассажирские перевозки на авиатакси, экспресс-доставку еды с помощью дронов, транспортировку служб экстренной медицинской помощи к месту аварии и доставку предметов медицинского назначения в больницу. Выбор был направлен на сбалансированное представление вариантов использования коммерческих и общественных услуг, вариантов использования дронов, а также вариантов использования как с пилотом на борту, так и с дистанционным пилотированием. Транспортные средства, изображенные на видео, были изобретены и не соответствовали каким-либо существующим или разрабатываемым промышленным продуктам. Цель заключалась в том, чтобы дать общее ощущение и идею, а не отразить реальную техническую систему. Видео не содержало никаких звуков, кроме музыки, так как восприятие шума оценивалось в отдельном исследовании.

Впоследствии в этом разделе проверялось, могут ли участники рассматриваться как потенциальные пользователи для доставки товаров дроном и для перевозки пассажиров на воздушном такси, или их совместного использования.

Методология качественного исследования

После того, как была получена четкая картина по результатам количественного исследования, были проведены дальнейшие качественные интервью с более чем 40 местными, национальными и европейскими заинтересованными сторонами. Чтобы определить приоритеты и выбрать заинтересованные стороны для этих интервью, длинный список идентифицированных заинтересованных сторон был взят и оценен по трем измерениям проблем, уровню влияния и уровню поддержки UAM. Заинтересованные стороны, вызывающие наибольшее беспокойство и уровень влияния, а также самый низкий уровень поддержки UAM, получили наивысший рейтинг. Цель заключалась в том, чтобы получить их дифференцированную и специализированную точку зрения на преимущества и проблемы, связанные с UAM. Около половины опрошенных заинтересованных сторон были местными, охватывающими все города, в которых проводился опрос, и все группы заинтересованных сторон. В большинстве случаев интервью проводились с представителями как минимум двух городов, чтобы выявить потенциальные местные различия.

Методика испытаний на шум

Как качественные, так и количественные исследования определили, что шум является одной из основных проблем для принятия обществом городской воздушной мобильности. ВС UAM имеют множество профилей шума, которые отличаются от профилей шума традиционных ВС. Характеристики их шумовой сигнатуры, такие как тональность, потенциально могут усилить раздражение. Другие последствия для здоровья, связанные с внедрением этого совершенно нового источника звука в городскую и пригородную среду, в настоящий момент еще не известны. ВС UAM потенциально могут усложнить шумовую обстановку, поскольку по сравнению с другими типами ВС они будут летать ближе к местам проживания и работы людей.

Поэтому понимание того, как воспринимается шум от UAM, будет иметь важное значение для внедрения этой новой технологии. Проекты ВС, законодательство и планирование инфраструктуры и маршрутов UAM будут зависеть от понимания реакции на шум.

Чтобы оценить реакцию людей на шум от UAM, было проведено пилотное исследование совместно с Arup, которое включало в себя тесты на прослушивание с использованием Arup Soundlab [11]. Изначально Arup Soundlab была задумана и разработана для создания звукового дизайна заведений искусства и культуры. В настоящее время Arup SoundLab разработала методы и средства для проектирования и воспроизведения виртуальных звуковых ландшафтов, включая авиацию, железные дороги, шоссе и ветряные электростанции. По сравнению с традиционными методами решения проблем, связанных с безопасностью окружающей среды, виртуальные звуковые ландшафты имеют следующие преимущества:

- помощь в выявлении потребностей и проблем заинтересованных сторон;
- содействие диалогу о последствиях шума для здоровья и благополучия населения;
- повышение прозрачности того, как заинтересованные стороны могут быть затронуты предлагаемым развитием или новым источником шума;
- укрепление доверия посредством беспристрастных советов и честности;
- обеспечение доступности предложений;
- поддержка принятия решений на основе полученных данных.

Всего за два дня в апреле 2021 г. в проекте приняли участие 20 слушателей. Каждый тест проводился с одним слушателем единожды. Порядок прохождения слушателями тестов был следующий.

В начале объясняется цель тестов, процедура проведения и то, что исследование заключается в оценке реакции слушателей на различные звуки транспорта. При этом слушателям не были обозначены источники шума (дроны или такси).

Далее слушатель попадал в виртуальный звуковой ландшафт. Акустика городского ландшафта соответствовала звукам на открытом воздухе. Запись, сделанная на одной из площадей Амстердама, изображение которой было представлено на экране дисплея, использовалась для отражения звукового ландшафта в городе. Фоновая обстановка не содержала звука транспорта и воспроизводилась на уровне 55 дБ.

Результаты опроса

Общая цель исследования заключалась в том, чтобы сформировать новое понимание общественного признания UAM европейскими гражданами и, таким образом, поддержать будущую оценку воздействия и дальнейшую регулируемую работу EASA.

1) *Однородные результаты.* Опрос был разработан для выявления возможных расхождений во мнениях в различных подгруппах, в частности, с помощью проверочных вопросов, охватывающих возраст, состав домохозяйства, близость к новым технологиям, географические, культурные различия и т. д. Неожиданно результаты продемонстрировали однородные ответы: равные условия игры во всей Европе, без значительных отклонений между респондентами из шести городов, а также без серьезных отклонений в зависимости от возраста, состава домохозяйства или склонности к новым технологиям или другим различиям.

2) *Положительное первоначальное восприятие.* В начале опроса участников попросили указать, каково было бы их общее восприятие, если бы решения городской воздушной мобильности были внедрены в их городах. В целом, восприятие UAM было положительным: большинство (83 %) респондентов выразили очень (или скорее) положительные отзывы о введении UAM. В опрошенных городах только 3 % респондентов отрицательно относятся к городской воздушной мобильности.

3) *Качественные интервью также показали, что общее отношение к UAM в основном положительное.* Удивительно, но это было верно даже для участников, от которых можно было ожидать, что они будут больше проявлять беспокойство, например, тех, кто занимается вопросами безопасности или окружающей среды. Интервью показали, что UAM рассматривается как

захватывающая инновационная разработка, и тот факт, что Европа может играть ведущую роль в этой области, вызывает положительное отношение и доброжелательность. Однако опрос показал, что большинство заинтересованных сторон еще не сталкивались с проблемами UAM, за исключением тех городов, где есть пилотные проекты (например, Гамбург или Париж), и, как правило, не имеют информации по данной теме.

4) *Готовность к использованию UAM.* Результаты показали, что большая часть населения будет заинтересована в использовании услуг UAM. 64 % были бы заинтересованы в использовании доставки с помощью дронов, а 49 % были бы заинтересованы в использовании воздушного такси. При этом 43 % будут заинтересованы в совместном использовании услуг, 71 %, вероятно, воспользуется хотя бы одной услугой. Только 29 % не воспользовались бы ни одной из этих услуг, если бы они были доступны в их городах.

Ожидания и действия

Совокупность результатов количественного опроса, качественных интервью и моделирования шума позволяет выделить некоторые общие тенденции в общественном признании UAM в ЕС.

Граждане ЕС изначально и спонтанно выразили положительное отношение и интерес к UAM, рассматривая его как новое и привлекательное средство передвижения, способное предложить более быстрые, чистые и расширенные возможности подключения. Однако они также выразили серьезную озабоченность. Когда им предлагается подумать о конкретных последствиях потенциальных операций UAM в их городе, граждане ЕС хотят ограничить свою подверженность рискам и ожидать, что власти будут активно реагировать на эти опасения.

Общественное признание является критическим фактором успеха будущего развертывания UAM, и это должно быть обеспечено рядом превентивных действий. Некоторые из этих действий относятся к компетенции регулирующих органов, а именно:

- 1) Решение вопросов безопасности, обеспечивая уровень безопасности UAM, эквивалентный текущим авиационным операциям, для пассажиров и людей на земле.
- 2) Обеспечение защиты окружающей среды на местном уровне за счет меньшего количества местных выбросов, меньшего скопления людей и достаточной защиты дикой природы.
- 3) Обеспечение глобальной защиты окружающей среды с точки зрения жизненного цикла.
- 4) Убедиться что производство самолетов и их операции не влияют на птиц и насекомых.
- 5) Устранение шума UAM, гарантируя, что уровень, частота и продолжительность соответствующих звуков поддерживаются на приемлемых уровнях, особенно при запуске первых операций UAM, поскольку незнакомые звуки воспринимаются как более раздражающие, чем знакомые.
- 6) Предотвращение рисков безопасности и кибербезопасности, особенно для дронов, поскольку пилотируемые самолеты считаются более безопасными из-за наличия на борту пилота.
- 7) Обеспечение согласованных действий между всеми уровнями власти (европейским, национальным и местным); Граждане ЕС доверяют им одинаково и ожидают, что все уровни будут участвовать в принятии решений. Местные власти ожидают получения дополнительной информации и рекомендаций и хотят участвовать на ранней стадии в принятии решений, касающихся развертывания UAM на их территории.
- 8) Проведение предварительных исследований, например, измерение шума на местности и воздействия на дикую природу, а также определение тихих зон и времени, что позволит уменьшить неуверенность или опасения заинтересованных сторон относительно внедрения UAM.
- 9) Обеспечение соответствия UAM понятию «общественные интересы». Требуется сделать UAM доступным для всех и интегрировать его в локальную (мультимодальную) транспортную систему.

10) Поддержание развертывания UAM с учетом своевременной, достаточной и прозрачной информации и диалога с гражданами и местными заинтересованными сторонами.

11) Поощрение демонстрационных и пилотных проектов, чтобы показать, что UAM действительно может работать и является безопасным. Постепенное внедрение вариантов использования с максимальной пользой для широкой публики, например, транспортировка медицинских товаров пилотируемыми eVTOL также может укрепить общественное признание.

12) Тщательное регулирование правил использования воздушного пространства. Следует также уточнить, каким образом будет обеспечена интеграция БПЛА в воздушное пространство, поскольку это может обеспечить основу для эксплуатации обычных ВС и самолетов UAM в одном и том же воздушном пространстве, например, в районе аэропортов.

13) Что касается безопасности, то оценивались два разных уровня: высокая планка безопасности для UAM, подобная той, которая установлена сегодня в коммерческой авиации, и немного более низкий уровень безопасности, соответствующий самым высоким требованиям в автомобильной промышленности.

14) Если бы для UAM была принята высокая планка безопасности, это могло бы привести к значительному увеличению затрат для бизнес-кейсов компаний в этой области, но это могло бы привести к очень низкому количеству травмированных людей и повреждению имущества. В свою очередь такие требования по безопасности могут способствовать более высокому общественному восприятию UAM, как видно из результатов опроса. Действительно, общественное признание возрастет на 10 % для варианта использования доставки с помощью дронов и на 9 % для варианта использования воздушного такси, если будет введена планка безопасности, аналогичная коммерческой авиации, вместо такой же, как у автомобильной. Среди оцененных стоимостных параметров были обширные требования к избыточности в системе UAM, более длительная продолжительность внедрения UAM из-за увеличенных периодов проектирования и испытаний, а также более короткие интервалы между техническими проверками самолетов и инфраструктур UAM. Затем была проведена качественная оценка, оказавшая сильное влияние на стоимость системы UAM.

15) Для немного более низкой планки безопасности связанный с этим повышенный риск для населения может быть неприемлемо высоким, а происшествия или аварии могут серьезно затруднить развивающийся рынок UAM. С точки зрения потенциальных преимуществ этот подход мог бы предложить более быстрое внедрение услуг UAM и, следовательно, обеспечить более быструю помощь в борьбе с перегрузками наземного трафика. Влияние на стоимость было оценено как среднее из-за более низких требований к избыточности, более быстрого внедрения услуг UAM и более длительных интервалов технического обслуживания самолетов и систем UAM. Однако безопасность – это не то измерение, где компромисс в бизнесе приемлем в нашем обществе. Даже небольшое количество аварий, например, с автономными автомобилями, может быстро вызвать ухудшение общественного мнения, поэтому к UAM следует применять самые высокие стандарты, чтобы способствовать его принятию.

16) В области безопасности были оценены возможные меры кибербезопасности, проверки безопасности пассажиров и системы UAM.

17) Кибербезопасность должна предотвращать взлом обмена данными UAM и, следовательно, избегать злонамеренного использования или контроля UAM. Это может быть сделано путем шифрования сигналов связи в системе UAM с помощью аппаратного и программного шифрования. Влияние на стоимость может быть средним и потенциально может исходить от защиты и мониторинга сети связи и/или установления частной линии связи управления и контроля.

18) Проверки безопасности пассажиров, аналогичные тем, которые проводятся в аэропортах, могут снизить риск злонамеренного использования UAM пассажирами. Меры могут потенциально включать сканирование багажа и пассажиров, а также ограничение провоза жидкостей. Капитальные затраты на технологию безопасности, возросшие потребности в персонале на вертипортах и потенциально сниженная конкурентоспособность UAM с точки

зрения экономии времени пассажиров были одними из оцененных пунктов затрат, которые могут привести к среднему или высокому общему влиянию затрат на UAM.

19) Наконец, могут потребоваться противодействующие системы UAM, такие как создание закрытых зон для доступа UAM. Приобретение и эксплуатация противодействующих систем UAM требует затрат, но они были оценены как низкие для всей системы UAM.

Заключение

Проведенный анализ и обобщение результатов исследования по социальному принятию UAM показали, что основными проблемами, связанными с внедрением данной концепции, будут: обеспечивающая инфраструктура, обеспечение безопасности полетов, шум и воздействие на окружающую среду.

На данном этапе развития концепции UAM было сложно обеспечить реальное моделирование шума или с уверенностью количественно оценить интенсивность полетов ВС UAM, также было трудно полностью оценить недовольство населения, вызванное этим.

В этом исследовании определено отношение общества ЕС к UAM в данный момент, на начало 2021 года, задолго до будущего его развертывания в городах ЕС, запланированного примерно на 2024–2025 гг. На данном этапе информация о UAM в основном предназначена для специализированной прессы и средств массовой информации и не доходит до широкой публики. Поэтому граждане ЕС воспринимают городскую аэромобильность как «научную фантастику» или «захватывающую новую концепцию».

Результаты исследования показывают, что концепции UAM выигрывают от положительного имиджа и могут быть приняты гражданами ЕС, которые открыты для решений, улучшающих качество жизни в городе и предлагающих выгоды для общего блага. Однако принятие будет зависеть от соблюдения ряда гарантий и условий, что будут обеспечены требуемый уровень безопасности и защита окружающей среды, и что ни один гражданин не будет страдать от неудобств, вызванных внедрением UAM.

По мере дальнейшего развития концепции, вероятно, потребуются более детальные исследования, демонстрации и проекты раннего внедрения. Дополнительная информация для широкой общественности и рекомендации для заинтересованных национальных и местных субъектов также будут полезны.

Список источников

1. TOMTOM TRAFFIC INDEX 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (дата обращения: 28.01.2022).
2. Качество воздуха в Европе 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (дата обращения: 28.01.2022).
3. Концепция городской аэромобильности. [Электронный ресурс]. URL: www.easa.europa.eu/domains/urban-air-mobility-uam (дата обращения: 30.01.2022).
4. Городская аэромобильность. [Электронный ресурс]. URL: uam.fev.com (дата обращения: 01.02.2022).
5. Городская аэромобильность. [Электронный ресурс]. URL: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_292_ru.pdf (дата обращения: 01.02.2022).
6. Аэротакси и транспортировка грузов беспилотниками: как немецкий стартап Volocopter хочет решить проблему пробок. [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/transport/90762-aerotaksi-i-transportirovka-gruzov-bespilotnikami-kak-nemeckiy-startap-volocopter-hochet-reshit-problemu-probok> (дата обращения: 01.02.2022).
7. Концепция городской аэромобильности AIRBUS. [Электронный ресурс]. URL: www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility (дата обращения: 02.02.2022).

8. Концепция городской аэромобильности Honeywell. [Электронный ресурс]. URL: aerospace.honeywell.com/us/en/learn/supported-platforms/urban-air-mobility (дата обращения: 02.02.2022).
9. Концепция городской аэромобильности FAA. [Электронный ресурс]. URL: www.faa.gov/uas/advanced_operations/urban_air_mobility (дата обращения: 02.02.2022).
10. Концепция U-space: безопасная интеграция дронов в воздушное пространство Европы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sesarju.eu/U-space> (дата обращения: 03.02.2022).
11. Звуковая лаборатория ARUP. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arup.com/perspectives/soundlab> (дата обращения: 03.02.2022).

References

1. TOMTOM TRAFFIC INDEX 2020, [Electronic resource], available at: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (accessed 28.01.2022).
2. Air quality in Europe 2020, [Electronic resource], available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (accessed 28.01.2022).
3. The concept of urban air mobility, [Electronic resource], available at: www.easa.europa.eu/domains/urban-air-mobility-uam (accessed 30.01.2022).
4. Urban air mobility, [Electronic resource], available at: uam.fev.com (accessed 02.01.2022).
5. Urban_airmobility, [Electronic resource], available at: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_292_ru.pdf (accessed 01.02.2022).
6. Air taxi and cargo transportation by drones: how the German startup Volocopter wants to solve the problem of traffic jams, [Electronic resource], available at: <https://vc.ru/transport/90762-aerotaksi-i-transportirovka-gruzov-bespilotnikami-kak-nemeckiy-startap-volocopter-hochet-reshit-problemu-probok> (accessed 02/01/2022).
7. The concept of urban air mobility AIRBUS, [Electronic resource], available at: www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility (accessed 02.02.2022).
8. The concept of urban air mobility Honeywell, [Electronic resource], available at: aerospace.honeywell.com/us/en/learn/supported-platforms/urban-air-mobility (accessed 02.02.2022).
9. The concept of urban air mobility FAA, [Electronic resource], available at: www.faa.gov/uas/advanced_operations/urban_air_mobility (accessed 02.02.2022).
10. U-space concept: safe integration of drones into European airspace, [Electronic resource], available at: <https://www.sesarju.eu/U-space> (accessed 03.02.2022).
11. Sound laboratory ARUP, [Electronic resource], available at: <https://www.arup.com/perspectives/soundlab> (accessed 02/03/2022).

Информация об авторах

Алешин Борис Сергеевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, научный руководитель, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, info@nrczh.ru

Кан Анна Владимировна, кандидат технических наук, начальник отдела, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, kanav@nrczh.ru

Михайлин Иван Сергеевич, заместитель генерального директора, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, mikhaylinis@nrczh.ru

Шапкин Василий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, shapkinvs@nrczh.ru

Authors information

Aleshin Boris S., Academician of RAS, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Scientific Supervisor, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, info@nrczh.ru

Kan Anna V., Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Department of the Department, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, kanav@nrczh.ru

Mikhailin Ivan S., Deputy General Director, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, mikhaylinis@nrczh.ru

Shapkin Vasily S., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, First Deputy General Director, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, shapkinvs@nrczh.ru

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 12.05.2022; принята к публикации 20.05.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 12.05.2022; accepted for publication 20.05.2022.

Научная статья
УДК 662.75.005 (088.4)

АНАЛИЗ УЧЕТА КАЧЕСТВА АВИАГСМ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕСЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ В ДОГОВОРЫ ПОСТАВКИ В СИСТЕМЕ АВИАТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С. В. СТЕПАНЕНКО, О. Г. МАЛЬЦЕВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены текущее состояние системы авиатопливообеспечения гражданской авиации, факторы, оказывающие воздействие на ее функционирование, и влияние каждого из них. Указан фактор, обуславливающий существование и использование системы добровольной сертификации объектов гражданской авиации. Рассмотрен договор поставки авиационных горюче-смазочных материалов (авиаГСМ) на примере поставки «в крыло» (заправки) авиатоплива с точки зрения закрепления в договорных отношениях обеспечения качества авиаГСМ. Проведен анализ отражения вопросов качества авиаГСМ в действующих договорах на поставку (методы контроля, ответственность поставщика при получении, регламент и методы оценки качества и т. д.), рассмотрены типовые (крупных поставщиков) и индивидуальные (отдельных топливозаправочных организаций) договоры. Результаты анализа систематизированы по технологической цепочке подготовки и применения топлива, а именно: определение (идентификация) продукта, обязанность и ответственность поставщика при поставке, прием авиатоплива и переход рисков потери качества, регламент и методы определения качества, возникновение претензий и отбор проб авиатоплива. Сформированы рекомендации для потребителей авиаГСМ, как правило, авиакомпаний, и поставщиков, как правило, топливозаправочных компаний, применение которых позволит обеспечивать летную годность воздушных судов в вопросах качества авиаГСМ.

Ключевые слова: система авиатопливообеспечения гражданской авиации, топливо для реактивных двигателей, авиационные горюче-смазочные материалы, авиатопливообеспечение, заправка «в крыло», договор поставки, поддержание летной годности, авиакомпании

Для цитирования: Степаненко С. В., Мальцев О. Г. Анализ учета качества авиаГСМ и рекомендации по внесению требований в договоры поставки в системе авиатопливообеспечения гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 65–74.

ANALYSIS OF THE QUALITY AVIATION FUEL ACCOUNTING AND RECOMMENDATIONS FOR MAKING REQUIREMENTS TO THE CONTRACTS IN THE AVIATION FUEL SUPPLY SYSTEM OF CIVIL AVIATION

S. V. STEPANENKO, O. G. MALTSEV

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

Abstract. The article considers the current state of the aviation fuel supply system of civil aviation, the factors affecting its functioning, and the impact of each of them. The factor determining the existence and use of the system of voluntary certification of civil aviation facilities is indicated. The contract for the supply of aviation fuels and lubricants (aviaGSM) is considered, using the example of the supply of aviation fuel “to the wing” (refueling),

from the point of view of securing the quality of aviation fuel in contractual relations. The analysis of the reflection of aviation fuel quality issues in existing supply contracts (control methods, supplier's responsibility upon receipt, regulations and methods of quality assessment, etc.) is carried out. Standard (contracts of large suppliers) and individual (individual refueling organizations) contracts are considered. The results of the analysis are systematized along the technological chain of preparation and application of fuel, namely: determination (identification) of the product, Supplier's duty and responsibility during delivery, acceptance of aviation fuel and transfer of quality loss risks, regulations and methods for determining quality, occurrence of claims and sampling of aviation fuel. Recommendations have been formed for aviation fuel consumers, as a rule, airlines, and suppliers, as a rule, refueling companies, the use of which will ensure the airworthiness of aircraft in matters of aviation fuel quality.

Keywords: aviation fuel supply system for civil aviation, jet engine fuel, aviation fuels and lubricants, aviation fuel supply, refueling “in the wing”, supply contract, airworthiness maintenance, airlines

For citation: Stepanenko S. V., Maltsev O. G., Analysis of the quality aviation fuel accounting and recommendations for making requirements to the contracts in the aviation fuel supply system of civil aviation, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 65–74. (In Russ.)

Введение

Авиатопливообеспечение (АТО) воздушных перевозок – это комплекс мероприятий, направленный на обеспечение эксплуатации и обслуживания воздушных судов (ВС) кондиционными авиационными горюче-смазочными материалами (авиаГСМ) и специальными жидкостями (СЖ), который включает в себя прием, хранение, подготовку и выдачу на заправку, заправку ВС авиаГСМ и СЖ [1].

Современное состояние системы АТО воздушных перевозок, являющейся неотъемлемой частью системы поддержания летной годности ВС, характеризуется практически полным отсутствием действующих государственных нормативных документов. Функционирование системы АТО в части установления требований к качеству авиаГСМ и процедурам обеспечения полетов ВС авиаГСМ обеспечивается соблюдением участниками процесса формально необязательных норм и правил, изложенных в документах гражданской авиации (ГА), изданных в 90-х годах 20-го века и не прошедших регистрацию в Минюсте России, соблюдением условий договоров и контрактов, а также документов, оформленных в рамках системы добровольной сертификации объектов гражданской авиации (СДС ОГА).

Однако, в полном соответствии с законом неубывания энтропии, эта система, как и любая другая, предоставленная самой себе, то есть не управляемая извне, в данном случае со стороны государства, стремится к повышению энтропии – меры хаоса. Применительно к существующей сегодня системе АТО это выражается в незначительных на первый взгляд нарушениях общепринятых правил, которые в итоге, накапливаясь, могут привести к серьезным негативным последствиям в части обеспечения должного уровня безопасности полетов ВС ГА. Каждый участник системы АТО может привести примеры из собственной практики. Поэтому представляется важным мониторинг основных показателей системы АТО и фиксация их значений в ключевых точках функционирования этой системы.

Одним из таких основных показателей системы АТО является качество авиаГСМ, как способность обеспечивать летную годность ВС.

Текущее состояние системы АТО

Современные условия функционирования системы АТО ГА обусловлены влиянием ряда факторов, каждый из которых заслуживает отдельного рассмотрения и анализа его воздействия на эту систему.

1. Отмена с 2013 года обязательной сертификации авиационного топлива, в ходе которой оценивались стабильность технологии производства и качество топлива.

2. Отмена с 2015 года обязательной сертификации организаций по АТО воздушных перевозок и контролю качества авиаГСМ, в ходе которой оценивалась правильность соблюдения процедур.

3. Прекращение с 01.01.2021 действия Федеральных авиационных правил (ФАП) по АТО воздушных перевозок и контролю качества авиаГСМ и СЖ, в которых были сформулированы требования к организациям, обеспечивающим подготовку, заправку и контроль качества авиаГСМ и СЖ, а также ФАП по сертификации наземной техники.

4. Возложение требований по соблюдению ограничений, процедур и правил эксплуатации гражданского ВС исключительно на его эксплуатанта или владельца (ст. 37.1 п. 1 ВЗК РФ);

5. Вхождение основной части топливозаправочных компаний (ТЗК), как по количеству, так и по объему заправки, в состав вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК).

Рассмотрим влияние каждого из этих факторов.

Отмена обязательной сертификации авиационного топлива в совокупности с развитием новых технологий в области нефтепереработки дает возможность нефтеперерабатывающим заводам (НПЗ) самостоятельно изменять технологию производства авиационных топлив [2]. Инвестиционный потенциал ВИНК, в состав которых, как правило, входят НПЗ, позволяет выделять на это значительные средства. Целями изменений технологии являются: повышение глубины переработки, оптимизация выхода продукта, снижение издержек и т.д. Однако отслеживать влияние этих изменений на качество авиатоплива и его способность обеспечивать летную годность ВС производители на сегодняшний день не обязаны, в связи с чем при отсутствии регулярного мониторинга качества выпускаемых авиаГСМ возможно ухудшение качества в достаточно широком спектре: от комплексного изменения эксплуатационных свойств продуктов, влияние которого на безопасность полетов не изучено, до появления в авиаГСМ нехарактерных примесей, оказывающих отрицательное влияние на эксплуатационную безопасность ВС.

Отмена обязательной сертификации организаций по АТО воздушных перевозок и контролю качества авиаГСМ, а также прекращение действия ФАП, в которых были изложены требования к этим организациям, ограничило контроль со стороны государственных органов управления ГА такой важной части системы АТО как заправка ВС в аэропорту. Это позволяет топливозаправочным компаниям в аэропортах без внешних ограничений и контроля «оптимизировать» технологии работы с авиаГСМ с целью сокращения издержек. Вопросы совершенствования контроля качества авиаГСМ, особенно актуальные в свете влияния предыдущего фактора, фактически уходят на второй план. Контроль соблюдения ограничений, внесенных в сертификат ВС, правил и процедур обязательным не является.

Возложение требований по соблюдению ограничений, процедур и правил эксплуатации гражданского ВС в части АТО на его эксплуатанта (владельца) ставит последнего в сложное положение. Отсутствие формальных требований в части АТО и механизма их контроля со стороны государства вынуждает эксплуатантов содержать собственных специалистов, либо привлекать сторонних экспертов, поскольку компетенций и возможностей эксплуатантов ВС в части контроля качества авиаГСМ недостаточно. Попытки выстроить взаимоотношения и разграничить ответственность между эксплуатантами и ТЗК путем разработки руководства по наземному обслуживанию (РНО) и совместных инструкций оказываются, по нашему мнению, неэффективными. Основной причиной является то, что рыночные отношения превалируют над вопросами безопасности полетов, а существующих правовых рычагов, стимулирующих коммерческие ТЗК акцентировать внимание в своей деятельности, в первую очередь, на безопасности полетов ВС, недостаточно [3].

Переход значительной части ТЗК, более 50 % по количеству и 80 % по объему поставки авиатоплива, под контроль ВИНК оказывает на систему АТО ГА двоякое влияние. Из положительных

сторон можно отметить прозрачность поставок авиаГСМ, повышение их управляемости, инвестиции в модернизацию оборудования и контроль операционной деятельности со стороны головных компаний, как правило, специализированных – дочерних компаний ВИНК. Из отрицательных – возникновение и приоритет корпоративных интересов над производственными в цепочке «НПЗ – дочерняя компания – ТЗК – Авиакомпания», в особенности в вопросах контроля качества топлива и регулирования производственной деятельности. Отдельно следует отметить создание корпоративных стандартов, то есть внутренних нормативных документов головных компаний, обязательных для исполнения ТЗК, как инструмента управления ими.

В итоге складывается клановая система ТЗК, хорошо управляемая «внутри», то есть в пределах ВИНК, но, при отсутствии нормативных и регулирующих документов федерального уровня, не всегда контролируемая «снаружи», на уровне системы АТО ГА.

Существует еще один фактор, стабилизирующий сложившуюся систему АТО ГА, влияние которого позволяет поддерживать ее в рабочем состоянии и несколько снижает риски, возникающие вследствие действия всех предыдущих факторов. Это необходимость обеспечения безопасности полетов и риск ответственности за последствия ее нарушения. Именно этот фактор обуславливает функционирование системы СДС ОГА, которая по сути является системой экспертных оценок и процедур, добровольно используемых участниками системы АТО ГА.

Цель и методы исследования

Целью настоящего исследования является выработка и обоснование рекомендаций участникам системы АТО в аэропорту (как правило, это авиакомпании и ТЗК) по формированию в договорах поставки авиаГСМ комплекса требований к качеству поставляемых авиаГСМ с точки зрения их способности обеспечения летной годности ВС ГА, а также обеспечения ответственности за сохранение требуемого качества в процессе поставки [4, 5]. Применение таких рекомендаций будет способствовать снижению рисков эксплуатационной безопасности ВС и повышению уровня безопасности полетов путем установления требований к заправляемому авиаГСМ, процедурам их подготовки и контроля качества.

В статье рассматривается конечный этап обеспечения авиаГСМ ВС ГА – поставка авиаГСМ по договору, заключенному между авиакомпанией и ТЗК, так называемая поставка «в крыло». В статье не рассматриваются ни юридические, ни коммерческие аспекты договора. В статье также не рассматривается договор оказания услуг по заправке ВС. Авторами поставлена задача определить ключевые требования к предмету и процессу поставки с точки зрения обеспечения и сохранения качества авиаГСМ и придать этим требованиям формулировки, позволяющие их дальнейшее применение участниками системы АТО в практической деятельности в ГА.

Проведен анализ шести действующих договоров на поставку авиатоплива, из которых три являются типовыми договорами дочерних компаний ВИНК и используются во всей сети подконтрольных им ТЗК, а еще три договора применяются только в отдельных аэропортах/ТЗК. С учетом того, что три типовых договора обеспечивают поставку «в крыло» до 80 % заправляемого авиатоплива, выборка представляется достаточной. Три договора, не являющихся типовыми, представляют как бы контрольную группу для проверки исследуемой в статье гипотезы. Анализ проведен в части требований к качеству поставляемых авиаГСМ и ответственности поставщика, применения нормативных документов системы АТО как действующих сегодня, так и использовавшихся ранее.

В ходе подготовки статьи также использовались фактические материалы, полученные в результате работ по научно-методическому сопровождению эксплуатации гражданских ВС и независимой оценке соответствия организаций АТО воздушных перевозок и контроля качества авиаГСМ, проводимых при сертификации объектов ГА в рамках СДС ОГА.

Отражение вопросов качества авиаГСМ в действующих договорах поставки и заправки ВС

В настоящее время российская авиакомпания при выполнении полетов из аэропорта Российской Федерации, как правило, заключает единый договор на поставку авиаГСМ и заправку ВС. Контрагентом авиакомпании выступает либо дочерняя компания ВИНК, либо отдельный ТЗК, осуществляющий деятельность в данном аэропорту и зачастую аффилированный с ним. В дальнейшем такого контрагента будем называть «Поставщик», а саму авиакомпанию – «Заказчик».

Здесь же необходимо ввести понятие «Исполнитель» – юридическое лицо, которое принимает авиаГСМ, хранит их на складе и осуществляет непосредственную заправку ВС на аэродроме. Функции Поставщика и Исполнителя может выполнять как одно юридическое лицо, так и разные юридические лица. В последнее время ВИНК стараются разделить эти функции, работая через единого Поставщика в масштабах страны или региона и через свои ТЗК (в данном случае Исполнителя) в каждом аэропорту.

В случае единого договора на поставку авиаГСМ и заправку ВС такой договор проработан юристами дочерней компании ВИНК, составлен в ее интересах и является **типовым**. Для авиакомпании внести изменения в такой договор весьма затруднительно, а в части усиления контроля качества поставляемых и заправляемых авиаГСМ практически нереально. Кроме того, зачастую в договоре разделяется деятельность по поставке авиатоплива (относится на дочернюю компанию) и деятельность по приему, хранению, заправке ВС и контролю качества. Эти вопросы «перенаправляются» на ТЗК со ссылкой «в соответствии с установленной технологией», что затрудняет контроль со стороны авиакомпании.

Во втором случае заключения договора с отдельным («независимым») ТЗК, отстаивание авиакомпании своей позиции и закрепление ее в договоре более реально и зачастую выполняется в связи с заинтересованностью ТЗК и аэропорта в выполнении полетов. Чтобы подчеркнуть это отличие, будем называть такие договоры **индивидуальными**. Для грамотного отражения в договоре и дальнейшей проверки выполнения требований по качеству поставляемых авиаГСМ сотрудник авиакомпании должен обладать не только соответствующей квалификацией, но и опытом, что делает его редким и высокооплачиваемым специалистом. Не каждая авиакомпания может себе такого позволить.

Существует вариант работы, при котором авиакомпания самостоятельно закупает топливо (на бирже или у Поставщика), хранит его в аэропорту и заправляет ВС по отдельному (сервисному) договору с ТЗК в аэропорту. Этот вариант в данном исследовании не рассматривался, поскольку в настоящее время встречается достаточно редко из-за отсутствия у авиакомпаний оборотных средств и квалифицированного персонала для выполнения таких операций, а также из-за профицита авиатоплива в аэропортах. Но даже в этом случае вопросы качества авиаГСМ в договорах поставки и в договорах хранения и заправки ВС должны быть отражены в полном объеме.

Представляется целесообразным систематизировать результаты анализа договоров в вопросах качества авиаГСМ не по разделам договоров, а по технологической цепочке подготовки и применения топлива.

1. *Определение или идентификация продукта (вида авиаГСМ)*. Самым первым и необходимым требованием по качеству авиаГСМ является его соответствие государственному стандарту, в соответствии с которым топливо идентифицируется и определяются нормативные значения его характеристик. (Да, это именно так. Прежде, чем с продуктом работать, надо его фактически и юридически идентифицировать, а то случаи бывают разные.) Паспорт поставляемого топлива должен подтверждать соответствие фактических характеристик нормативным значениям. В двух договорах из шести ГОСТ 10227-86 не упомянут: в одном типовом и в одном индивидуальном. То есть предмет договора не определен.

2. *Обязанности и ответственность Поставщика при поставке.* Обязанность Поставщика обеспечить авиакомпанию авиатопливом в надлежащем количестве упомянута во всех договорах, а обязанность обеспечения качества топлива – только в трех договорах (50 %), все три договора индивидуальные. При этом методика определения качества ни в одном из договоров не конкретизируется. Нет ни описания методики, ни ссылок на нее. Качество авиаГСМ в разделе «Ответственность сторон» договора поставки упоминается в двух индивидуальных договорах.

Ответственность Поставщика за поставку авиатоплива ненадлежащего качества также упоминается во всех рассмотренных договорах совместно с количеством авиатоплива, при этом конкретных мер ответственности не предусмотрено. В сочетании с отсутствием методики определения качества топлива все это позволяет Поставщику снизить ответственность за поставку некачественного топлива или вообще избежать ее.

Ни в одном из договоров нет положения о том, что поставляемое авиатопливо должно обеспечивать летную годность ВС. То есть о том, что в топливе не должны присутствовать вещества и соединения, ухудшающие его эксплуатационные свойства (см. например п. 4.9 ТР ТС 013/2011), топливо должно быть произведено по апробированной на конкретном НПЗ технологии, а в случае модернизации технологии (например, смешения прямогонного топлива с крекингovým) должны быть проведены соответствующие испытания опытных образцов и получено одобрение к применению в порядке, сложившемся в ГА.

Для обеспечения летной годности ВС авиакомпании в части авиаГСМ Поставщик должен обеспечить выполнение всех этих требований, получив соответствующие документы от НПЗ. Конечно, для отдельных ТЗК это на первых порах будет затруднительно, но для дочерних компаний, которые представляют собой фактически подразделение ВИНК, проблемой не является. Подавляющая часть российских НПЗ указанные требования соблюдает.

3. *Прием авиатоплива от Поставщика и переход рисков потери качества.* Переход на авиакомпанию права собственности, а вместе с ним риска потери количества и качества авиатоплива отражен во всех договорах и осуществляется с момента пересечения топливом бортового приемного штуцера ВС (заправочной горловины) или наконечника нижней заправки.

Применение процедур контроля качества при приеме авиатоплива ни в одном договоре не оговорено. В качестве документального подтверждения качества авиатоплива упоминается только контрольный талон, номер которого должен быть указан в форме № 1ГСМ.

4. *Регламент и методы определения качества.* Если регламент и методы измерения количества топлива достаточно подробно рассмотрены во всех договорах, то регламент и методы определения качества подробно отражены только в одном индивидуальном договоре и еще в одном типовом договоре в общих чертах.

Во всех рассмотренных договорах подтверждением качества поставляемых авиаГСМ является Паспорт качества, выданный лабораторией ТЗК (который в данном случае рассматривается как Исполнитель).

Касательно методов измерения чистоты и качества авиаГСМ отмечено наличие в договорах:

- Ссылки на технологию работы ТЗК – 1 индивидуальный и 1 типовый договор, при этом Технология работы и Руководство по качеству, применяемые Исполнителем, могут быть предоставлены Заказчику по его просьбе.

- Обязательства Исполнителя иметь сертификат на проведение контроля качества и права Заказчика на аудит системы контроля качества Исполнителя – 1 индивидуальный договор.

- Ссылки на приказы № 89, № 126 ФСБТ России, отмененные с 01.01.2021, и ДВ-126 Минтранса России – один индивидуальный договор. В других договорах ссылок на нормативно-правовые акты нет.

- В одном из индивидуальных договоров указано: «Оператор может использовать или применять свои (фирменные) процедуры проверки качества и чистоты топлива, а также технологии

работ», без указаний конечной цели проведения данных мероприятий – оценки возможности заправки ВС. В данном контексте понятие «Оператор» идентично понятию «Исполнитель».

Таким образом, в договорах поставки (заправки) вопросы регламента и методов измерения качества и отражаются не всегда и не системно, зачастую без ссылок на соответствующую нормативную документацию. Зачастую используется термин «ненадлежащее качество топлива» без расшифровки этого понятия.

5. *Возникновение претензий по качеству топлива и отбор проб.* Эти вопросы нашли отражение как в типовых (2 из 3), так и в индивидуальных (все 3) договорах на поставку (заправку) авиатоплива, что подтверждает их актуальность и, тем самым, необходимость контроля качества в процессе обеспечения летной годности ВС.

Касательно претензий Заказчика по качеству топлива и отбора внеочередных проб по его требованию в договорах отмечено:

- Право экипажа (представителя Заказчика) требовать дополнительного контроля качества авиатоплива при заправке ВС с отбором проб из емкости средства заправки – один типового договор и один индивидуальный, при этом в индивидуальном договоре предусмотрено дополнительно проводить измерения температуры и плотности топлива.
- Право Заказчика требовать отбора проб топлива, предназначенного для заправки ВС (без уточнения – из резервуара или из средства заправки) с отбором арбитражной пробы – один типового договор и один индивидуальный.
- Право Заказчика на осуществление аудита системы контроля качества авиатоплива Исполнителя – один индивидуальный договор.
- Установление ГосНИИ ГА как места анализа арбитражных проб с безусловным признанием результатов анализа обеими сторонами Договора – один типового договор и два индивидуальных. Практика исследований показывает [6], что некоторые спорные вопросы могут быть разрешены только с применением самых современных исследовательских методов и оборудования, которыми располагает испытательная лаборатория авиаГСМ ГосНИИ ГА.

Рекомендации

Для создания безопасных условий эксплуатации авиационной техники и снижения рисков ГА путем обеспечения чистоты и качества заправляемых авиаГСМ, авторы считают целесообразным при заключении договоров поставки авиаГСМ между ТЗК и эксплуатантом (владельцем) ВС в обязательном порядке включать в договор:

- идентификацию продукта – указание марки топлива со ссылкой на государственный стандарт;
- ссылку на «Технологию деятельности» (ТЗК или дочерней компании) и методы определения качества, утвержденные Исполнителем и подтвержденные сертификатом СДС ОГА, а также право Заказчика требовать эти документы для ознакомления;
- ответственность Поставщика за качество авиаГСМ и СЖ, обеспечивающее его функциональное назначение (конечную цель потребления) и летную годность и гарантии поставщика согласно ст. 469 и 470 Гражданского Кодекса Российской Федерации на всех этапах движения авиаГСМ и СЖ к Заказчику. Переход ответственности должен быть однозначно определен во времени и пространстве;
- гарантии ТЗК использовать для заправки ВС только авиаГСМ, прошедшие подготовку в соответствии со сложившейся практикой работы ГА: идентификацию, прием, хранение, подготовку к выдаче, контроль качества авиаГСМ и оценку пригодности их к выдаче на заправку ВС, заправку ВС. Все заправляемые авиаГСМ должны иметь Паспорт качества (пригодности) к заправке на расходную емкость и Контрольный талон на средство заправки;

- порядок действий и решения спорных вопросов при обнаружении несоответствия уровня качества авиаГСМ и СЖ заявленному, в том числе при обнаружении скрытых недостатков/дефектов, в частности, порядок отбора дополнительных проб авиаГСМ по требованию Заказчика и направления их в ГосНИИ ГА для анализа на соответствие нормативным показателям и оценки чистоты;
- ответственность как Поставщика, так и Исполнителя за отсутствие в авиаГСМ веществ и соединений, ухудшающих эксплуатационные свойства. Если Поставщик и Исполнитель являются разными юридическими лицами, то на Исполнителя возлагается ответственность за сохранение качества полученных авиаГСМ;
- ответственность Поставщика за соблюдение технологии, неизменность используемых присадок, катализаторов при производстве поставляемой партии топлива в сравнении с опытными образцами, прошедшими испытания с положительными результатами (как изложено в п. 1.1 ГОСТ 10227-86) и необходимость получения одобрения к применению в порядке, сложившемся в ГА, что может быть подтверждено проведенной проверкой и соответствующим письмом ФГУП ГосНИИ ГА;
- необходимость определения качества авиаГСМ и их пригодности к заправке ВС только в лаборатории ГСМ, чей уровень компетенции подтвержден независимой сторонней организацией – ФГУП ГосНИИ ГА, действующей в рамках СДС ОГА.

Для упрощения применения указанных положений предлагается выделить в Договоре на поставку (заправку) отдельный раздел «Качество авиаГСМ», в котором должны быть собраны все положения, касающиеся взаимодействия сторон по Договору в данной области, по аналогии с документом IATA [7].

Учитывая тот факт, что интересы поставщика авиатоплива и эксплуатанта (владельца) ВС не всегда совпадают, и коммерческие интересы могут превалировать в вопросах обеспечения качества авиаГСМ, мы также считаем целесообразным рекомендовать эксплуатанту (владельцу) ВС использовать все законные рычаги и требования, направленные на обеспечение безопасности полетов ВС в части обеспечения их авиаГСМ, не ограничиваясь перечисленными.

Заключение

В применяемых в настоящее время в системе АТО ГА договорах на поставку (заправку) вопросы качества авиатоплива отражены не только не полностью, но и недостаточно для обеспечения должного уровня безопасности полетов ВС.

Как типовые (крупных ТЗК), так и индивидуальные (отдельных аэропортов и поставщиков) договора на поставку авиаГСМ по изложению вопросов качества авиатоплива принципиально не отличаются. И в типовых, и в индивидуальных договорах не всегда присутствуют обязательные положения, например, идентификация продукта, и, как правило, отсутствует даже упоминание такого важного свойства авиаГСМ как способность обеспечивать летную годность ВС.

Потребители продукта и услуг (заказчики) по таким договорам – авиакомпании – не настаивают на включении в договоры соответствующих положений, хотя несут всю ответственность за последствия, возникающие вследствие невозможности авиатоплива обеспечить летную годность ВС.

Единого подхода или устоявшейся практики отражения вопросов качества авиаГСМ в договорах поставки «в крыло» в процессе исследования не выявлено. Перечень вопросов, связанных с качеством авиаГСМ и обязательных для отражения в договоре, не сформирован ни в одном нормативном документе. Первой попыткой решения данного вопроса является издание Методических рекомендаций ФГУП ГосНИИ ГА [8, 9], в которых отражена необходимость включения в договоры между авиакомпаниями и поставщиками авиатоплива положений, конкретизирующих ответственность за качество авиаГСМ, границы перехода ответственности за него, а также необходимость обеспечения летной годности ВС поставляемыми продуктами.

Для корректного отражения вопросов качества авиаГСМ в договорах поставки, снижения рисков эксплуатационной безопасности ВС ГА [10] и обеспечения летной годности ВС необходима разработка либо нормативного документа, либо совокупности правил, оформленных в статусе методических рекомендаций.

Список источников

1. Об утверждении федеральных авиационных правил «Требования к операторам аэродромов гражданской авиации. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие операторов аэродромов гражданской авиации требованиям федеральных авиационных правил». Приказ Минтранса РФ от 25 сентября 2015 г. № 286. [Электронный ресурс]. URL: <https://favt.ru/public/materials/1/2/7/3/b/1273b0093f295d45f53da06e5fe8e8ab.pdf> (дата обращения: 29.04.2022).
2. О техническом регулировании. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021). [Электронный ресурс]. URL: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 29.04.2022).
3. Методология оценки эксплуатационного риска. Рабочая группа ARMS, 2007-2010. Международная организация гражданской авиации, 2010. 72 с. [Электронный ресурс]. URL: https://zs.favt.ru/public/materials/files/6_%20Metodologija_ARMS.pdf (дата обращения: 09.05.2022).
4. Doc 9977 AN/489. Руководство по снабжению гражданской авиации реактивным топливом. Международная организация гражданской авиации. 2012. 48 с. [Электронный ресурс]. URL: http://aerohelp.ru/sysfiles/374_368.pdf (дата обращения: 05.05.2022).
5. О стандартизации в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (дата обращения: 29.04.2022).
6. Горожин А. В., Ковба Л. В., Азжеурова О. Б., Морозова Н. В., Кондукова Н. П. Отдельные аспекты результатов исследования образцов авиатоплива, отобранных в связи с инцидентами с воздушными судами // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 21. С. 70–82.
7. Aviation Fuel Supply Model Agreement, 5th ed., IATA, Montreal – Geneva, 2017.
8. Методические рекомендации. Рекомендации по применению авиаГСМ. Изд. 1. Москва: ГосНИИ ГА, 2021. 28 с.
9. Методические рекомендации. Рекомендации по применению авиаГСМ. Методические рекомендации по заправке вертолетной техники, задействованной при ликвидации чрезвычайных ситуаций на неподготовленных площадках. Изд. 3. Москва: ГосНИИ ГА, 2022. 24 с.
10. ГОСТ Р ИСО 31000-2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. Москва: Стандартинформ, 2018. 21 с.

References

1. Ob utverzhdenii federal'nykh aviatsionnykh pravil "Trebovaniya k operatoram aehrodromov grazhdanskoj aviatsii. Forma i poryadok vy'dachi dokumenta, podtverzhdayushhego sootvetstvie operatorov aehrodromov grazhdanskoj aviatsii trebovaniyam federal'nykh aviatsionnykh pravil", Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation 25 September 2015 No 286 [Electronic resource], available at: <https://favt.ru/public/materials/1/2/7/3/b/1273b0093f295d45f53da06e5fe8e8ab.pdf> (accessed 29.04.2022). (In Russ.)
2. On technical regulation, Federal Law No. 184-FZ of December 27, 2002 (ed. 02.07.2021), available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (accessed 20.09.2018). (In Russ.)
3. ARMS Methodology for Operational Risk Assessment (2007-2010), International Civil Aviation Organization, 2010, 72 p., available at: <https://www.easa.europa.eu/document-library/general-publications/arms-methodology-operational-risk-assessment-2007-2010> (accessed 10.05.2022).

4. Doc 9977 AN/489. Manual on civil aviation jet fuel supply, 1st Ed., International Civil Aviation Organization, 2012, 48 p., available at: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2477.pdf> (accessed 05/05/2022).
5. About Standardization in the Russian Federation, Federal Law of June 29, 2015 162-FZ, [Electronic resource], available at: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (accessed 15.04.2022). (In Russ.)
6. Gorozhin A. V., Kovba L. V., Azzheurova O. B., Morozova N. V., Kondukova N. P., Specific aspects of the investigation results of the aviation fuel samples selected due to aircraft incidents, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2018, no. 21, pp. 70-82. (In Russ.)
7. Aviation Fuel Supply Model Agreement, 5th ed., IATA, Montreal – Geneva, 2017.
8. Metodicheskie rekomendatsii. Rekomendatsii po primeneniyu aviaGSM, Ed. 1, Moscow, GosNII GA publ., 2021, 28 p. (In Russ.)
9. Metodicheskie rekomendatsii. Rekomendatsii po primeneniyu aviaGSM. Metodicheskie rekomendatsii po napravke vertoletnoj tekhniki, zadejstvovannoj pri likvidatsii chrezvy`chajnykh situatsij na nepodgotovlennykh ploschadkax, Ed. 3, Moscow, GosNII GA Publ., 2022, 24 p. (In Russ.)
10. State Standard R ISO 31000-2010. Risk management. Principles and guidance, Moscow, Standartin-form Publ., 2018, 21 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Степаненко Сергей Васильевич, заместитель директора Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, ssv-nc28@mail.ru

Мальцев Олег Германович, руководитель направления аэропортовой деятельности и авиатопливообеспечения, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия Федерация, maltsev_oleg@bk.ru

Authors information

Stepanenko Sergey V., Deputy Director Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, ssv-nc28@mail.ru

Maltsev Oleg G., Head of the Airport Activities and Aviation Fuel Supply, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, maltsev_oleg@bk.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 11.05.2022; принята к публикации 19.05.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 11.05.2022; accepted for publication 19.05.2022.

Научная статья
УДК 623.746:615.47

БЕСПИЛОТНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ КОМПЛЕКС

Л. А. ВЕЛИКАНОВА¹, Е. С. ЛЕГОСТАЕВА¹, Е. А. ЛИСИЧЕНКО¹, Н. А. ДЬЯКОВА²

¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

² Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье приводятся результаты проведенного анализа существующих беспилотных летательных аппаратов, определена их пригодность к использованию в качестве носителей полезной нагрузки в виде аэромобильного медицинского контейнера для транспортирования биологических материалов. Обоснована актуальность и экономическая эффективность применения беспилотных медицинских комплексов при оказании скорой медицинской помощи и при транспортировании биологических материалов. Представленный анализ литературы патентного характера свидетельствует о проведении конструкторских работ по созданию перспективных беспилотных летательных аппаратов, способных на внешней подвеске транспортировать полезную нагрузку в виде медицинских контейнеров различного назначения. Подтверждена актуальность создания аэромобильных медицинских контейнеров для транспортирования различных биологических материалов с сохранением в необходимом интервале времени их заданных физических параметров. Разработана конструкция беспилотного медицинского комплекса для воздушного транспортирования биологических материалов. Предложена оригинальная конструкция аэромобильного медицинского контейнера для транспортирования биологических материалов, предусматривающая возможность его автоматического обеззараживания в случае нарушения целостности пробирок с биоматериалом.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, аэромобильный медицинский контейнер, беспилотный медицинский комплекс, биологические материалы, обеззараживание

Для цитирования: Великанова Л. А., Легостаева Е. С., Лисиченко Е. А., Дьякова Н. А. Беспилотный медицинский комплекс // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 75–83.

UNMANNED MEDICAL COMPLEX

L. A. VELIKANOVA¹, E. S. LEGOSTAEVA¹, E. A. LISICHENKO¹, N. A. DYAKOVA²

¹ Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract. The analysis of existing unmanned aerial vehicles was carried out, their suitability for use as payload carriers in the form of an airmobile medical container for the transportation of biological materials was determined. The relevance and economic efficiency of the use of unmanned medical complexes in the provision of emergency medical care and in the transportation of biological materials is substantiated. The analysis of patent literature is carried out, indicating that design work is being carried out to create promising unmanned aerial vehicles capable of transporting a payload in the form of medical containers for various purposes on an

external suspension. The urgency of creating airmobile medical containers for the transportation of various biological materials with the preservation of their specified physical parameters in the required time interval is confirmed. The design of an unmanned medical complex for the air transportation of biological materials has been developed. An original design of an airmobile medical container for transporting biological materials is proposed, which provides for the possibility of its automatic disinfection in case of violation of the integrity of test tubes with biomaterial.

Keywords: unmanned aerial vehicle, airmobile medical container, unmanned medical complex, biological materials, disinfection

For citation: Velikanova L. A., Legostaeva E. S., Lisichenko E. A., Dyakova N. A., Unmanned medical complex, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 75–83. (In Russ.)

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), используемые в медицинских целях, способны доставлять медикаменты и оборудование в отдаленные и в труднодоступные районы и помогают оперативно оценить обстановку в экстренных случаях, в том числе при совершении нештатных посадок воздушных судов на аэродромы. Кроме того, все чаще беспилотные медицинские комплексы (БМК) используются для оказания экстренной помощи пострадавшим. Введение термина «беспилотный медицинский комплекс» обусловлено тем, что общепринятое понятие «комплекс» в технике подразумевает два и более специализированных изделия, не соединенных на предприятии–изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Также данный термин предложен, обоснован и рекомендован экспертами Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации.

Благодаря встроенным видеокамерам БМК можно использовать для мониторинга развития ситуации, что способствует оперативному принятию мер по оказанию помощи пострадавшим. БМК позволяет в короткий промежуток времени произвести разведку участков местности, прилегающих к месту развития чрезвычайной ситуации, определить наиболее опасные участки. Таким образом, будет затрачено меньше времени, что повысит вероятность своевременного оказания медицинской помощи.

В проводимых в настоящее время исследованиях отмечается, что отсутствие необходимых медицинских препаратов и медицинского оборудования в критических ситуациях является основной причиной, вызывающей летальный исход в труднодоступных районах. БМК способны оперативно и эффективно доставлять лекарственные препараты, медицинское оборудование и биологические материалы в удаленные районы, при этом наличие машинного зрения позволяет им распознавать препятствия, встречающиеся на пути, и избегать столкновения с ними. В ряде стран БПЛА используются для доставки донорской крови и других биологических материалов.

Крупнейшие производители БПЛА мультироторного типа уверены, что применение новых технологий будет способствовать повышению эффективности этих устройств и востребованности их в экстренных ситуациях.

Полезная нагрузка, используемая в БМК, может представлять собой медицинский контейнер, оборудованный внутри кронштейнами для крепления медицинского оборудования и диагностических приборов. Существуют БПЛА, способные дистанционно определять частоту пульса и дыхания людей, и по этим данным специалисты могут поставить предварительный диагноз для оказания грамотной медицинской помощи пострадавшим в авиационных, техногенных и других катастрофах, автомобильных авариях, а также в зонах боевых действий.

Прорабатывается вопрос использования БМК для оказания скорой медицинской помощи. Проведенный хронометраж показал, что беспилотная скорая медицинская помощь способна

прибыть в место назначения в четыре раза быстрее автомобиля. Планируется также использовать БМК для доставки лекарств, анализов, донорской крови, биологических материалов, органов, устройств для реанимации и эвакуации пострадавших.

Компоновка БМК может быть осуществлена следующим образом: в качестве носителя предлагается использовать БПЛА мультироторного типа, в нижней части которого размещен медицинский модуль (рис. 1).



Рис. 1. Компоновка БМК

Анализ литературы патентного характера свидетельствует о проведении в настоящее время работ по созданию перспективных БПЛА мультироторного и вертолетного типов с улучшенными тактико-техническими характеристиками, которые могут быть использованы в медицинских целях [1–4].

Однако не все типы БПЛА могут быть использованы в медицинских целях ввиду невозможности их вертикального взлета или посадки, а также недостаточной грузоподъемности, обусловленной силой тяги, создаваемой воздушными винтами БПЛА мультироторного типа. С целью проведения инженерных расчетов для определения основных параметров функционирования БПЛА мультироторного типа российскими учеными разработаны математические модели, методики расчета количественных показателей и программы для ЭВМ [5–8], которые позволили рассчитать экономическую эффективность применения БМК в сравнении с автомобильным транспортом, используемым в настоящее время для этих целей. Так, приведенные удельные затраты на транспортировку медицинских материалов, измеряемые в финансовых вложениях (рублях), на перемещение 1 кг на 1 км, показывают, что БМК в шесть раз эффективнее автомобильного транспорта при доставке 10 кг медицинских материалов на 25 км за один эксплуатационный цикл.

В рамках проведенных исследований вопросы метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений при проектировании, производстве, испытаниях и эксплуатации БМК не рассматривались, что не исключает возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в процессе применения БМК [9]. В дальнейшем на этапе опытно-конструкторских работ по проектированию БМК следует решить вопросы оценки адекватности математической

модели; проработать метрологические аспекты автономного программного обеспечения (АПО), используемого при решении измерительных задач, относящихся к категории косвенных измерений, в том числе расчетов максимального взлетного веса БМК, необходимой емкости его аккумуляторной батареи, продолжительности полета и других. Одновременно АПО должно будет пройти сертификацию, аттестацию или тестирование как программное обеспечение, применяемое при измерениях [10–12].

В России насчитываются единицы запатентованных технических решений по конструкции БМК, одно из них предложено авторами этой статьи [13].

Также ведутся разработки медицинских контейнеров для транспортировки с сохранением заданных параметров различных биологических материалов [14, 15]. Но эти контейнеры не обладают необходимой аэромобильностью и не могут быть транспортированы на внешней подвеске БПЛА.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод об актуальности задачи проведения научных исследований по разработке аэромобильных медицинских контейнеров для транспортирования биологических материалов БПЛА.

Постановка задачи и структурный синтез БМК

При разработке технического облика БМК для транспортировки биологических материалов основной задачей является рациональное размещение полезной нагрузки на БПЛА с сохранением его тяговых показателей, создаваемых аэродинамической подъемной силой, заданных характеристик маневренности, а также целостности полезной нагрузки при посадке.

Данные требования могут быть учтены путем оборудования БПЛА удлиненными опорными стойками, позволяющими разместить в нижней части медицинский контейнер; такая компоновка позволит повысить устойчивость комплекса за счет приближения центра масс устройства к опорной поверхности.

При этом контейнер предлагается выполнить в виде аэромобильного корпуса, изготовленного из термоизоляционного материала и имеющего возможность крепления к БПЛА мультироторного типа. Крышку контейнера предлагается оснастить воздушным фильтром для выравнивания давления во внутренней полости контейнера с атмосферой, а также механизмом крепления. Корпус контейнера предлагается разделить на полости для отдельного размещения пробирок с лекарственными препаратами или биоматериалом, а для удержания их в вертикальном положении установить направляющие ребра. В центральной части контейнера необходимо разместить герметично закрывающийся цилиндр с обеззараживающей жидкостью и оборудовать его выпускными клапанами. В днище контейнера расположить датчики контроля целостности пробирок с биоматериалом и источник питания.

Предлагаемый БМК содержит БПЛА мультироторного типа, в нижней части которого закреплен медицинский контейнер, состоящий из крышки, корпуса и видеокамеры. Контейнер оборудован направляющими для крепления герметичных пробирок, емкостью с обеззараживающей жидкостью, датчиками контроля целостности пробирок, источником питания и выпускными клапанами, срабатывающими в случае вытекания биоматериалов из пробирок по сигналу датчиков контроля их целостности.

Данный БМК позволяет производить транспортировку биологических материалов на удаление до 400 км при массе полезной нагрузки до 5 кг при применении спутниковых каналов управления и навигации. Комплекс способен транспортировать медицинский контейнер массой до 30 кг с соблюдением требований по поддержанию аэродинамической устойчивости и плавности посадки. Общий вид беспилотного медицинского комплекса представлен на рис. 2.

Основные элементы конструкции разработанного медицинского контейнера для воздушного транспортирования биологических материалов представлены на рис. 3.

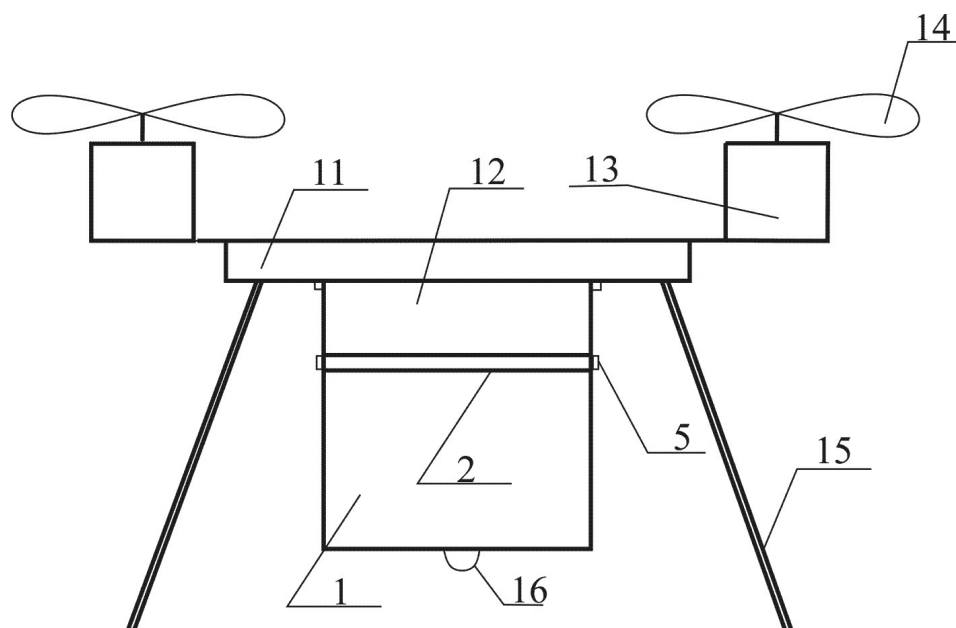


Рис. 2. Беспилотный медицинский комплекс:
корпус контейнера – 1, крышка контейнера – 2, механизм крепления контейнера к БПЛА – 5
БПЛА – 11, электронный блок управления – 12, силовые установки БПЛА – 13 винты – 14,
стойки – 15, видеокамера – 16

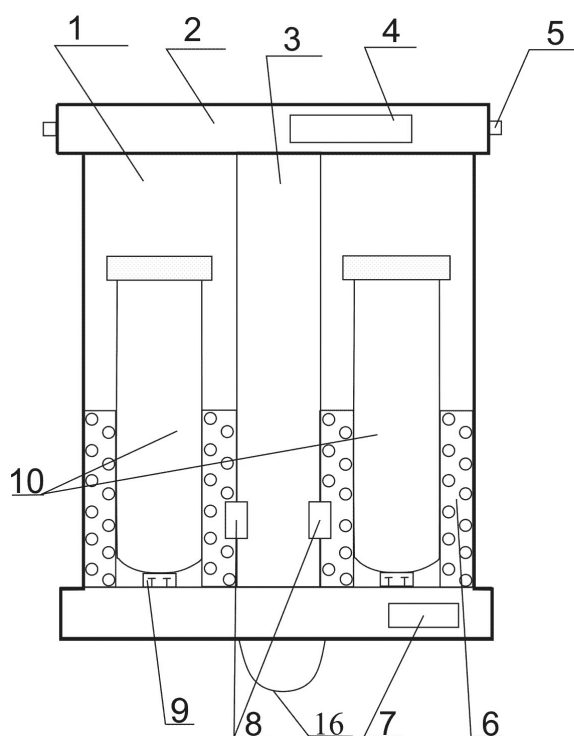


Рис. 3. Медицинский контейнер для транспортирования биологических материалов:
контейнер – 1, крышка контейнера – 2, цилиндр с обеззараживающим средством – 3,
фильтрующий элемент – 4, механизм крепления – 5, направляющие для крепления пробирок – 6,
аккумуляторная батарея – 7, клапан подачи обеззараживающей жидкости в отсек контейнера – 8,
датчик, отслеживающий герметичность пробирок с биоматериалом – 9, герметичные пробирки – 10,
видеокамера – 16

Особенности размещения элементов медицинского контейнера представлены на рис. 4.

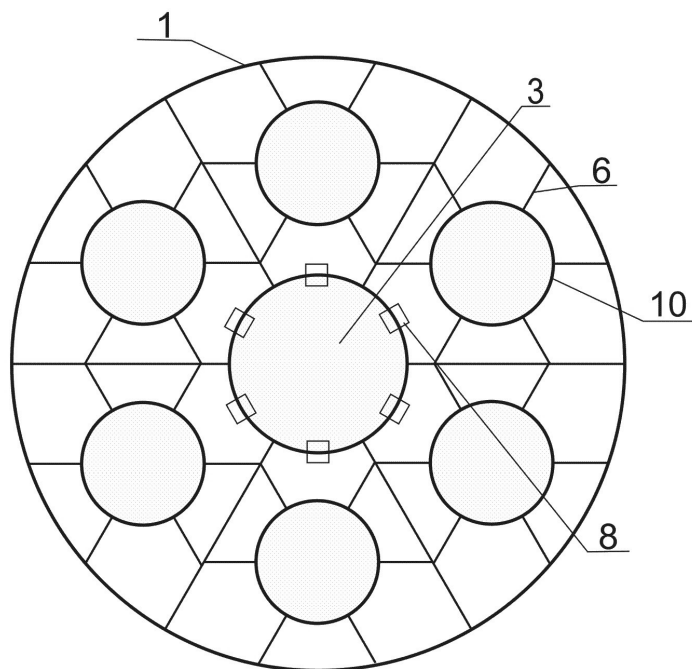


Рис. 4. Медицинский контейнер (вид сверху):
корпуса контейнера – 1, емкости с обеззараживающей жидкостью – 3,
направляющие для крепления пробирок – 6, пробирки с биоматериалом – 10

Работа системы обеззараживания аэромобильного медицинского контейнера для воздушно-го транспортирования медицинских препаратов и (или) биоматериалов может быть рассмотрена на электрической схеме, представленной на рис. 5.

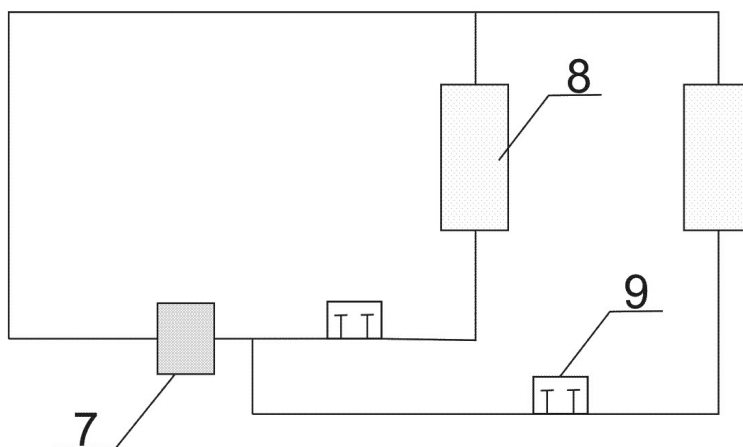


Рис. 5. Электрическая схема медицинского контейнера:
аккумуляторная батарея – 7, клапана подачи обеззараживающей жидкости в отсек контейнера – 8,
датчик слежения за герметичностью пробирок с биоматериалом – 9

Конструкция БМК состоит из следующих элементов: БПЛА 11, в состав которого входит электронный блок управления 12 и двигатели 13, на валах роторов которых в верхней части установлены винты 14. Снизу крепится аэромобильный контейнер 1. Для поддержания устойчивости пробирок используются направляющие 6, а в стенках емкости с обеззараживающей жидкостью 3 установлены электромагнитные клапаны 8.

Работу беспилотного медицинского комплекса можно описать следующим образом. Перед началом полета медицинский персонал устанавливает пробирки с биоматериалом 10 в отсеки контейнера, закрывает его крышкой 2 и подстыковывает к БПЛА. Далее оператор управления отправляет БКМ в пункт назначения. Высота полета определяется, исходя из условий местности, но обычно не превышает нескольких сотен метров. При изменении атмосферного давления от высоты полета или погодных условий оно будет выравниваться во внутренней полости аэромобильного медицинского контейнера за счет ее соединения с атмосферой через воздушный фильтр. При возникновении подтекания из пробирок возможно зараженного биологического материала, являющегося электролитом, в днище контейнера, он замыкает контакты датчика 9. В этом случае питание подается на электромагнитный клапан, обеспечивающий подачу обеззараживающей жидкости и нейтрализацию зараженной среды.

Изготовить рассмотренный в статье БМК возможно из элементной базы, выпускаемой промышленностью. Так, например, Российская компания «Aerodyne.tech», расположенная в Санкт-Петербурге, производит БПЛА, выполненный по схеме соосного октокоптера «Прометей», способного работать с нагрузкой массой до 30 кг, обеспечивая дальность полета от 120 до 400 км в зависимости от массы полезной нагрузки. БПЛА «Прометей» оснащен гибридной силовой установкой, включающей поршневой двигатель внутреннего сгорания с генератором, буферную аккумуляторную батарею и винтовую группу на электромоторах.

Заключение

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов и рекомендаций.

Анализ конструкций существующих БПЛА показал, что они пригодны к использованию в качестве носителей полезной нагрузки в виде аэромобильного медицинского контейнера для транспортирования биологических материалов.

Применение БМК при оказании скорой медицинской помощи и при транспортировании биологических материалов является актуальным и экономически эффективным.

Предложенная оригинальная конструкция аэромобильного медицинского контейнера для транспортирования биологических материалов предусматривает возможность его автоматического обеззараживания в случае нарушения целостности пробирок с биоматериалом.

Для снижения аэродинамического сопротивления встречному воздушному потоку рекомендуется медицинскому контейнеру придавать обтекаемую форму или изготавливать в виде цилиндра с диаметром, не допускающим пересечение воздушного потока, создаваемого винтами мультироторного БПЛА.

Список источников

1. Пат. РФ № RU 139238 / А. В. Богомолов, М. Д. Алехин, А. В. Русскин // Изобретения. Полезные модели. 2014. № 10.
2. Пат. РФ № RU 2707154 C1 /А. Ф. Чабак // Изобретения. Полезные модели. 2019. № 33.
3. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами: монография. Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА / под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Татарского. Москва: Радиотехника, 2016. 824 с.
4. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами: монография. Кн. 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА / под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Татарского. Москва: Радиотехника, 2016. 512 с.
5. Арзамасцев А. А., Крюков А. А. Математическая модель для инженерных расчетов летательного аппарата мультироторного типа (ч. 1) // Вестник Тамбовского государственного университета. 2014. Т. 19. Вып. № 6. С. 1821–1828.

6. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019619737 / Л. А. Великанова, С. С. Земцов, А. С. Рыжков, Е. С. Легостаева, Е. А. Лисиченко, В. В. Чернышов, А. В. Яриков // Программы для ЭВМ. Базы данных. ТИМС. № 8. 2019.
7. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2019660077 / Е. С. Легостаева, Л. А. Великанова, Е. А. Лисиченко, В. В. Чернышов, А. В. Яриков, А. С. Рыжков, С. С. Земцов // Программы для ЭВМ. Базы данных. ТИМС. № 8. 2019.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019661325. / Е. А. Лисиченко, Е. С. Легостаева, Л. А. Великанова, В. В. Чернышов, А. В. Яриков, А. С. Рыжков, С. С. Земцов // Программы для ЭВМ. Базы данных. ТИМС. № 9. 2019.
9. Богоявленский А. А., Боков А. Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>
10. Богоявленский А. А., Боков А. Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2012-11-14-22>
11. Богоявленский А. А. Аттестация испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 199 (1). С. 126–133.
12. Богоявленский А. А., Боков А. Е., Ермолаева О. Л., Матюхин К. Е. О сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых в гражданской авиации // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА. 2010. Вып. 311. С. 86–90.
13. Пат. РФ № RU 2726390 C2 / Л. А. Великанова, С. С. Земцов, А. С. Рыжков, Е. А. Лисиченко, В. В. Чернышов, А. В. Яриков // Изобретения. Полезные модели. 2020. № 20.
14. Пат. РФ № RU 2183446 C2 / Б. Густавсон, С. Лундмарк, Ч. Берглунд, К. Броолинг, О. Сколинг // Изобретения. Полезные модели. 2002. № 17.
15. Пат. РФ № RU 2284807 C1 / М. Ю. Попов // Изобретения. Полезные модели. 2006. № 28.

References

1. Bogomolov A. V., Alekhin M. D., Russkin A. V., RF Patent no. 139238 U1, *Inventions. Utility models*, no. 10 (2014).
2. Chabak A. F., RF Patent no. 139238, *Inventions. Utility models*, no. 33 (2019).
3. *Kompleksy s bespilotnymi letatel'nyimi apparatami. Monografiya. Kniga 2. Robototekhnicheskie komplekсы na osnove BLA [Complexes with unmanned aerial vehicles. Robotic complexes based on UAVs. Monograph. Book 2]*, Ed. V. S. Verba, B. G. Tatarsky, Moscow, Radiotekhnika Publ., 2016, 824 p. (In Russ.)
4. *Kompleksy s bespilotnymi letatel'nyimi apparatami. Monografiya. Kniga 1. Printsipy postroeniya i osobennosti primeneniya komplekсов s BLA [Complexes with unmanned aerial vehicles: monograph. Book 1. Principles and application of complexes with UAVS]*, Ed. V. S. Verba, B. G. Tatarsky, Moscow, Radiotekhnika Publ., 2016, 512 p. (In Russ.)
5. Arzamastsev A. A., Kryukov A. A. Mathematical model for engineering calculations of aircrafts of multi-rotor type (part 1), *Tamov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2014, vol.19, no. 6, pp. 465–468. (In Russ.)
6. Velikanova L. A., Zemtsov S. S., Ryzhkov A. S., Legostaeva E. S., Lisichenko E. A., Chernyshov V. V., Yarikov A. V., Certificate of registration of the computer program, no. 2019619737, *Computer programs, databases*, TIC, no. 8 (2019).
7. Legostaeva E. S., Velikanova L. A., Lisichenko E. A., Chernyshov V. V., Yarikov A. V., Ryzhkov A. S., Zemtsov S. S., Certificate of registration of the computer program, no. 2019660077, *Computer programs, databases*, TIC, no. 8 (2019).

8. Lisichenko E. A., Legostaeva E. S., Velikanova L. A., Chernyshov V. V., Yarikov A. V., Ryzhkov A. S., Zemtsov S. S., Certificate of registration of the computer program, no. 2019661325, *Computer programs, databases*, TIC, no. 9 (2019).
9. Bogoyavlensky A. A., Bokov A. E., Statement of the Problem of Developing Metrological Risk Management Methods for Negative Situations in Aviation Activity, *The World of Measurements*, 2013, no. 10, pp. 3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>
10. Bogoyavlensky A. A., Bokov A. E., Attestation of special MI software on air transport, *The World of Measurements*, 2012, no. 11, pp. 14–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2012-11-14-22>
11. Bogoyavlensky A. A., Attestation of test equipment of units and assemblies of aviation equipment, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2014, no. 199 (1), pp. 126–133. (In Russ.)
12. Bogoyavlensky A. A., Bokov A. E., Ermolaeva O. L., Matyukhin K. E., On certification of software measuring instruments and information and measuring systems used in civil aviation, *Sbornik nauchny'x trudov GosNII GA*, 2010, Iss. 311, pp. 86–90. (In Russ.)
13. Velikanova L. A., Zemtsov S. S., Ryzhkov A. S., Lisichenko E. A., Chernyshov V. V., Yarikov A. V., RF Patent no. 2726390 C2, *Inventions. Utility models*, no. 33 (2019).
14. Gustavson B., Lundmark S., Berglund Ch., Brooling K., Skoling O., RF Patent no. 2183446 C2, *Inventions. Utility models*, no. 17 (2002).
15. Popov M. Yu., RF Patent no. 2284807 C1, *Inventions. Utility models*, no. 28 (2006).

Информация об авторах

Великанова Лариса Алексеевна, младший научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, Velar1966@mail.ru

Легостаева Елена Степановна, научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, legelen36@gmail.com

Лисиченко Елена Александровна, младший научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, LenaLisich@mail.ru

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, ninotchka_V89@mail.ru

Authors information

Velikanova Larisa A., Junior Researcher, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, Velar1966@mail.ru

Legostaeva Elena Stepanovna, Researcher, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, legelen36@gmail.com

Lisichenko Elena Aleksandrovna, Junior Researcher, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, LenaLisich@mail.ru

Dyakova Nina Alekseevna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor of Department, Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninotchka_V89@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2022; одобрена после рецензирования 04.05.2022; принята к публикации 17.05.2022.

The article was submitted 14.03.2022; approved after reviewing 04.05.2022; accepted for publication 17.05.2022.

Научная статья
УДК 004.8:629.73

СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАМКАХ СОВРЕМЕННЫХ ЗАДАЧ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С. А. ГАРАНИН, А. Ю. КОНЬКОВ, В. Ю. БРУСНИКИН, А. Н. ШАРЫПОВ, С. В. КОВАЛЬ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены аналитический обзор и обобщенные результаты теоретического исследования проблемы создания и использования искусственного интеллекта (ИИ) применительно к современным задачам гражданской авиации. Работы в области ИИ, которые особенно интенсивно ведутся в последнее время, хотя начались они уже много лет назад, направлены главным образом на то, чтобы научить компьютер более эффективно использовать источники информации, которые пока им мало освоены. Наиболее эффективными являются экспертные системы в узкоспециализированных областях, например, в Информационно-аналитическом Центре (ИАЦ) ФГУП ГосНИИ гражданской авиации создана информационно-аналитическая система мониторинга летной годности воздушных судов (ИАС МЛГ ВС), которая охватывает в рамках единого информационного пространства все субъекты гражданской авиации. Одним из важных путей, облегчающих понимание компьютером аналогий, является представление информации о сравниваемых объектах в более удобном виде. Важно также, чтобы программы могли накапливать и сохранять свой собственный опыт на протяжении длительного времени и обучаться в процессе взаимного общения. Работы в области искусственного интеллекта ориентируются в конечном итоге на нужды и запросы практики и являются одним из факторов, расширяющих диапазон применения информационных систем в гражданской авиации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, информационная система, компьютерные технологии, диагностические программы, алгоритмы обработки информации, интеллектуальная система, математические модели, авиационная техника

Для цитирования: Гаранин С. А., Коньков А. Ю., Брусникин В. Ю., Шарыпов А. Н., Коваль С. В. Системы искусственного интеллекта в рамках современных задач гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 84–91.

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE FRAMEWORK OF MODERN CIVIL AVIATION TASKS

S. A. GARANIN, A. YU. KONKOV, V. YU. BRUSNIKIN, A. N. SHARYPOV, S. V. KOVAL

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

Abstract. The article presents an analytical review and generalized results of a theoretical study of the problem of creating and using artificial intelligence (AI) in relation to modern tasks of civil aviation. The work in the field of AI, which has been particularly intensive recently, although it began many years ago, is mainly aimed at teaching the computer to use sources that it has not yet mastered enough. The most effective are expert systems in highly specialized areas, for example, the Information and Analytical Center of the The State

Scientific Research Institute of Civil Aviation has created an information and analytical system for monitoring the airworthiness of aircraft, which covers all subjects of civil aviation entities within the unified information space. One important way to make it easier for a computer to understand analogies is to present information about the objects being compared in a more convenient way. It is also important that the programs can accumulate and retain their own experience over a long period of time and learn through mutual communication. Works in the field of artificial intelligence are ultimately focused primarily on the needs and requirements of practice and are one of the factors that expand the range of application of information systems in civil aviation.

Keywords: artificial intelligence, information system, computer technologies, diagnostic programs, information processing algorithms, intelligent system, mathematical models, aviation technology

For citation: Garanin S. A., Konkov A. Yu., Brusnikin V. Yu., Sharypov A. N., Koval S. V., Development of artificial intelligence systems in the framework of modern civil aviation tasks, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 84–91. (In Russ.)

Введение

Вопрос: «Может ли машина мыслить?» стоит давно. Специалисты-гуманитарии, психологи, как правило, встречали в штыки саму идею о возможности «искусственного разума», апеллируя, прежде всего, к тому, что человеческий мозг – это система принципиально иного, качественно более высокого уровня сложности по сравнению с любыми техническими системами. Активные сторонники чисто кибернетической трактовки мышления настаивали на воспроизводимости всех без исключения сторон человеческого мышления с помощью компьютерных систем, часто совершенно не принимая во внимание как технические возможности, так и вопрос о целесообразности такого воспроизведения. Постепенно острота дискуссий снизилась, стали лучше пониматься фактические и терминологические трудности, а также ненужность чрезмерно эмоционального подхода к проблеме. Работы по искусственному интеллекту широко ведутся во многих странах, хотя спорных вопросов остается немало [1].

Проблема искусственного интеллекта (ИИ) – одна из тех, где тесно переплетены содержательные и терминологические аспекты и отделить их друг от друга довольно сложно. Вопрос терминологии здесь важен, поскольку речь идет не просто о новом техническом термине, но о понятии, тесно связанном с философскими и психологическими категориями, принципами, имеющими длительную историю развития, свои традиции, несущими определенную идеологическую нагрузку [2]. Интеллект характеризует относительно устойчивую структуру умственных способностей индивида, которые проявляются, в частности, в умении воспринимать информацию и использовать ее для решения тех или иных задач. Данное понятие применяется и для описания высшей формы психической деятельности. Речь идет об отражении ими различных отношений и связей окружающей среды, о нестереотипном поведении, обусловленном накоплением предшествующего индивидуального опыта.

Не все задачи, решаемые с помощью компьютерных систем, считают интеллектуальными. Дело в том, что эта характеристика подразумевает некоторый элемент неопределенности, содержащейся в задаче, когда точный алгоритм ее решения либо не известен, либо его не существует. Если же, сколь бы сложной ни была задача, человек уже нашел конкретный путь (алгоритм) ее решения, разработал соответствующую программу, он тем самым осуществил всю интеллектуальную часть работы, оставив на долю машины чисто механическое выполнение действий, определенных программой. Но многие задачи не удастся решить таким путем, во-первых, когда не найден нужный алгоритм, во-вторых, когда он известен, но практически его применить нельзя, поскольку он требует выполнения слишком большого числа операций. К таким задачам относятся, например, понимание компьютером естественного языка и машинный перевод, распознавание образов, создание игровых программ и многие другие [3].

Когда человек сталкивается с подобными задачами, он обычно не стремится найти какой-то один, абсолютно эффективный, метод решения (которого может и не быть), а использует в процессе решения различные методы и приемы, источники информации [4]. Он может применять законы логики, математические теоремы или менее точные правила, основанные на опыте, расчленив трудную задачу на несколько более легких или рассуждать по аналогии с теми задачами, которые были решены ранее. Человек проявляет гибкость и многосторонность своего мышления, действует, по существу, диалектически. Работы в области ИИ направлены на то, чтобы «научить» компьютер более эффективно использовать источники информации, которые пока им мало освоены. Каковы же сегодня результаты этих работ, которые особенно интенсивно ведутся в последнее время, хотя начались они уже много лет назад? Вопреки мнению пессимистов, создать программы, справляющиеся с интеллектуальными задачами, оказалось возможно. Более того, каждую программу можно улучшить так, чтобы она не делала какой-либо конкретной ошибки или аналогичных. Однако процесс совершенствования идет медленно, ожидание быстрых успехов оказалось неоправданным, хотя анализ некоторых трудностей в области ИИ в итоге способствует развитию этого направления [5].

Один из важных выводов в исследовании ИИ: любое разумное поведение, даже относительно несложное, требует огромного количества знаний, которыми люди обладают как чем-то само собой разумеющимся, хотя эти знания – результат многообразного опыта каждого человека. Возможности современных машинных программ пока недостаточны, чтобы охватить такой опыт. Именно поэтому наиболее эффективными оказались экспертные системы в узкоспециализированных областях. В ряде ранних работ по ИИ делались попытки создания «универсальных систем решения задач». При этом исходили из предположения, что основой интеллекта является некая универсальная способность к логическому рассуждению, которая в равной мере применима к любым областям и типам задач. Такие попытки оказались не столь удачными прежде всего вследствие чрезмерной упрощенности данного предположения.

Результаты работы в области искусственного интеллекта

Рассмотрим более детально результаты некоторых работ в области ИИ. Так, главным средством решения задач программами-экспертами является не полностью формализованное рассуждение, основанное на совокупности знаний, тщательно собранных у экспертов-людей. В большинстве программ знания закодированы в виде множества правил типа «если..., то...», основанных на опыте. Такие правила называются эвристическими, они ограничивают поиск, нацеливая его на наиболее вероятные пути достижения цели. Экспертные системы могут объяснить ход своих рассуждений в форме, понятной человеку, поскольку программа работает на основе правил, перенятых у экспертов-людей, а не только правил формальной логики [6].

Например, экспертной диагностической системе можно задать вопрос: является ли компонент воздушного судна (ВС) исправным? Вначале она сформулирует вопрос в виде тезиса, который надо доказать, затем организует поиск необходимой для доказательства информации. Система может располагать определенным множеством правил типа: «если компонент неисправен, то у него должен наблюдаться какой-либо признак неисправности». На основе этих правил программа будет пытаться установить, достаточно ли данных для того, чтобы решить, исправен ли компонент ВС [7]. Она может предложить сделать дополнительные проверки и тесты, или затребовать иную необходимую для ответа на поставленный вопрос информацию.

Кроме эвристических правил, экспертные системы могут опираться и на здравый смысл, к чему нередко прибегает каждый человек. Выполняя поиск, система может пойти по «ложному следу», тогда ей придется вернуться к исходной позиции и избрать иной путь решения задачи. Эвристические правила не обязательно истинны на 100 %. Многим из них можно приписать некоторую вероятность их истинности (например, в случае неисправности такой-то признак

наблюдается в семи случаях из десяти). Эти количественные оценки (с использованием правил теории вероятности) также должным образом влияют на достоверность окончательного вывода. Каждое эвристическое правило само по себе может быть довольно простым. Однако использование их совместно позволяет решать достаточно сложные задачи, система правил действительно превращается в «эксперта». В этом проявляется действие закона перехода количественных изменений в качественные в информационной сфере, когда множество простых знаний, объединяясь и взаимодействуя между собой, приводят к появлению знания качественно более высокого уровня.

От использования эвристических правил для открытия новых понятий или фактов (или «переоткрытия» уже известных) можно перейти и к разработке новых правил на основе накопления опыта при использовании старых. В последние годы удалось создать программы, формулирующие общие правила как итог решения частных задач. Сделан шаг к достижению одной из главных целей исследований по ИИ – разработать самообучающиеся программы, способные к анализу и учету собственного опыта. Значение уже созданных систем заключается в том, что такие системы уже сейчас способны аккумулировать богатый опыт, накопленный ведущими специалистами, другую информацию о тех или иных состояниях и признаках и оказывать конкретную помощь в определении места и характера неисправностей и выборе методов их устранения.

Информационные системы в области гражданской авиации (ГА) сегодня помогают в улучшении организации обслуживания ВС, разработке диагностических экспертных систем, создании методик с принципиально новыми возможностями и в математическом моделировании функционирования многочисленных систем. Так, например, в ИАЦ ФГУП ГосНИИ ГА создана ИАС МЛГ ВС, которая охватывает в рамках единого информационного пространства (ЕИП) все субъекты ГА [8]. Она основана на использовании математических алгоритмов, предназначенных для решения задач актуализации и контроля новых свойств ВС и их компонентов, приобретенных ими в процессе эксплуатации. Элементы ИИ применяются в пользовательских модулях «ТОиР», «Эксплуатант» и центральном программном модуле ИАС МЛГ ВС, например:

- в программах логического контроля, полноты и целостности данных о состоянии авиационной техники (АТ), поступающих из разных источников;
- в программах, определяющих приоритетность технического обслуживания (ТО) по работам и календарной периодичности;
- в программах формирования производственных заданий и пооперационных ведомостей путем автоматического взаимодействия электронной эксплуатационной и пономерной документации ВС и их компонентов;
- при формировании запасов авиационно-технического имущества на складах в зависимости от наличия в обороте, ресурсного состояния и уровней надежности АТ;
- при определении жизненного цикла компонентов ВС.

Перспектива создания более разумных обучающихся программ во многом определяется эффективностью использования методов рассуждений посредством аналогий. В программах ИИ делаются попытки такого использования. Проблемы заключаются в основном в ограниченности информации (базы знаний), располагаемой программами по сравнению с людьми, черпающими аналогии из огромного запаса понятий и образов, которые достаточно сложно ввести в программы или накопить их в ходе работы. Поэтому продолжительность разумной жизни программ пока еще мала, а их опыт сопоставим с опытом малолетнего ребенка. Казалось бы, вывод ясен: нужно расширять базу знаний программ ИИ. Однако для понимания энциклопедических знаний необходим уже весьма обширный запас сведений на уровне «здравого смысла», то есть задача оказывается намного сложнее.

Один из путей, облегчающих понимание компьютером аналогий – представление информации о сравниваемых объектах в более удобном виде. Для этого могут использоваться фреймы – особый способ представления знаний, относящихся к тому или иному понятию. Фрейм состоит из ячеек, заполненных названиями признаков, которые можно соотнести с понятием,

и теми конкретными значениями, которые эти признаки принимают. Например, компонент ВС может характеризоваться массой, размером, материалами, назначением, местом установки. Встретив фразу «Данная деталь предположительно элемент топливной системы», компьютер начнет сравнительное сопоставление признаков-свойств [9].

Сложнее всего для программы решить – какие именно признаки переносимы и существенны, а какие нет. Во фрейме содержатся и запросы, например, если фрейм представляет шар, то он может содержать запрос о его материале. Получив ответ, программа может учесть эту информацию в своей дальнейшей интеллектуальной деятельности. Фреймы описывают как статические объекты или ситуации, так и разнообразные действия, изменения («полет», «неисправность», «движение»). Недостатком систем представления знаний, использующих фреймы, является то, что в них не включены элементы постановки целей, ведь сами фреймы, например, целиком вносятся в память машины человеком.

Для развития систем ИИ необходимо, чтобы хранящаяся в базах знаний информация не просто различным путем преобразовывалась, но и участвовала в формировании промежуточных целей и критериев приближения к ним (при сохранении указания конечных целей деятельности таких систем человеком). Важно также, чтобы программы могли накапливать и сохранять собственный опыт на протяжении длительного времени и обучаться в процессе взаимного общения.

Исследования в области восприятия окружающего мира интеллектуальными системами ведутся очень активно. По некоторым видам восприятия машины уже сейчас могут заметно превосходить человека. Например, компьютер можно с применением чувствительных датчиков научить измерять температуру окружающих объектов или расстояния до них. Основные трудности при этом относятся к моделированию зрительного восприятия, т. е. к проблеме распознавания зрительных образов.

Человек получает более двух третей всей чувственной информации об окружающих явлениях с помощью зрения. Зрение машины сегодня находится на достаточно высоком уровне, но речь идет не столько об остроте, сколько об осмысленности восприятия. Имеется в виду способность четко различать образы сходных объектов, а также умение видеть, что перед нами один и тот же объект, хотя он может быть по-разному освещен, ориентирован в пространстве и т. д. Человек способен практически мгновенно распознавать и классифицировать объекты без детального их анализа.

Работы в области машинного зрения важны еще и потому, что значительная часть научного оборудования выдает результаты в виде графической информации. Наделение компьютера способностью быстро и точно воспринимать, запоминать и воспроизводить рисунки, чертежи, графики открывает большие возможности во многих сферах деятельности. Примеров удачных разработок в области ИИ на сегодняшний день уже достаточно много; применительно к авиационной деятельности можно назвать системы автоматического пилотирования, системы автоматизации и планирования производственной деятельности.

Использование технологий ИИ обеспечивает большую безопасность, адаптивность, оптимизацию, эффективность, потенциал и поддержку для всех заинтересованных сторон в авиации [10].

Некоторые примеры использования ИИ в решении задач гражданской авиации и смежных отраслей

Примеры использования ИИ в гражданской авиации:

- Поддержание летной годности ВС, техническое обслуживание и ремонт ВС. Пользовательские модули «ТОиР», «Эксплуатант» ИАС МЛГ ВС. Элементы ИИ используются для повышения эффективности технической эксплуатации авиационной техники.

- Аэронавигация. Honeywell: Connected Aircraft. Используется вычислительная система самолетовождения – основной навигационный вычислитель, который применяется пилотами для взлета, крейсерского полета, набора высоты, снижения и посадки ВС.

- Техническое обслуживание и ремонт ВС. Airbus: Skywise Health Monitoring – платформа для прогностического техобслуживания и аналитики данных. Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения в стратегию технического обслуживания самолетов.

- Идентификация пассажиров. TSA Biometrics Roadmap. Биометрические терминалы, инструменты с поддержкой искусственного интеллекта для ускорения процесса идентификации пассажиров.

- Проверка багажа. Synapse Technology: Syntech ONE 200. Платформа искусственного интеллекта для проверки багажа на нескольких конвейерных лентах.

- Обеспечение авиационной безопасности. Osprey: FlightRisk. Использование технологий ИИ и машинного обучения для повышения эффективности и надежности авиационных операций.

Задачи применения ИИ ставятся и в области авиационного надзора. В рамках цифровой трансформации Росавиации будут внедрены несколько систем на базе искусственного интеллекта. Среди них система обработки и анализа результатов испытаний и формирования отчетных документов в рамках разработки системы информационной поддержки сертификации АТ. Также будут реализованы система централизованного сопровождения и актуализации эксплуатационной документации ВС российского производства и система мониторинга жизненного цикла АТ.

В рамках управления воздушным движением ФГУП Госкорпорация по ОрВД применяет системы с элементами ИИ. Они производят обработку и анализ аэронавигационной, метеорологической информации, данных систем наблюдения о движении ВС по аэродрому и других данных для улучшения процесса управления воздушным движением и разгрузки диспетчеров.

Заключение

Использование термина «искусственный интеллект» (или аналогичного термина, например, «интеллектуальная система») является вполне приемлемым и не противоречит ни основным положениям, ни терминологическим традициям, сложившимся в современной науке.

Практической задачей является определение и формирование концептуальных направлений развития интеллектуальных систем, предназначенных для решения определенного класса задач в ГА.

Эти работы в области ИИ прежде всего должны ориентироваться на запросы и практические нужды предприятий ГА, что позволит расширить диапазон применения информационных систем в отрасли.

Список источников

1. *Пройдаков Э. М.* Современное состояние искусственного интеллекта // Научно-технические исследования, 2018: Сб. науч. тр., Москва: ИНИОН РАН, 2018. С. 129–153.
2. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект. Современный подход. 2-е изд. Пер. с англ. Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. 1408 с.
3. *Льюгер Дж. Ф.* Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. Пер. с англ. Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2003. 864 с.
4. *Потанов А. С.* Искусственный интеллект и универсальное мышление. Санкт-Петербург: Политехника, 2012. 711 с.
5. *Тарик Рашид.* Создаем нейронную сеть. Пер. с англ. Санкт-Петербург: ООО «Альфа-книга», 2017. 272 с.
6. *Самсонович О. О., Фокина Е. А.* Искусственный интеллект – новые реалии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5-1. С. 257–263.
7. *Брусникин В. Ю., Глухов Г. Е., Черников П. Е.* Жизненный цикл авиационной техники на этапе эксплуатации в информационно-аналитической системе мониторинга летной годности воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15. С. 33–39.

8. Быкова В. В., Глухов Г. Е., Шарыпов А. Н., Карапетян А. Г., Ладыгина Н. Н., Коваль С. В. Проблемы уязвимости информационных систем предприятий авиационной отрасли: ошибки, связанные с человеческим фактором // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С. 88–99.
9. Гаранин С. А., Глухов Г. Е., Брусникин В. Ю., Черников П. Е., Карапетян А. Г., Коваль С. В. Об алгоритмах обработки информации при мониторинге жизненного цикла и оценке аутентичности компонентов воздушного судна // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 31. С. 30–40.
10. 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.

References

1. Proydakov E. Current state artificial intelligence, *Scientific research 2018*, Moscow, INION RAN Publ., 2018, pp. 129–153. (In Russ.)
2. Russel S., Norvig P., *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podhod [Artificial intelligence. Modern approach]*, 2nd edition, Moscow, Williams Publishing House, 2016, 1408 p. (In Russ.)
3. Luger G. F., *Iskusstvennyy intellekt. Strategii i metody resheniya slozhnykh problem [Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving]*, 4th edition, Moscow, Williams Publishing House, 2003, 864 p. (In Russ.)
4. Potapov A. S., *Iskusstvennyy intellekt i universal'noe myshlenie [Artificial intelligence and universal thinking]*, St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2012, 711 p. (In Russ.)
5. Tarik Rashid, *Sozdaem neyronnyuyu set' [Make your own neural network]*, St. Petersburg, Al'fa-kniga Publ., 2017, 272 p. (In Russ.)
6. Samsonovich O. O., Fokina E. A. Artificial intelligence – new scope, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no 5-1, pp. 257–263. (In Russ.)
7. Brusnikin V. Yu., Glukhov G. E., Chernikov P. E., The life cycle of aviation equipment at the operational stage in the information and analytical system for monitoring the airworthiness of aircraft, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2016, no. 5, pp. 33–39. (In Russ.)
8. Bykova V. V., Glukhov G. E., Sharypov A. N., Karapetyan A. G., Ladygina N. N., Koval S. V., Problems of the vulnerability of information systems of aviation industry enterprises: human factor errors, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32, pp. 88–99. (In Russ.)
9. Garanin S. A., Glukhov G. E., Brusnikin V. Yu., Chernikov P. E., Karapetyan A. G., Koval S. V., On information processing algorithms for monitoring the life cycle and assessing the authenticity of aircraft components, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 31, pp. 30–40. (In Russ.)
10. Petrukhin S. A., Glukhov G. E., Ladygina N. N., Binary classification of aviation texts using a neural network, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 50–58. (In Russ.)

Информация об авторах

Гаранин Сергей Александрович, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, garanin@mlgvs.ru

Коньков Александр Юрьевич, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, konkov@mlgvs.ru

Брусникин Валерий Юрьевич, директор Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, brusnikin@mlgvs.ru

Шарыпов Андрей Николаевич, заместитель директора Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, sharypov@mlgvs.ru

Коваль Сергей Васильевич, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, koval@mlgvs.ru

Authors information

Garanin Sergey A., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, garanin@mlgvs.ru

Konkov Alexander Yu., Deputy Head of Department of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, konkov@mlgvs.ru

Brusnikin Valeriy Yu., Director of Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, brusnikin@mlgvs.ru

Sharypov Andrey N., Deputy Director of Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, sharypov@mlgvs.ru

Koval Sergey V., Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, koval@mlgvs.ru

Статья поступила в редакцию 14.02.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 13.05.2022.

The article was submitted 14.02.2022; approved after reviewing 28.04.2022; accepted for publication 13.05.2022.

Научная статья
УДК 656.7.022.1

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ РОССИИ

В. В. КЛОЧКОВ, Н. Б. ТОПОРОВ, С. Ф. ЕГОШИН, О. И. ДЕГТЯРЕВ

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

Аннотация. В статье рассматривается комплекс методов и алгоритмов для решения задачи оценки эффективности новой авиационной техники для местных воздушных линий Российской Федерации. Оценка вырабатывается с учетом требований к качеству обслуживания пассажиров в перспективной транспортной системе местных перевозок. На основе методов математического программирования и с использованием статистических данных разработана методика экономической оценки эффективности применения самолетов вместимостью до 19 мест, включающая в числе прочих оптимизацию авиатранспортной сети с учетом промежуточной посадки. Оценки получены в рамках сравнительных сценариев с задействованием таких перспективных самолетов, как L-410NG, ЛМС-901 «Байкал», семейство ЛМС разработки ФГУП «ЦАГИ». Анализ показал, что в перспективной авиатранспортной системе местных перевозок целесообразно применение более скоростных ВС с крейсерской скоростью не менее 400 км/ч. При этом формирование парка воздушных судов целесообразно выполнять по принципу уменьшения пассажироместимости при росте удаленности аэропорта МВЛ от аэропорта в региональном центре. В то же время применение распределенной силовой установки, предназначенной для обдувки крыла на 19-местных самолетах классической компоновки с целью уменьшения потребной длины ВПП, не приводит к уменьшению суммарных затрат.

Ключевые слова: местные перевозки, транспортная доступность, местные воздушные линии, удаленные и труднодоступные регионы, экономико-математическое моделирование, исследование операций

Для цитирования: Клочков В. В., Топоров Н. Б., Егосин С. Ф., Дегтярев О. И. Оценка эффективности новой авиационной техники для местных воздушных линий России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 92–104.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF NEW AIRCRAFT FOR LOCAL RUSSIAN AIRLINES

V. V. KLOCHKOV, N. B. TOPOROV, S. F. EGOSHIN, O. I. DEGTYAREV

National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia

Abstract. The article considers a set of methods and algorithms for solving the problem of evaluating the effectiveness of new aircraft for local airlines of the Russian Federation. The assessment is developed taking into account the requirements for the quality of passenger service in a future transport system of local transportation. Based on methods of mathematical programming and using statistical data, a methodology has been developed for the economic evaluation of the effectiveness of aircraft with a capacity of up to 19 seats, including optimization of the air transport network taking into account the intermediate landing. The estimates were obtained for comparative scenarios involving such perspective aircraft as the L-410NG, LMS-901 “Baikal”, the LMS family developed by FSUE “TsAGI”. The analysis showed that in a future local air transport system, it

is advisable to use faster aircraft with a cruising speed of at least 400 km/h. At the same time, it is advisable to form an aircraft fleet based on the principle of reducing passenger capacity with an increase in the remoteness of the local airport from the airport in the regional center. The installation of a distributed power plant designed to blow the wing on 19-seat aircraft of the classic layout in order to reduce the required runway length does not lead to a reduction in total costs.

Keywords: local air services, transport accessibility, local airlines, remote and difficult of access regions, economic and mathematical modeling, operation research

For citation: Klochkov V. V., Toporov N. B., Egoshin S. F., Degtyarev O. I., Evaluation of the effectiveness of new aircraft for local Russian airlines, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 92–104. (In Russ.)

Введение

В «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года», в качестве одной из задач государства указано обеспечение доступности и качества услуг транспорта для населения, предприятий экономики и государственных служб применительно ко всем типам транспортных перевозок, включая местные пассажирские. Характерной особенностью данного типа перевозок в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах России (ОТДМР) является несопоставимо высокая себестоимость в расчете на одного перевезенного пассажира, что делает эти перевозки коммерчески непривлекательными и вынуждает государство субсидировать их функционирование. При этом местные воздушные линии (МВЛ) становятся частью транспортной системы местных перевозок, оптимально дополняя наземный транспорт. Отсюда возникает проблема поиска решений по оптимизации вышеуказанных расходов государства и, в частности, разработки модельно-методического аппарата оценки эффективности новой авиационной техники (АТ).

Методологический подход

Поскольку бюджетное субсидирование является общим связующим принципом для всех местных перевозок, то их можно рассматривать комплексно как единую транспортную систему (ТС).

Для того, чтобы можно было произвести оценку эффективности технологий, предназначенных для новой АТ МВЛ, взаимосвязи между элементами единой ТС должны быть заданы посредством простых, но в то же время достоверных математических моделей. При этом должно быть обеспечено включение этих моделей в общую математическую модель системы, в т. ч. с учетом необходимости проведения многокритериального анализа.

В настоящей работе представлен комбинированный подход на основе анализа статистических данных, аналитических моделей и методов системного анализа, реализованный как программный комплекс (ПК) с применением современных вычислительных технологий. Рассматривается единая ТС местных перевозок, которая может быть корректно представлена как объединение внутрирегиональных ТС местных перевозок, а в качестве оптимизируемого критерия – выбраны затраты государства на организацию местных авиаперевозок. И сумма минимумов субсидий в масштабах регионов даст суммарный минимум субсидий в масштабах государства.

Тогда для принятия решения о целесообразности внедрения новой АТ при заданном объеме местных пассажирских перевозок выполняется следующая процедура:

- рассчитывается оптимальное значение целевого критерия (затрат) C_0 для некоторого исходного N -типового парка транспортных средств (далее условно «базовый сценарий»);

- рассчитывается оптимальное значение целевого критерия (затрат) C_1 для $(N+1)$ -типового парка транспортных средств с учетом добавления нового оцениваемого типа ВС (далее условно «модифицированный сценарий»);

- производится сравнение величин C_0 и C_1 : уменьшение C_1 относительно C_0 трактуется как привлекательность новой АТ в модифицированном сценарии, и наоборот.

Исходные данные

В качестве базового временного периода, для которого производился сбор и структурирование сведений, был выбран 2015 год как год наиболее актуальной Всероссийской переписи населения. Более актуальные результаты могли бы быть получены для 2020 года, однако по причине мировой пандемии COVID-19 сроки планировавшейся (в 2020 году) переписи населения были сдвинуты. Кроме того, пандемия оказала непосредственное влияние и на пассажиропотоки авиационного сообщения.

Для проведения анализа и в качестве исходных данных для последующих расчетов были собраны сведения об административно-территориальном делении и населении Российской Федерации; о протяженности автодорог, связывающих поселения в ОТДМР, включая средние скорости движения автотранспортных средств; об авиационной инфраструктуре. Использовались открытые статистические данные с сайтов Федеральной службы государственной статистики и Федерального агентства воздушного транспорта, данные интернет-сервисов «Яндекс-Карты» и «Яндекс-Пробки». Также использовались расписание движения ВС, статистические сведения о тарифах и сборах в аэропортах России, включая данные о стоимости и временных трудовых затратах на различные виды техобслуживания (предоставлены Центром расписания и тарифов ПАО «Транспортной клиринговой палатой»).

Формулировка оптимизационной задачи

При формулировании оптимизационной задачи учитывалось, что количество пассажиров, совершающих местные поездки из мест своего проживания в столицу региона («прямой» пассажиропоток), совпадает с количеством пассажиров, перемещающихся в обратном направлении («обратный» пассажиропоток). Тогда, в силу равенства «прямого» и «обратного» пассажиропотоков, не имеет значения, что считать пунктами отправления и назначения при разработке математической модели. В целях удобства задавалось, что поездки совершаются из населенных пунктов в столицу.

Математическое описание внутрирегиональной ТС местных перевозок может быть задано как сбалансированная транспортная модель с промежуточными пунктами [1], традиционно используемая в математическом программировании. Используемые обозначения:

r – индекс принадлежности внутрирегиональной ТС к r -му региону, $1 \leq r \leq Reg$, (Reg – количество регионов);

M – количество пунктов отправления в r -ом регионе, $1 \leq i \leq (M+1)$, каждому из которых соответствует a_{ir} отправляемых пассажиров, причем $(M+1)$ -му пункту соответствует столица региона, в который прибывает суммарный поток пассажиров b_{1r} ;

$B_{uf,r}$ – буферная переменная, позволяющая формализовать возможность перевозки пассажиропотока через промежуточные пункты;

x_{ijk} – количество пассажиров, перевозимых из пункта i в пункт j посредством k -го типа транспортного средства, $1 \leq k \leq N$, где N – общее количество типов транспортных средств;

c_{ijk} – стоимость перевозки x_{ijk} пассажиров между i -м и j -м пунктами.

В целях упрощения под пунктами отправления и прибытия подразумеваются и непосредственно населенные пункты (поселения), и аэропорты. Для r -й ТС сформулировалась следующая оптимизационная задача:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{r0} = \arg \min_{\mathbf{X}_r} C_r; \\ \mathbf{F}_r(\mathbf{X}_r) \geq \mathbf{A}_r; \\ \mathbf{G}_r(\mathbf{X}_r) \leq \mathbf{B}_r, \end{cases} \quad (1)$$

где $\mathbf{X}_r$ – вектор варьируемых параметров r -й внутрирегиональной ТС местных перевозок;
 C_r – функция затрат на организацию r -й внутрирегиональной ТС местных перевозок;
 $\mathbf{F}_r(\mathbf{X}_r)$ – векторная функция требуемых объемов выполнения целевых задач $\mathbf{A}_r$ (вектор, состоящий из переменных a_{ir});
 $\mathbf{G}_r(\mathbf{X}_r)$ – векторная функция ограничений $\mathbf{B}_r$, накладываемых на r -ю ТС.
 При этом выполняются соотношения:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{M+1} x_{ijk} = a_{ir} + \text{Buf}_r, \quad i=1, \dots, M; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M x_{ijk} = \text{Buf}_r, \quad j=1, \dots, M; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M x_{ijk} = \sum_{i=1}^M a_{ir} = \text{Buf}_r = b_{1r}, \quad j=M+1. \quad (4)$$

Вектор $\mathbf{X}_r$ в (1) включает в себя не только целочисленные значения количества пассажиров x_{ijk} , но и управляющие переменные q_{ikr} , которые задают суммарные затраты на авиационную инфраструктуру (а следовательно, и наличие таковой) в i -м пункте в зависимости от типа k -го транспортного средства и могут принимать значения:

$$q_{ikr} = \begin{cases} 0, & x_{ijk} = 0 \wedge \forall j; \\ 0, & x_{ijk} > 0 \wedge \forall j \wedge k \notin \text{BC}; \\ c_{ikr}^{\text{ПП-верт}}, & x_{ijk} > 0 \wedge \forall j \wedge k \in \text{вертолеты}; \\ c_{ikr}^{\text{АЭРО}}, & x_{ijk} > 0 \wedge \forall j \wedge k \in \text{BC}, \end{cases} \quad (5)$$

где $c_{ikr}^{\text{ПП-верт}}$ – затраты на содержание вертолетной площадки;

$c_{ikr}^{\text{АЭРО}}$ – затраты на содержание удаленного аэропорта МВЛ.

В работе не затрагивается вопрос задействования посадочных площадок, предназначенных для приема-выпуска самолетов, поскольку рассматривается перспективная авиатранспортная система (АТС), в которой комфорт пассажиров и безопасность круглогодичных полетов могут быть обеспечены только с помощью аэропортов МВЛ.

В отличие от линейного и целочисленного программирования, в настоящей работе c_{ijk} для ВС рассматриваются в общем виде, поскольку стоимость перевозки одного пассажира-километра нелинейно зависит от заполняемости салона, что особенно существенно для ВС небольшой вместимости:

$$c_{ijk} = c_{ijk}(x_{ijk}, q_{ikr}, q_{jkr}) \geq 0, \quad \forall i \wedge \forall j \wedge \forall r \wedge k \in \text{BC}. \quad (6)$$

С учетом введенных $\mathbf{X}_r$ и c_{ijk} оптимизируемая функция затрат может быть задана как:

$$C_r = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{M+1} c_{ijk} + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M q_{ikr}. \quad (7)$$

Ограничения $\mathbf{B}_r$ – это условия, при которых производится оценка новой АТ, и они задаются как очевидным образом, так и с учетом специфики местных перевозок и применяемых транспортных средств:

$$x_{ijk_r} \geq 0, \forall i \wedge \forall j \wedge \forall k \wedge \forall r; \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^N \xi(x_{ijk_r}) = 1, \forall i \wedge \forall j \wedge \forall r; \xi(x_{ijk_r}) = \begin{cases} 0, & x_{ijk_r} = 0; \\ 1, & x_{ijk_r} > 0; \end{cases} \quad (9)$$

$$x_{izk_r} = 0, \forall x_{zjk_r} > 0 \wedge j \neq m+1 \wedge k \in \text{самолеты}; \quad (10)$$

$$k = k^*, \forall x_{izk_r} > 0 \wedge \forall x_{zjk_{*r}} > 0 \wedge j = M+1 \wedge k, k^* \in \text{самолеты}; \quad (11)$$

$$Regul(i, M+1) \leq T_{\text{РЕГ}}, i = 1, \dots, m; \quad (12)$$

$$Root(i, M+1) \leq T_{\text{МАРШ}}, i = 1, \dots, m. \quad (13)$$

Данные ограничения означают:

- условие (8) – количество перевозимых пассажиров не может быть отрицательным;
- условие (9) – поездка между любой парой пунктов возможна с задействованием только одного типа транспорта;
- условие (10) – выполнение рейсов самолетами более чем с одной промежуточной посадкой невозможно (для остальных транспортных средств такое условие не задается);
- условие (11) – при совершении местной поездки пересадка из одного самолета в другой не производится;
- условие (12) – регулярность движения транспортных средств на любом маршруте, связывающем i -й пункт со столичным $(M+1)$ -м пунктом, должна быть не реже, чем нормативная регулярность перевозок $T_{\text{РЕГ}}$ (рассчитывается как функция $Regul$);
- условие (13) – суммарное техническое время поездки по любому маршруту между i -м пунктом и столичным $(M+1)$ -м пунктом не должно превышать задаваемую продолжительность местной поездки $T_{\text{МАРШ}}$ (рассчитывается как функция $Root$).

Под техническим временем поездки (и соответственным образом вводимой функцией $Root$ в формуле (13)) следует понимать время, обусловленное только техническими характеристиками транспортных средств, то есть без учета организационных мероприятий на местах: времени ожидания, пересадки и пр. Данный подход приемлем, так как время поездки есть линейная сумма времен на всех этапах поездки, отсюда параметры, связанные со временами ожидания, пересадки и пр., могут быть опущены при одновременном уменьшении $T_{\text{МАРШ}}$. Другими словами, в первом приближении задание времени всех пересадок «1 час» и $T_{\text{МАРШ}}$ как «5 часов» равносильно заданию нулевого времени пересадок при $T_{\text{МАРШ}}$ как «4 часа».

Условие (9) является необязательным: в действительности не существует ограничений, запрещающих перевозку из одного пункта в другой посредством различных транспортных средств одновременно. И организацию альтернативных способов поездки следует считать скорее способом повышения надежности функционирования ТС. Но поскольку решаемая задача касается поиска рациональной организации перевозок при минимальном заданном качестве транспортных услуг, то есть не включает фактор надежности (а повышение надежности функционирования системы невозможно без дополнительных затрат), – условие (9) можно считать упрощением решения задачи (1).

Условия (10) и (11), с одной стороны, также необязательны, но, с другой стороны, они трактуются как требования к комфорту современных авиационных пассажиров.

Введение условия (12) связано с необходимостью государственного регулирования в сфере местных перевозок как оказываемых транспортных услуг. С формальной математической точки зрения, без задания ограничения $T_{\text{МАРШ}}$ было бы возможным решение, при котором местные авиаперевозки осуществлялись бы только в те населенные пункты, для которых отсутствует наземная/водная транспортная связь с региональным центром.

Без введения же условия (13) получилось бы решение, не согласующееся с реалиями местного сообщения: наиболее дешевый способ перевозки – посредством наиболее крупных по вместимости транспортных средств при регулярности, соответствующей максимальной заполняемости салона.

Как можно видеть, выбор условий для вектора B_r включает также выбор рациональных значений регулярности и продолжительности поездки $T_{\text{РЕГ}}$ и $T_{\text{МАРШ}}$, которые можно рассматривать как общие стандарты качества местных перевозок [2]. Увеличение регулярности авиаперевозок, в том числе благодаря государственной поддержке, отмечается как непереносимое условие перехода к перспективной российской АТС с улучшенным качеством обслуживания населения в части транспортных перевозок как предоставляемых услуг [3, 4].

Общая постановка задачи, соответствующая оптимизации объединения внутрирегиональных ТС местных перевозок в единую ТС, имеет вид:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_0 = \arg \min_{\mathbf{X}} C_{\Sigma}; \\ \mathbf{F}(\mathbf{X}) \geq \mathbf{A}; \\ \mathbf{G}(\mathbf{X}) \leq \mathbf{B}, \end{cases} \quad (14)$$

где $\mathbf{X}$ – вектор варьируемых параметров общегосударственной оптимизируемой ТС местных перевозок;

$C_{\Sigma} = \sum_{r=1}^{Reg} C_r$ – затраты на организацию местных перевозок в масштабах государства;

$\mathbf{F}(\mathbf{X})$ – векторная функция требуемых объемов выполнения целевых задач $\mathbf{A}$;

$\mathbf{G}(\mathbf{X})$ – векторная функция ограничений $\mathbf{B}$, накладываемых на ТС.

Здесь векторы $\mathbf{X}$, $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$ есть соответственно объединения по всем регионам векторов $\mathbf{X}_r$, $\mathbf{A}_r$, $\mathbf{B}_r$, а векторные функции $\mathbf{F}$, $\mathbf{G}$ – соответствующим образом объединенные $\mathbf{F}_r$ и $\mathbf{G}_r$. Указанные объединения, как отмечалось выше, должны сохранять возможность разбиения единой ТС. Это возможно, если налагаемые условия (12), (13) одинаковы для всех ТС.

Комплекс применяемых моделей

Для задания взаимосвязи между элементами ТС использовались следующие характеристики:

для ВС – максимальная взлетная масса, максимальный запас топлива, пассажироместность, потребная длина ВПП, удельные трудозатраты, нормативы и стоимости обслуживания; для авиационной инфраструктуры – длина ВПП, стоимость строительства, стоимость годовой эксплуатации, аэропортовые тарифы и сборы.

Компоненты вектора $\mathbf{A}_r$ объемов перевозок рассчитываются на основе существующей статистики годовой подвижности γ населения ОТДМР в зависимости от удаленности L от столицы региона [5].

Расчет стоимости авиаперевозок c_{ijk} основан на методике [6] с внесением изменений в части современного законодательства Российской Федерации и с некоторыми упрощениями, касающимися непосредственно функционирования МВЛ. Используемое в расчетах блочное

время выполнения рейса вычисляется с учетом среднестатистической продолжительности выполнения наземных операций ~15 мин.

Поскольку предметная сторона работы связана с авиацией, моделирование стоимости наземных/водных перевозок выполнялось упрощенно как линейная зависимость от дальности поездки при фиксированном тарифе на перевозку пассажира.

Что касается расчета затрат на строительство и функционирование необходимой аэродромной инфраструктуры, то он производился на основе «Руководства по проектированию аэропортов местных воздушных линий» разработки ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект» с учетом потребной длины ВПП для того ВС, которое выбиралось в процессе оптимизации, при следующих допущениях:

- действующим аэропорту МВЛ или посадочной площадке может потребоваться реконструкция, если их характеристики не позволяют принимать ВС;
- недействующим аэропорту МВЛ или посадочной площадке может потребоваться восстановление до уровня аэропорта МВЛ минимальной III категории с длиной ВПП, позволяющей принимать для обслуживания ВС;
- может потребоваться строительство нового аэропорта МВЛ III категории или новой вертолетной посадочной площадки.

При дальнейшем расчете затрат на функционирование АТС указанные капитальные затраты относились к среднему периоду эксплуатации аэропортовой инфраструктуры, определяющим фактором для которого является срок службы искусственного аэродромного покрытия – 20 лет.

Усредненное значение годовой стоимости эксплуатации одного аэропорта МВЛ, в соответствии с данными о размере субсидий на содержание федеральных казенных аэропортовых предприятий в рассматриваемых ОТДМР, задавалось равным 50 млн рублей в год (в ценах 2015 года) [7].

Алгоритм решения оптимизационной задачи

Решение задачи (1) оптимизации внутрирегиональной ТС местных перевозок, а тем более задачи (14), в силу условия (6) о нелинейной стоимости перевозки, является достаточно сложной процедурой. Задачи о ТС характеризуются негладкими, многоэкстремальными целевыми функциями, для которых не существует универсальных, тем более аналитических методов решения [8]. Также решение не может быть найдено методом полного перебора: сложность (время) решения задачи растет экспоненциально количеству пунктов отправления.

Ключевым фактором алгоритма поиска приближенного решения стало наличие ограничения на время местной поездки $T_{\text{МАРШ}}$. Ограничение позволяет разбить граф возможных транспортных связей на подграфы (как транспортные подсистемы). Для каждой из полученных подсистем оптимальное решение может быть найдено с приемлемой ошибкой и за приемлемое время методом градиентного спуска в пространстве переменных, задающих наличие транспортных связей и инфраструктуры аналогично x_{ijkr} и q_{ikr} в (7). При этом, поскольку ограничения задачи допускают выполнение промежуточной посадки, реализуется следующий циклический алгоритм:

- задается исходное разбиение, в котором все подсистемы включаются в «первую зону» (зону, из которой все перелеты в столичный аэропорт выполняются напрямую), и для каждой подсистемы рассчитываются оптимальная структура сети МВЛ и затраты, а затем и суммарные затраты по всем подсистемам;
- подсистемы «первой зоны» постепенно переводятся во «вторую зону» (зону, из которой все перелеты выполняются до аэропорта промежуточной посадки), и для них производится поиск оптимальной структуры с одновременным поиском аэродромов промежуточной посадки;
- процедура, указанная в предыдущем пункте, повторяется до тех пор, пока в «первой зоне» не останется одна подсистема, и если при некотором очередном выполнении процедуры достигается снижение затрат – найденная структура запоминается как лучшее решение внутрирегиональной АТС МВЛ.

Процедура перевода подсистем из «первой зоны» во «вторую», несмотря на сложность комбинаторики, построена на принципе очередности подсистем. Очередь вводится на основе среднего удаления пунктов отправления от столицы и, в первом приближении, обосновывается быстрым падением плотности населения с ростом удаленности от столичного аэропорта. То есть размерность подсистем падает с ростом указанной удаленности, и чтобы достигнуть максимальной заполняемости салона, рейсы целесообразно устраивать вдоль радиальных направлений к столице.

При выполнении процедуры перевода подсистем из «первой зоны» во «вторую» также производится поиск пунктов отправления, для которых рациональнее задействование вертолетов по принципам, изложенным в [10]. А именно: в условиях разрозненных населенных пунктов (например, на заболоченных территориях, где строительство автодорог крайне затруднительно) целесообразна организация «карусельных» (циклических) маршрутов подвозящего вертолетного транспорта с базированием вертолетов в аэропорту МВЛ как хабе. Количество связываемых при этом населенных пунктов на маршруте должно быть не менее трех. Для возникающей при этом оптимизационной подзадачи, относящейся к подклассу задач маршрутизации транспорта с несколькими депо (Multi-Depot Vehicle Routing Problem, MDVRP) [11], поиск решения которой сам по себе является сложной проблемой современной математики, вводится приближенное правило оценки стоимости перевозки.

Итоговый алгоритм решения задачи, реализованный в программном комплексе, имеет вид (рис. 1):

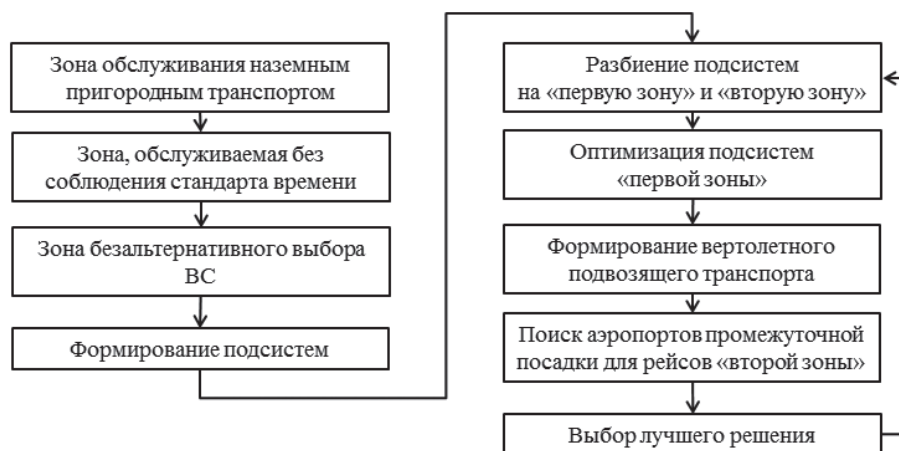


Рис. 1. Алгоритм поиска решения оптимизационной задачи

Помимо вышеуказанных этапов, в приведенном алгоритме следует также отметить наличие первых трех этапов, упрощающих поиск решения. В них исключаются из рассмотрения населенные пункты, расположенные близко к столице, для которых соблюдение условия (13) достигается применением наземного транспорта. Также в ряде случаев (протяженные регионы типа Красноярского края) могут быть выделены наиболее удаленные населенные пункты, для которых только организация прямого беспосадочного авиасообщения позволяет выполнить требование (13), и отдельно учитываются возможные (хотя и крайне редкие) случаи невыполнения этого требования.

Результаты оценки эффективности новой авиационной техники

При выполнении расчетов рациональные значения ограничений на основе соответствующих исследований [2, 4] задавались как $T_{\text{РЕГ}}=1$ рейс/сутки, $T_{\text{МАРШ}}=4$ часа.

Поскольку на момент выполнения работы отсутствовала возможность проведения высокопроизводительных вычислений, был реализован программный комплекс для упрощенного

частного случая: парк ВС рассматривается как трехтиповой, включающий два типа самолетов ($k=1, k=2$) и один тип вертолетов ($k=3$). При этом учитывались предварительные оценки численности парка ВС перспективной АТС МВЛ – не менее 200÷300 ВС [9] для каждого типа ВС с целью избежать существенной погрешности расчетов вследствие влияния серийности ВС на его стоимость. В качестве базового сценария рассматривался следующий парк ВС: 19-местный самолет L-410UVP-E, 9-местный самолет «Рысачок», вертолет «Ансат».

В качестве новой АТ оценивались следующие альтернативные варианты ВС:

- модифицированный самолет L-410NG;
- новый самолет ЛМС-901 «Байкал»;
- перспективные самолеты ЛМС-9, ЛМС-13 и ЛМС-19 из семейства легких многоцелевых самолетов, разработанных ЦАГИ [12].
- самолет короткого взлета и посадки на базе L-410UVP с распределенной электросиловой установкой обдувки крыла, условно далее «L-410 КВП» [13].

Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3 (вертолет «Ансат» использовался как третий тип ВС в парке во всех сценариях):

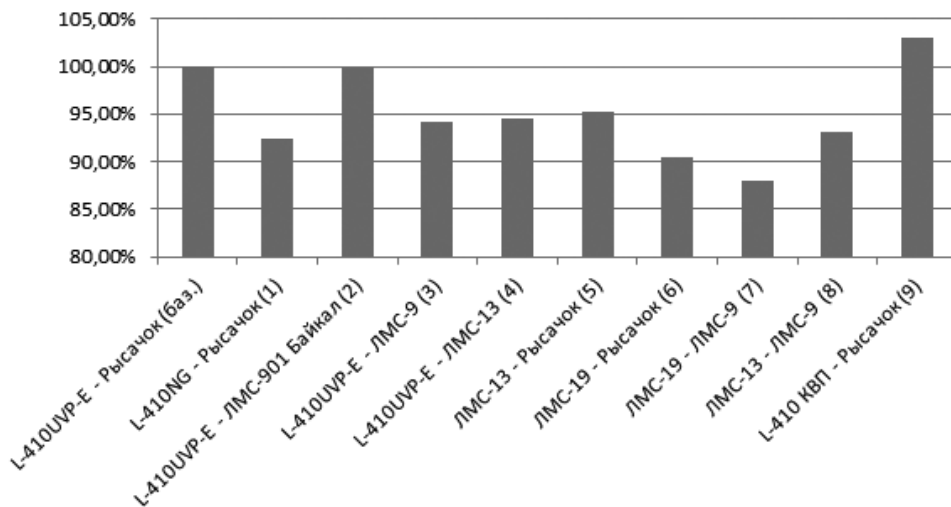


Рис. 2. Сравнение годовых затрат различных сценариев организации АТС МВЛ

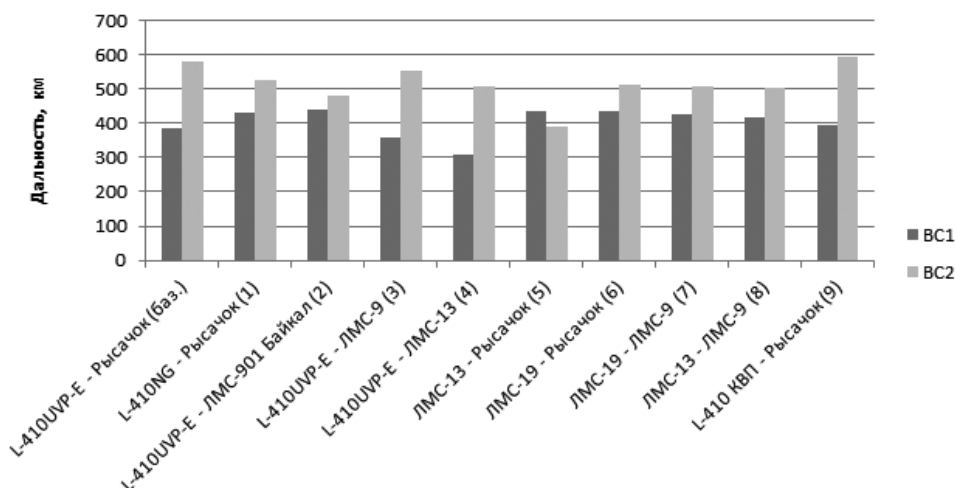


Рис. 3. Средневзвешенная протяженность рейсов для различных ВС в рамках рассматриваемых сценариев

Анализ приведенных показателей сценариев показывает, что:

1) Задействование самолета L-410NG как АТ нового поколения (по сравнению с самолетом L-410UVP-E, на базе которого он разработан, см. сценарий 1 по отношению к базовому сценарию) приводит к снижению затрат на 8,6 %.

Основной причиной снижения затрат, несмотря на рост стоимости модернизированного ВС, следует считать повышение топливной экономичности двигателя, увеличение крейсерской скорости, увеличение назначенного ресурса ВС.

2) Замена в АТС самолета «Рысачок» на самолет ЛМС-901 «Байкал» (сценарий 2 по отношению к базовому сценарию) практически не приводит к снижению затрат. Данное обстоятельство следует считать косвенным подтверждением того, что уровень технического совершенства ЛМС-901 соответствует уровню существующей АТ.

3) Применение в АТС перспективных ВС семейства ЛМС разработки ЦАГИ приводит к снижению затрат на 4,8÷9,5 %.

Следует подчеркнуть, что в отсутствие необходимой информации при проведении анализа вводилось предположение: назначенный ресурс самолетов ЛМС разработки ЦАГИ соответствует 20-летнему сроку службы ВС при среднегодовом налете ВС ~1200 л.ч., что меньше, чем у рассматриваемого самолета L-410NG. Однако в силу величины достигнутого снижения затрат можно сделать вывод о преобладающем влиянии на затраты факторов крейсерской скорости и топливной эффективности ВС. При этом наибольшее снижение затрат достигается для сценария 7, соответствующего перспективным самолетам ЛМС-19 и ЛМС-9.

4) Сопоставление сценариев 3–8 с базовым сценарием показывает, что сочетание в парке ВС классической компоновки как «19-местный самолет – 9-местный самолет» позволяет достичь максимально возможного снижения затрат по сравнению с другими возможными сочетаниями.

5) Задействование в парке самолета L-410 КВП не приводит к снижению затрат. Причиной этому является уменьшение транспортных возможностей самолета, и при многолетней эксплуатации парка на основе данного ВС суммарный отрицательный эффект будет превосходить положительный, полученный вследствие экономии затрат на создание и функционирование аэропортовой инфраструктуры. Полученная оценка эффективности подобных ВС с обдувкой крыла корректна только для 19-местных самолетов классической компоновки и с учетом их применения в перспективной АТС с высоким качеством обслуживания населения ОТДМР. В целях обобщения результата необходимо изучение самолетов КВП меньшей вместимости и рассмотрение летательных аппаратов нетрадиционной компоновки.

6) Доля вертолетов в парке во всех сценариях невелика, но стабильна и составляет 9,3÷12,8 %. Причиной этому является именно существование ОТДМР как регионов, где малочисленное население проживает небольшими группами в близкорасположенных населенных пунктах, не связанных между собой развитой наземной транспортной связью.

7) Практически для всех сценариев (за исключением сценария 5) наблюдается превышение протяженности рейсов, выполняемых ВС меньшей пассажировместимости, по отношению к рейсам, выполняемым ВС большей вместимости (рис. 3). Указанная закономерность является следствием характерного убывания плотности населения в ОТДМР с ростом удаленности от регионального центра. Это позволяет сделать вывод об уменьшении потребной пассажировместимости ВС с увеличением удаленности аэропорта МВЛ от аэропорта регионального центра.

Заключение

Разработанный методологический аппарат и программный комплекс на его основе позволяют оценивать целесообразность внедрения новых технологий и АТ при принятии решения о создании новых авиационных объектов МВЛ.

Анализ нескольких новых перспективных самолетов, предназначенных для обслуживания МВЛ (L-410NG, самолет ЛМС-901 «Байкал», семейство самолетов ЛМС разработки ФГУП «ЦАГИ»), показал, что в перспективной АТС МВЛ целесообразно применение более скоростных ВС (крейсерская скорость – не менее 400 км/ч). Формирование парка ВС МВЛ целесообразно выполнять по принципу уменьшения пассажироместимости ВС при увеличении удаленности аэропорта МВЛ от аэропорта в региональном центре. Применение же распределенной электро-силовой установки обдувки крыла на 19-местных самолетах классической компоновки с целью уменьшения потребной длины ВПП не приводит к уменьшению суммарных затрат. При этом, независимо от выбора самолетов в рассматриваемом трехтипном парке ВС МВЛ, рациональное количество вертолетов в парке составит ~10 %, что связано в первую очередь с особенностями проживания людей в некоторой части территорий ОТДМР.

Список источников

1. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. Москва: Мир, 1985. 496 с.
2. Егошин С. Ф., Смирнов А. В. Авиатранспортная доступность и транспортная дискриминация населения в субъектах Российской Федерации // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21. № 3. С. 78–90.
3. Лесничий И. В., Бородин М. А., Самойлов В. И., Бритван Г. А. Предложения по развитию сети региональных авиаперевозок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2013. № 3. С. 107–112.
4. 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. Вып. 14, ч. 2, 2019. С. 43–48.
5. Егошин С. Ф. Влияние особенностей моделирования пассажирских потоков на выбор оптимального воздушного судна местных воздушных линий // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 35 (346). С. 68–79.
6. Методические рекомендации по определению себестоимости внутренних и международных рейсов для российских авиакомпаний. Москва: ГУП «Консультативно-методический центр экономики и права системы сертификации на воздушном транспорте Российской Федерации», 1999. 84 с.
7. Фридлянд А. А., Чубуков А. П., Москаленко П. И. Анализ создания и финансирования федеральных казенных предприятий аэропортовой деятельности в северных и удаленных регионах Российской Федерации // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 202. С. 80–84.
8. Михалевич В. С., Трубин В. А., Шор Н. З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования: модели, методы, алгоритмы. Москва: Наука, 1986. 264 с.
9. Егошин С. Ф., Смирнов А. В. Методика расчета показателей транспортной доступности для населения субъектов РФ при организации местных авиаперевозок // Управление научными исследованиями и разработками-2018. Государство и наука: новые модели управления: Труды IV научно-практической конференции, Москва, 26 ноября 2018. Под общ. ред. Дутова А. В., Новикова Д. А. М.: ИПУ РАН, 2019. 196 с.
10. Егошин С. Ф. Применение летательных аппаратов вертикального взлета и посадки для развития авиатранспортной системы местных перевозок России // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 46–57.
11. Кубил В. Н. Обзор обобщений и расширений задачи маршрутизации транспорта // Вестник РГУПС. 2018. № 2. С. 97–109.
12. Чернышев С. Л., Дунаевский А. И., Редькин А. В., Михайлов Ю. С. Формирование облика семейства легких многоцелевых самолетов для местных воздушных линий России // Полет. 2013. № 8. С. 72–79.
13. Бузулук В. И., Гуревич Б. И. Оценка эффективности использования распределенной силовой установки с электроприводом на самолете местных воздушных линий типа Л-410 // Модели и методы аэродинамики: Материалы Девятнадцатой международной школы-семинара, Евпатория, 04-11 июня 2019 г. Москва: ЦАГИ, 2019. С. 39–40.

References

1. Takha Kh., *Vvedenie v issledovanie operatsij [Introduction to operation research]*, in two volumes, vol. 1, trans. from English, Moscow, Mir Publ., 1985, 496 p. (In Russ.)
2. Egoshin S. F., Smirnov A. V., Air transport accessibility and transport discrimination of population in subjects of the Russian Federation, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2018, no. 21 (3), pp. 78–90. (In Russ.)
3. Lesnichiy I. V., Borodin M. A., Samoylov V. I., Britvan G. A., Proposal of development network of regional air transport, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2013, no. 3, pp. 107–112. (In Russ.)
4. Dutov A. V., Klochkov V. V., Rozhdesyvenskaya S. M., Izmerenie i normirovanie transportnoj svyazannosti i kachestva transportnogo obsluzhivaniya strany i ee regionov, In book *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik [Russia: trends and prospects of development. Yearbook]*, Moscow, INION RAN Publ., 2019, pp. 43–48. (In Russ.)
5. Egoshin S. F., Influence of passenger flow modeling features on the choice of the optimal aircraft for local airlines, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 33(346), pp. 68–79. (In Russ.)
6. Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniju sebestoimosti vnutrennikh i mezhdunarodnykh rejsov dlja rossijskikh aviakompanij, Moscow, SUE “Konsultativno-metodicheskiy tsentr ekonomiki i prava sistemy sertifikatsii na vozдушном транспорте Rossiyskoy Federatsii” Publ., 1999, 84 p. (In Russ.)
7. Fridlyand A. A., Chubukov A. P., Moskalenko P. I., Analysis of the Establishment and Funding of Federal State Enterprises of Airport Activity in Northern and Distant Regions of the Russian Federation, *Civil Aviation High Technologies*, 2014, no. 202, pp. 80–84. (In Russ.)
8. Mikhalevich V. S., Trubin V. A., Shor N. Z., *Optimizatsionnye zadachi proizvodstvenno-transportnogo planirovaniya: modeli, metody, algoritmy [Optimization tasks of production and transport planning: models, methods, algorithms]*, Moscow, Nauka Publ., 1986, 264 p. (In Russ.)
9. *Upravleniye nauchnymi issledovaniyami i razrabotkami-2018. Gosudarstvo i nauka: novye modeli upravleniya. Trudy IV nauchno-prakticheskoy konferentsii [Managing research and development-2018. State and Science new models of management. Works of 4th scientific-practical conference]*, Moscow, 26 Nov. 2018, IPU RAN Publ., 2019, 243 p. (In Russ.)
10. Egoshin S. F., Application of VTOL aircraft for the development of the local air transport system in Russia, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 29, pp. 46–57. (In Russ.)
11. Kubil V. N., Review of the vehicle routing problem generalizations and extensions, *Vestnik RGUPS*, 2018, no. 2, pp. 97–109. (In Russ.)
12. Chernyshev S. L., Dunaevsky A. I., Redkin A. V., Mikhailov Yu. S., Definition of configuration for a family of light multipurpose aircraft for local-service airlines of Russia, *Flight*, 2013, no. 8, pp. 72–79. (In Russ.)
13. Buzuluk V. I., Gurevich B. I., Evaluation of the efficiency of using a distributed power plant with an electric drive on an aircraft of local air lines of type L-410, *Modeli i metody aerodinamiki. Materialy 19th mezhdunarodnoj shkoly-seminara, Evpatoriya, 04–11 June 2019 [Models and methods of aerodynamics. The materials of the 19th international school-seminar]*, TSAGI Publ., 2019, pp. 39–40. (In Russ.)

Информация об авторах

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

Топоров Николай Борисович, доктор технических наук, директор ПК, профессор, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, toporovnb@nrczh.ru

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

Дегтярев Олег Иванович, главный специалист, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, degtyarev_oleg@mail.ru

Authors information

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

Toporov Nikolay B., Director of the Project Complex, Doctor of Science (Engineering), Professor, National Research Center “Institute “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, toporovnb@nrczh.ru

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

Degtyarev Oleg I., Chief Specialist, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, degtyarev_oleg@nail.ru

Статья поступила в редакцию 18.02.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 16.05.2022.

The article was submitted 18.02.2022; approved after reviewing 28.04.2022; accepted for publication 16.05.2022.

Научная статья

УДК [658.336: 629.735.072.8]: 519.87

ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТИ КУРСАНТА В ПРОЦЕССЕ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ ЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. К. ВОЛКОВ¹, Л. И. ФРОЛОВА¹, С. Г. КОСАЧЕВСКИЙ¹, З. Р. ЗАББАРОВ²

¹ Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия

² Аэрофлот – российские авиалинии, Москва, Россия

Аннотация. В статье предложен новый подход к оценке компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки. С целью повышения объективности оценки предлагается применять нечеткие модели, основанные на их автоматической генерации из экспериментальных данных. В качестве входных данных моделей предлагается использовать параметры, характеризующие технику пилотирования, глазодвигательную активность и психофизиологическое напряжение курсантов. Были проведены экспериментальные исследования, по результатам которых из экспериментальных данных разработаны нечеткие модели Сугено и Мамдани. Полученные нечеткие модели содержат 11 нечетких правил. В результате анализа было установлено, что нечеткая модель Сугено по критерию среднего квадратического отклонения на обучающей выборке лучше модели Мамдани аппроксимирует исследуемую зависимость. При этом на тестовой выборке модель Мамдани работает лучше. В результате апробации предлагаемого подхода можно сделать вывод, что применение нечетких моделей позволит создавать системы поддержки принятия решений в задаче оценки компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки.

Ключевые слова: оценка компетентности курсанта, первоначальная летная подготовка, нечеткая модель Сугено, нечеткая модель Мамдани, глазодвигательная активность

Для цитирования: Волков А. К., Фролова Л. И., Косачевский С. Г., Заббаров З. Р. Оценка компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки на основе нечеткого моделирования // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 105–115.

ASSESSMENT OF A CADET COMPETENCE DURING INITIAL FLIGHT TRAINING BASED ON FUZZY MODELING

A. K. VOLKOV¹, L. I. FROLOVA¹, S. G. KOSACHEVSKY¹, Z. R. ZABBAROV²

¹ Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia

² Aeroflot – Russian Airlines, Moscow, Russia

Abstract. The article proposes a new approach to assessing competence of a cadet in the framework of initial pilot training. In order to increase the objectivity of assessment, it is proposed to use fuzzy models based on their automatic generation from experimental data. It is proposed to use as the input data of the models objective data from control means, among which recorded flight parameters, eye-tracking data and data of the psychophysiological state. This indicator is based on the Index of overvoltage of regulatory systems. Experimental

studies were conducted and fuzzy models of Sugeno and Mamdani were synthesized from experimental data. The resulting fuzzy models contain 11 fuzzy rules. As a result of the analysis, it was found that the fuzzy model of Sugeno approximates the studied dependence better than the fuzzy model of Mamdani by the criterion of root-mean-square error on the training set. At the same time, the fuzzy model of Mamdani performs better on the test sample. As a result of testing the proposed approach, it can be concluded that the use of fuzzy models will make it possible to create decision support systems in the task of assessing the competence of cadet pilots during initial flight training.

Keywords: assessment of the cadet's competence, initial pilot training, Sugeno fuzzy model, Mamdani fuzzy model, oculomotor activity

For citation: Volkov A. K., Frolova L. I., Kosachevsky S. G., Zabbarov Z. R., Assessment of a cadet competence during initial flight training based on fuzzy modeling, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 105–115. (In Russ.)

Введение

Безопасность полетов является главным приоритетом в деятельности гражданской авиации. В настоящее время состояние безопасности полетов в гражданской авиации во многом определяется влиянием человеческого фактора, негативное влияние которого может быть уменьшено за счет совершенствования программ профессиональной подготовки авиационного персонала.

Для разработки программ подготовки пилотов документами Международной организации гражданской авиации ICAO (International Civil Aviation Organization) рекомендован компетентностный подход (competency-based training and assessment), в соответствии с которым оценка компетентности осуществляется на основе четко сформулированных целей, соответствующих профессиональной деятельности, и должна количественно отражать величины, выражающие степень проявления профессиональных характеристик [1]. Одним из методов решения этой задачи является экспертная оценка, которая по своей природе является субъективной и поэтому иногда противоречивой, а также проводится с учетом сразу нескольких факторов. Данное обстоятельство приводит к внутренней несогласованности оценок при парном сравнении одним и тем же экспертом нескольких объектов или противоречивым оценкам одного объекта несколькими экспертами.

С учетом рекомендаций ICAO совершенствование методики первоначальной летной подготовки курсантов предполагает проведение научных исследований, направленных на разработку моделей оценки компетентности. В основе их разработки должна лежать комплексная оценка степени освоения как двух технических компетенций :автоматическое управление траекторией полета воздушного судна (ВС) (автоматическое управление) и ручное управление траекторией полета ВС (ручное управление), так и шести нетехнических компетенций (применение процедур, коммуникация, лидерство и работа в команде, устранение проблем и принятие решений, ситуационная осведомленность, управление рабочей нагрузкой) [2]. Современные тренажеры позволяют фиксировать все необходимые для оценки компетенций параметры полета, что совместно с применением систем регистрации движения глаз и средств психофизиологического мониторинга дает возможность разработать новый подход к всесторонней и объективной оценке компетентности курсанта.

Проблема оценки компетентности курсантов в процессе первоначальной летной подготовки рассматривается в ограниченном числе отечественных и зарубежных научных исследований. В этих работах авторами предлагается метод объективной оценки техники пилотирования на современных тренажерах самолетов на основе регистрируемых параметров полета [3], исследуются вопросы когнитивных процессов внимания и принятия решений у пилотов [4]. Некоторые результаты применения систем регистрации движения глаз при оценке техники пилотирования

приведены в [5], но они не в полной мере затрагивают вопрос учета психофизиологической напряженности. В некоторых работах авторы отмечают связь данных глазодвигательной активности и компетентности экипажа, опираясь лишь на сравнения исследуемых фрагментов полета с сопоставимыми фрагментами из специализированной базы данных [6]. В рамках исследования [7] авторы рассматривали вопросы сбора, анализа и визуализации данных трекинга глаз пилотов в сочетании с множеством других типов данных, возникающих в процессе полета.

Целью данного исследования является обоснование возможности применения нечетких моделей, автоматически генерируемых из экспериментальных данных, для оценки компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки.

Описание метода исследования

Нечеткое моделирование обеспечивает эффективное средство для описания приближенной и неточной природы реального мира. По мере роста сложности систем становится все труднее описывать их точными математическими моделями. Нечеткая логика может описывать такие сложные системы с помощью лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО» [8]. Наиболее важными приложениями нечеткой логики являются системы управления и системы поддержки принятия решений. Нечеткое моделирование включает в себя следующие этапы: (1) фаззификация – преобразование четких входов в нечеткие значения; (2) построение базы знаний, которая содержит нечеткие правила вместе со словарем, определяющим функции принадлежности; (3) реализация механизма вывода, который применяет нечеткое рассуждение для получения нечеткого выходного сигнала и (4) дефаззификация – преобразование нечеткого выхода в четкое значение.

Нечеткие модели различаются по способу определения следствий правил, а также процессу импликации. В данной работе рассматриваются два основных типа нечетких моделей: Мамдани и Сугено [9].

Успешное проектирование нечеткой системы на основе правил зависит от нескольких факторов, таких как выбор базы правил, функций принадлежности, механизма вывода и стратегии дефаззификации. Из этих факторов выбор подходящей базы правил является наиболее важным и сложным. Часто для нечетких моделей базу правил строят на основе знаний и опыта экспертов в конкретной области. Такой подход известен как моделирование на основе знаний. Этот подход к моделированию становится сложным, когда имеющиеся знания неполны или когда эксперту трудно установить взаимосвязь между входными и выходными переменными и описать ее в виде правил «ЕСЛИ-ТО». Несмотря на то, что эта методология проектирования привела к большому количеству успешных приложений, она требует много времени и в большинстве своем не имеет установленных принципов и систематических методик. Для устранения данного недостатка необходимы подходы к разработке нечетких моделей без привлечения экспертов. Таким образом, извлечение соответствующего набора правил из наблюдаемых данных является важным и необходимым шагом на пути к разработке адекватной модели на основе нечеткой логики. При использовании подхода моделирования на основе данных предполагается отсутствие предварительных знаний о рассматриваемой системе.

В данной работе рассматривается двухэтапный подход к разработке нечетких моделей. На первом этапе выполняется идентификация базы правил нечеткой модели. База правил представляет собой лингвистические правила «ЕСЛИ-ТО», которые отражают нелинейную взаимосвязь между входными и выходными переменными. Правила генерируются автоматически в результате экстракции нечетких знаний из экспериментальных данных на основе алгоритмов кластеризации, в частности, с помощью субтрактивной кластеризации при разработке нечеткой модели Сугено и алгоритма нечетких *s*-средних при разработке нечеткой модели типа Мамдани. Выявленные кластеры интерпретируются как нечеткие правила [10]. На втором этапе (дополнительном) осуществляется оптимизация параметров нечеткой модели.

В случае модели Сугено применяется нейросетевой ANFIS-алгоритм (ANFIS – Adaptive Network Based Fuzzy Inference System), основанный на методе обратного распространения ошибки [11].

Постановка задачи

Задача разработки нечеткой модели состоит в идентификации нечетких правил, связывающих входные данные (x) с выходом (y):

$$(\mathbf{X}_r, y_r), r=\overline{1, M}, \quad (1)$$

где $\mathbf{X}_r$ – вектор входных данных, соответствующий r -ой строке набора данных и y_r – значение выходной переменной; M – количество пар экспериментальных данных.

Настройка нечеткой модели происходит по критерию среднего квадратического отклонения (root-mean-square error, RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=\overline{1, M}} (y_r - F(\mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{X}_r))^2}, \quad (2)$$

где $\mathbf{P}$ – вектор параметров функций принадлежности переменных (x) и (y); $\mathbf{W}$ – вектор весовых коэффициентов правил базы знаний; $F(\mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{X}_r)$ – результат расчета нечеткой моделью.

В качестве входных данных (x) предлагается использовать три показателя, характеризующих технику пилотирования и три комплексных показателя, характеризующих глазодвигательную активность, а также один показатель, характеризующий психофизиологическое напряжение курсанта, основанный на оценке индекса перенапряжения регуляторных систем. Первая группа показателей $\mathbf{d}_{fg}$, характеризующих технику пилотирования, основана на использовании манхэттенского расстояния и рассчитывается по формуле:

$$\mathbf{d}_{fg} = \int_{t_0}^{t_n} |f(t) - g(t)| dt / \int_{t_0}^{t_n} g(t) dt, \quad (3)$$

где $f(t)$ – функция, соответствующая наблюдаемым значениям параметров полета в ходе тренажерной подготовки на интервале времени $[t_0; t_1]$, в течение которого проводилось наблюдение; $g(t)$ – функция, соответствующая эталонным значениям параметра полета на выбранном промежутке времени $[t_0; t_1]$.

t_0 и t_n – временной интервал от 0 до n .

Чем ближе значение $\mathbf{d}_{fg}$ к нулю, тем точнее выдерживаются параметры полета. Если $g(t) \geq 0$, то отрицательных значений этот коэффициент принимать не может, а его положительное значение в долях единицы (или в процентах) показывает, какую часть от общей площади под криволинейной трапецией, ограниченной сверху графиком функции $g(t)$, составляет площадь, заключенная между графиками двух функций $f(t)$ и $g(t)$. В качестве контролируемых параметров полета были выбраны: приборная скорость, вертикальная скорость и угол крена (SP , VS , BK).

Вторая группа показателей характеризует глазодвигательную активность курсантов при их взаимодействии с электронными системами отображения информации. Применение факторного анализа в предыдущих исследованиях авторов (применялся метод «варимакс») позволило сократить число учитываемых параметров глазодвигательной деятельности до трех: 1) количество фиксаций FC (Fixation Count); 2) возвратные саккады RS (Reverse Saccades); 3) длительность фиксаций FD (Fixation Duration).

Показатель RS рассчитывается по формуле:

$$RS = \sum_{i=1}^k RS_{roi} / \sum_{i=1}^n RS_{roi}, \quad (4)$$

где RS_{roi} – индекс, характеризующий количество возвратных саккад в области интереса, контролируемых на заданном этапе;

k – количество областей интереса, контролируемых на заданном этапе;

n – общее количество областей интереса.

Показатель FC рассчитывается по формуле:

$$FC = \sum_{i=1}^k FC_{roi} / \sum_{i=1}^n FC_{roi}, \quad (5)$$

где FC_{roi} – индекс, характеризующий общее количество фиксаций в области интереса, контролируемых на заданном этапе.

Показатель FD рассчитывается по формуле:

$$FD = \sum_{i=1}^k FD_{roi} / \sum_{i=1}^n FD_{roi}, \quad (6)$$

где FD_{roi} – индекс, характеризующий общую длительность фиксаций в области интереса, контролируемую на заданном этапе.

Показатель, характеризующий психофизиологическое напряжение курсанта, основанный на оценке индекса перенапряжения регуляторных систем (IPS), рассчитывается следующим образом [12]:

$$IPS = A \frac{Mo}{ИДМ} \frac{t_k}{t_n} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где A – амплитуда моды распределения межсистолических интервалов;

Mo – мода распределения;

ИДМ – индекс медленноволновой аритмии;

$\frac{t_k}{t_n}$ – отношение измеренного времени распространения пульсовой волны к времени распространения в состоянии покоя.

В качестве выходной переменной (IN) используется оценка инструктора по шкале от 1 до 10.

Для апробации предложенного подхода были проведены экспериментальные исследования. Для регистрации полетной информации, выводимой на PFD (Primary Flight Display), в пилотской кабине устанавливалась цифровая камера с возможностью видеозаписи высокого качества и частотой записи 60 кадров в секунду. С помощью видеозаписи фиксировались все параметры полета. Параметры глазодвигательной активности фиксировались с помощью системы регистрации движений глаз Gazepoint 3HD фирмы “Gazepoint”. Для оценки психофизиологической напряженности испытуемых использовался комплект устройств, позволяющий осуществлять мониторинг ЭКГ.

В проведении эксперимента приняли участие 26 курсантов, каждый из которых выполнил на тренажере самолета DA40 два участка горизонтального полета и нисходящую спираль с выдерживанием заданных параметров полета: для горизонтального полета – приборную скорость и высоту полета, для нисходящей спирали – приборную скорость, вертикальную скорость и

угол крена. Эти параметры полета использовались для оценки качества пилотирования. Полет выполнялся в условиях имитации приборного полета.

Описание результатов

Разработка нечетких моделей осуществлялась в пакете Fuzzy Logic Toolbox программы Matlab.

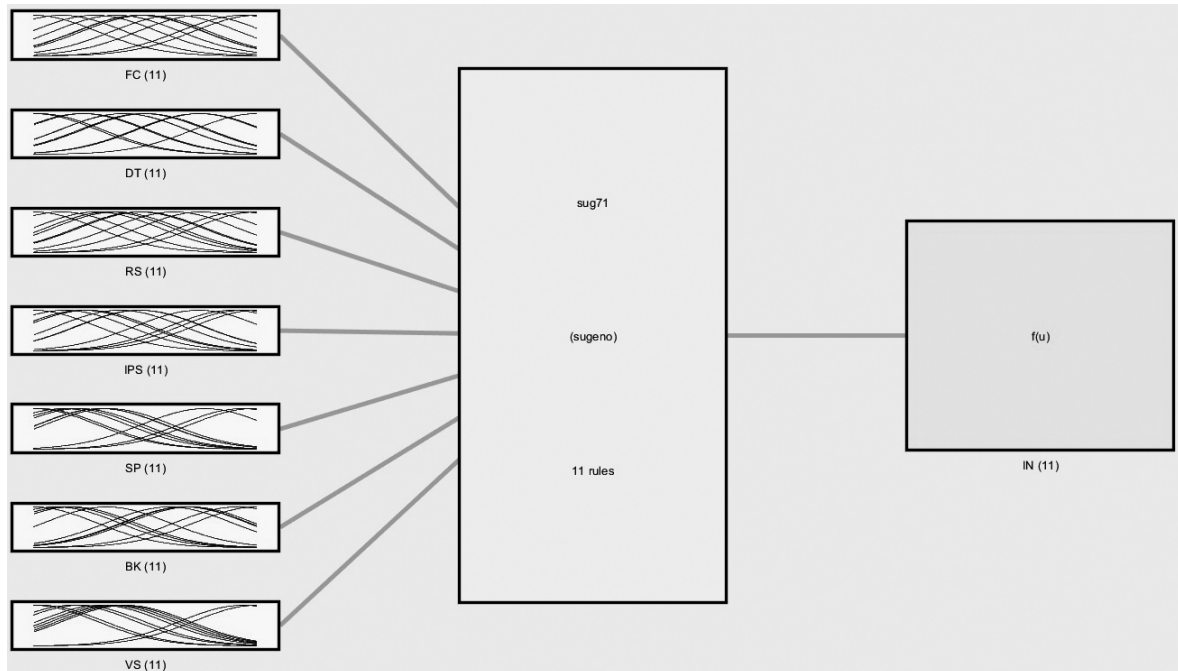


Рис. 1. Схема разработанной модели Сугено

В качестве обучающих данных использованы показатели 18 курсантов, а в качестве тестовых – показатели 8 курсантов. Радиус кластеров в алгоритме субтрактивной кластеризации при разработке нечеткой модели Сугено был выбран равным 0,8 (значение устанавливается из диапазона [0, 1]). Схема модели представлена на рис. 1.

В результате кластерного анализа были найдены 11 кластеров, которые, как было описано выше, характеризуют 11 правил вывода в нечеткой модели Сугено. База правил модели Сугено представлена на рис. 2.

```

1. If (FC is in1cluster1) and (DT is in2cluster1) and (RS is in3cluster1) and (IPS is in4cluster1) and (SP is in5cluster1) and (BK is in6cluster1) and (VS is in7cluster1) then (IN is out1cluster1) (1)
2. If (FC is in1cluster2) and (DT is in2cluster2) and (RS is in3cluster2) and (IPS is in4cluster2) and (SP is in5cluster2) and (BK is in6cluster2) and (VS is in7cluster2) then (IN is out1cluster2) (1)
3. If (FC is in1cluster3) and (DT is in2cluster3) and (RS is in3cluster3) and (IPS is in4cluster3) and (SP is in5cluster3) and (BK is in6cluster3) and (VS is in7cluster3) then (IN is out1cluster3) (1)
4. If (FC is in1cluster4) and (DT is in2cluster4) and (RS is in3cluster4) and (IPS is in4cluster4) and (SP is in5cluster4) and (BK is in6cluster4) and (VS is in7cluster4) then (IN is out1cluster4) (1)
5. If (FC is in1cluster5) and (DT is in2cluster5) and (RS is in3cluster5) and (IPS is in4cluster5) and (SP is in5cluster5) and (BK is in6cluster5) and (VS is in7cluster5) then (IN is out1cluster5) (1)
6. If (FC is in1cluster6) and (DT is in2cluster6) and (RS is in3cluster6) and (IPS is in4cluster6) and (SP is in5cluster6) and (BK is in6cluster6) and (VS is in7cluster6) then (IN is out1cluster6) (1)
7. If (FC is in1cluster7) and (DT is in2cluster7) and (RS is in3cluster7) and (IPS is in4cluster7) and (SP is in5cluster7) and (BK is in6cluster7) and (VS is in7cluster7) then (IN is out1cluster7) (1)
8. If (FC is in1cluster8) and (DT is in2cluster8) and (RS is in3cluster8) and (IPS is in4cluster8) and (SP is in5cluster8) and (BK is in6cluster8) and (VS is in7cluster8) then (IN is out1cluster8) (1)
9. If (FC is in1cluster9) and (DT is in2cluster9) and (RS is in3cluster9) and (IPS is in4cluster9) and (SP is in5cluster9) and (BK is in6cluster9) and (VS is in7cluster9) then (IN is out1cluster9) (1)
10. If (FC is in1cluster10) and (DT is in2cluster10) and (RS is in3cluster10) and (IPS is in4cluster10) and (SP is in5cluster10) and (BK is in6cluster10) and (VS is in7cluster10) then (IN is out1cluster10) (1)
11. If (FC is in1cluster11) and (DT is in2cluster11) and (RS is in3cluster11) and (IPS is in4cluster11) and (SP is in5cluster11) and (BK is in6cluster11) and (VS is in7cluster11) then (IN is out1cluster11) (1)
    
```

Рис. 2. База правил модели Сугено

Среднее квадратическое отклонение на обучающем наборе данных составило $\text{trnRMSE1}=5,11 \cdot 10^{-15}$, на тестовом – $\text{chkRMSE1}=3,862$. Результаты сравнения нечеткого моделирования с обучающим и тестовым набором данных представлены на рис. 3.

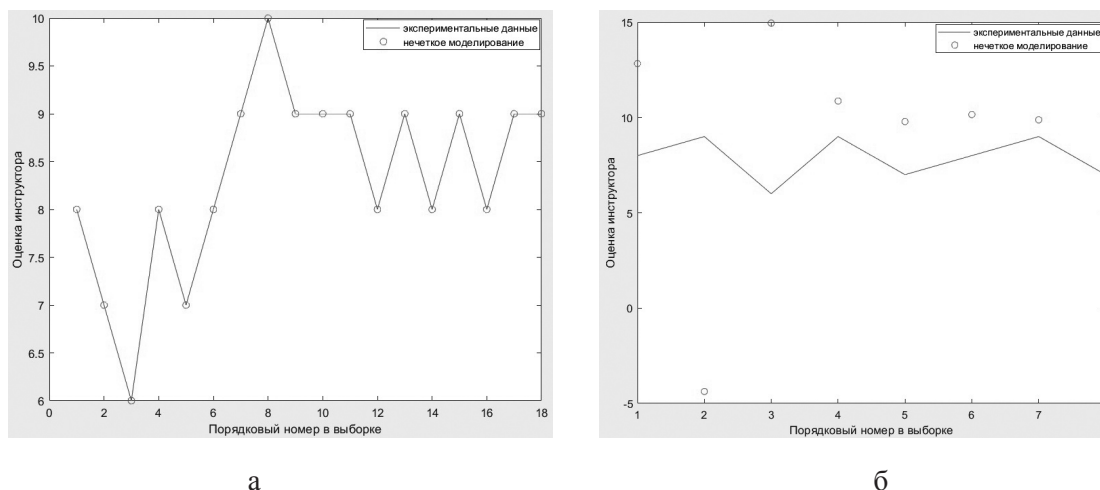


Рис. 3. Результаты сравнения нечеткой модели Сугено:
с обучающим набором данных – а; с тестовым набором данных – б

Функции принадлежности входных переменных имеют вид гауссовских кривых. Данные кривые описываются по формуле [9]:

$$\mu(x) = \exp(-(x-b)^2 / 2c^2), \quad (8)$$

где b – координата максимума функции принадлежности;
 c – коэффициент концентрации функции принадлежности.

В качестве примера на рис. 4 представлены функции принадлежности для входной переменной FC, параметры которых для первых трех кластеров представлены в табл. 1.

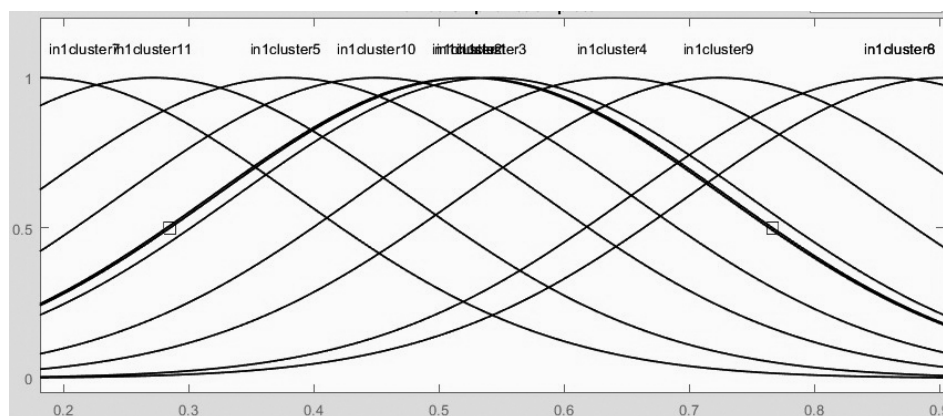


Рис. 4. Пример функций принадлежности переменной FC

Таблица 1

Параметры функций принадлежности переменной FC

Кластер	Параметры	
	b	c
cluster1	0,2045	0,5259
cluster2	0,2045	0,523
cluster3	0,2045	0,5424

Сравним разработанную модель Сугено с моделью Мамдани. Ключевым параметром алгоритма нечетких c -средних является количество кластеров. Исходя из результатов субтрактивной кластеризации, не требующей задания количества кластеров, значение количества кластеров было выбрано равным 11. Вторым важным параметром является экспоненциальный вес m , который определяет уровень нечеткости. Исходя из опыта проектирования моделей, его устанавливают равным 2. В результате кластеризации получены матрица координат центров нечетких кластеров (каждая строка матрицы описывает центр одного кластера) и матрица степеней принадлежности объектов кластерам.

Из экспериментальных данных была разработана нечеткая модель, содержащая 11 нечетких правил (рис. 5). Значения ошибок на обучающем и тестовом наборе данных равны $\text{trnRMSE3}=0,0601$ и $\text{chkRMSE3}=1,1309$ соответственно.

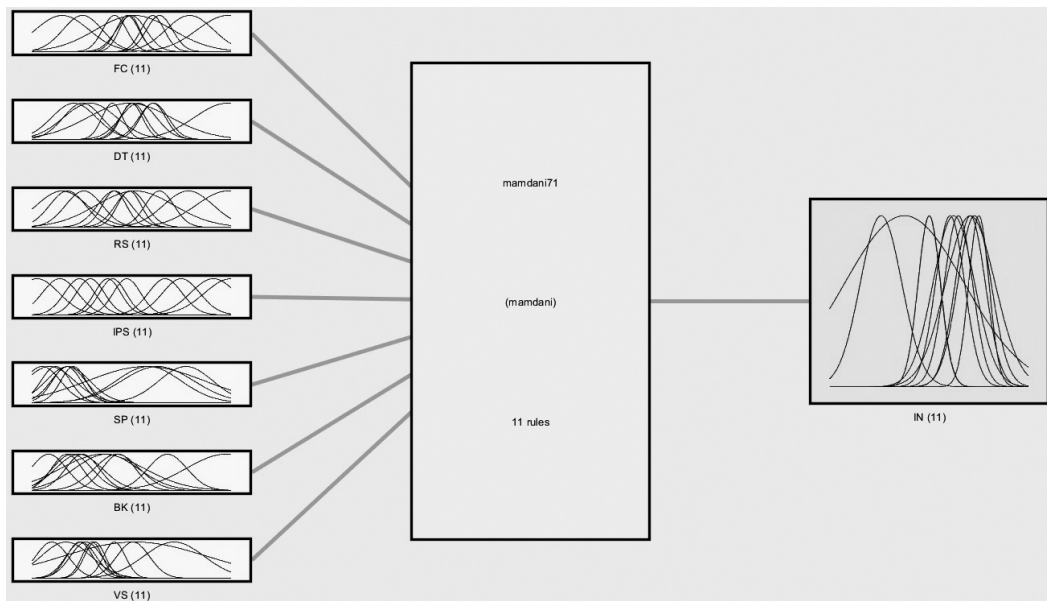


Рис. 5. Схема разработанной модели Мамдани

Оценку компактности полученных 11 кластеров произведем с помощью индекса χ Хей-Бени (Хей-Бени, ХБ), который рассчитывается по формуле [9]:

$$\chi = \sum_{i=1, c} \sum_{k=1, M} (\mu_{ki})^m \|X_k - V_i\|^2 / \left[M \min_{i \neq j} (\|X_k - V_i\|^2) \right]. \quad (9)$$

Полученное значение индекса согласно формуле (9) составило 0,5777. Хороший результат разбиения на нечеткие кластеры соответствует критерию $\chi < 1$, то есть чем меньше значение индекса, тем качественнее выполнено разбиение на кластеры. В данном случае можно сделать вывод, что получено хорошее разбиение на нечеткие кластеры. В табл. 2 представлены результаты сравнения полученных моделей.

Таблица 2

Результаты сравнения полученных моделей

Модель	RMSE на обучающей выборке	RMSE на тестовой выборке
Модель Сугено	$5,11 \cdot 10^{-15}$	3,862
Модель Мамдани	0,0601	1,1309
cluster3	0,2045	0,5424

Результаты сравнения нечеткого моделирования с обучающим и тестовым набором данных представлены на рис. 6.

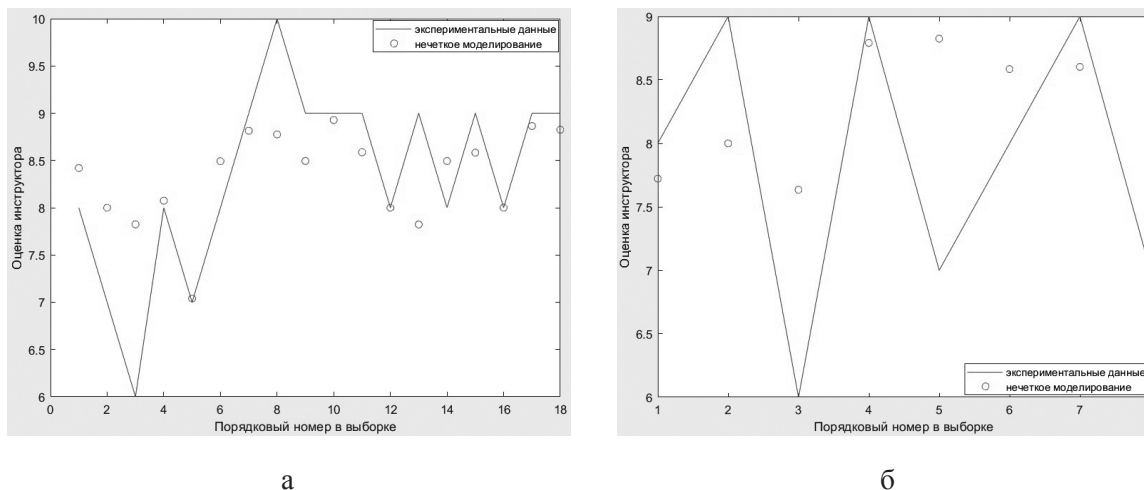


Рис. 6. Результаты сравнения нечеткой модели Мамдани: с обучающим набором данных – а; с тестовым набором данных – б

Согласно табл. 2 нечеткая модель Сугено на обучающей выборке лучше модели Мамдани аппроксимирует исследуемую зависимость. При этом на тестовой выборке модель Мамдани работает лучше. Это можно объяснить малым объемом выборки, что в дальнейшем предполагает проведение ряда дополнительных исследований и выбор окончательного варианта из рассматриваемых моделей.

Заключение

В статье предложен новый подход к оценке компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки.

Подход позволяет учитывать как техническую, так и нетехническую составляющие компетентности на основе объективных данных, которые представлены регистрируемыми параметрами полета, показателями глазодвигательной активности курсантов и показателем, характеризующим их психофизиологическое напряжение. Подход отличается от существующих применением нечетких моделей, которые автоматически генерируются из экспериментальных данных без привлечения экспертов.

В результате апробации предлагаемого подхода можно сделать вывод, что применение нечетких моделей позволит создавать системы поддержки принятия решений в задаче оценки компетентности курсантов в процессе первоначальной летной подготовки.

Список источников

1. Дос. 9868. Правила аэронавигационного обслуживания. Подготовка персонала. Издание третье. Монреаль, Квебек, Канада: ИКАО, 2020. 230 с.
2. Подготовка персонала на основе анализа фактических данных. Руководство по внедрению. Издание первое. Международная ассоциация воздушного транспорта, 2014. 223 с.
3. Айдаркин Д. В., Когут С. В., Косачевский С. Г., Фролова Л. И. Метод объективной оценки качества пилотирования на комплексных тренажерах самолетов // Научный вестник УИ ГА. 2020. № 12. С. 41–47.

4. Li W., Lin J. J., Braithwaite G. R., Greaves M., The development of eye tracking in aviation (ETA) technique to investigate pilot's cognitive processes of attention and decision-making, *Proceedings of the 32nd Conference of the European Association for Aviation Psychology*, 26–30 Sept. 2016, Cascais, Portugal, EAAP, 2016, pp. 1–10.
5. Айдаркин Д. В., Качан Д. В., Косачевский С. Г. Разработка критериев для оценки процесса формирования навыков пилотирования в ходе первоначального летного обучения пилотов // Научный вестник УИ ГА. 2017. № 9. С. 91–97.
6. Куравский Л. С., Юрьев Г. А., Златомрежнев В. И., Грешников И. И., Поляков Б. Ю. Оценка действий экипажа самолета по данным видеоокулографии // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 1. С. 204–222. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140110>
7. Weibel N., Fouse A., Emmenegger C., Kimmich S., Hutchins E. Let's look at the cockpit: exploring mobile eye-tracking for observational research on the flight deck, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA'12)*, March 28–30 2012, Santa Barbara, CA, ETRA, 2012, pp. 107–114.
8. Kosko B., Fuzzy Systems as Universal Approximators, *IEEE Trans. On Computers*, 1994, vol. 43, no. 11. pp. 1329–1333. <https://doi.org/10.1109/12.324566>
9. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.
10. Гладких А. А. Волков Ал. К., Волков Ан. 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 (337). С. 87–99.
11. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. *Foundations of neuro-Fuzzy Systems*, John Wiley&Sons, 1997, 305 p.
12. Каплан А. Я. Вариабельность ритма сердца и характер обратной связи по результату операторской деятельности у человека // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 1999. Т. 49. С. 345–350.

References

1. Doc. 9868. Procedures for Air Navigation Services. Training. Third Edition, Montréal, Quebec, Canada, ICAO, 2020, 230 p. (In Russ.)
2. Evidence Based Training Implementation Guide, Montreal, ICAO, 2014.
3. Aidarkin D. V., Kogut S. V., Kosachevsky S. G., Frolova L. I., Method for objective assessment of pilot control quality in full flight simulators, *Nauchnyj vestnik UI GA*, 2020, no. 12, pp. 41–47. (In Russ.)
4. Li W., Lin J. J., Braithwaite G. R., Greaves M., The development of eye tracking in aviation (ETA) technique to investigate pilot's cognitive processes of attention and decision-making, *Proceedings of the 32nd Conference of the European Association for Aviation Psychology*, 26–30 Sept. 2016, Cascais, Portugal, EAAP, 2016, pp. 1–10.
5. Aidarkin D. V., Kachan D. V., Kosachevsky S. G., Development of criteria for assessing the formation of piloting skills during the initial pilot training, *Nauchnyj vestnik UI GA*, 2017, no. 9, pp. 91–97. (In Russ.)
6. Kuravsky L. S., Yuriev G. A., Zlatomrezhev V. I., Greshnikov I. I., Polyakov B. Yu., *Experimental Psychology (Russia)*, 2021, vol. 14, no. 1, pp. 204–222. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140110>
7. Weibel N., Fouse A., Emmenegger C., Kimmich S., Hutchins E., Let's look at the cockpit: exploring mobile eye-tracking for observational research on the flight deck, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA'12)*, March 28–30 2012, Santa Barbara, CA, ETRA, 2012, pp. 107–114.
8. Kosko B., *IEEE Trans. On Computers*, 1994, vol. 43, no. 11, pp. 1329–1333. <https://doi.org/10.1109/12.324566>
9. Shtovba S. D., *Proektirovanie nechetkikh system sredstvami MATLAB [Designing fuzzy systems using MATLAB]*, Moscow, Goryachaya liniya – Telecom Publ., 2007, 288 p. (In Russ.)
10. 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, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 26, pp. 87–99. (In Russ.)

11. Nauck D., Klawonn F., Kruse R., *Foundations of neuro-Fuzzy Systems*, John Wiley&Sons, 1997, 305 p.
12. Kaplan A. Ya., The variability of the heart rhythm and the nature of the feedback as a result of operator activity in man, *I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 1999, vol. 49, no. 2, pp. 345–350. (In Russ.)

Информация об авторах

Волков Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры, Ульяновский институт гражданской авиации, Ульяновск, Россия, volkovalex8@rambler.ru

Фролова Лидия Ивановна, начальник отдела, аспирант, Ульяновский институт гражданской авиации, Ульяновск, Россия, frolova.i.lidiya@gmail.com

Косачевский Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры, Ульяновский институт гражданской авиации, Ульяновск, Россия, kosach-51@mail.ru

Заббаров Зульфат Рифкатович, аспирант, Ульяновский институт гражданской авиации; пилот, Аэрофлот – российские авиалинии, Москва, Россия, zabbarovz@gmail.com

Authors information

Volkov Alexander K., Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor at the Department, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia, volkovalex8@rambler.ru

Frolova Lidiya I., Head of Department, Postgraduate Student, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia, frolova.i.lidiya@gmail.com

Kosachevsky Sergey G., Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Professor at the Department, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia, kosach-51@mail.ru

Zabbarov Zulfat R., Postgraduate Student, Ulyanovsk Civil Aviation Institute; Pilot, Aeroflot – Russian Airlines, Moscow, Russia, zabbarovz@gmail.com

Статья поступила в редакцию 18.02.2022; одобрена после рецензирования 10.05.2022; принята к публикации 19.05.2022.

The article was submitted 18.02.2022; approved after reviewing 10.05.2022; accepted for publication 19.05.2022.

Научная статья

УДК 623.746-519:504.064.37

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ГРУНТА

А. В. ВЕЛИКАНОВ¹, Ж. Ю. КОЧЕТОВА¹, А. В. ШИШКИН¹, Н. А. ДЬЯКОВА²

¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

² Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Проанализированы существующие приборы химической разведки, их состав и порядок использования при обследовании на наличие отравляющих веществ в воздухе, в том числе при пониженной температуре, на местности, технике и различных предметах, а также в почве и сыпучих материалах. Проведен анализ возможных последствий чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах, способных вызвать заражение местности опасными химическими отравляющими веществами. Определен перечень химически опасных объектов. Представлены проблемные вопросы ведения воздушной радиационной, химической разведки местности и перспективы их решения. В статье рассмотрена актуальность применения беспилотных летательных аппаратов мультироторного или вертолетного типа для дистанционного мониторинга зараженных участков местности химически опасными веществами, а также проведен анализ существующей системы ведения химической разведки местности. Обоснована целесообразность применения для дистанционной химической разведки местности беспилотных летательных аппаратов мультироторного или вертолетного типов. В качестве полезной целевой нагрузки на борту беспилотного летательного аппарата мультироторного или вертолетного типа предложено использовать газоанализатор, принцип действия которого основан на работе полупроводниковых сенсоров, функционирующих на основе пьезокварцевого микровзвешивания и спектрального метода анализа, позволяющий идентифицировать химические вещества и их концентрацию в воздухе и на поверхности земли. Также предложено использовать на беспилотных комплексах химической разведки грунта систему горизонтирования при посадке, которая позволит беспрепятственно проводить химическую разведку различных по рельефу опорных поверхностей.

Ключевые слова: приборы химической разведки, беспилотный летательный аппарат, беспилотный комплекс химической разведки грунта, химически опасные объекты, полупроводниковый сенсор, газоанализаторы

Для цитирования: Великанов А. В., Кочетова Ж. Ю., Шишкин А. В., Дьякова Н. А. Перспективы развития беспилотных комплексов химической разведки грунта // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 116–124.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNMANNED GROUND-BASED CHEMICAL RECONNAISSANCE SYSTEMS

A. V. VELIKANOV¹, ZH. YU. KOCHETOVA¹, A. V. SHISHKIN¹, N.A. DYAKOVA²

¹ Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract. The existing chemical reconnaissance devices, their composition, and the order of their use during the survey for the presence of toxic substances in the air, including at low temperatures, on the ground, equipment, and various objects, as well as in the soil and bulk materials are analyzed. The analysis of possible consequences of emergencies at industrial facilities capable of causing contamination of the area with hazardous chemical toxic substances was carried out. The list of chemically hazardous objects has been determined. The problematic issues of aerial radiation and chemical reconnaissance of the area and their prospects are presented. In the article the urgency of application of unmanned aerial vehicles of multirotor or helicopter type for remote monitoring of the area contaminated with the chemically hazardous substances is considered, and also the analysis of the existing system of chemical reconnaissance of the area is performed. The expediency of application of multirotor or helicopter-type unmanned aerial vehicles for remote chemical reconnaissance of the area is substantiated. As a payload on board of an unmanned aerial vehicle of multirotor or helicopter type it is offered to use a gas analyzer based on semiconductor sensors functioning on the basis of piezo-quartz microbalance and spectral analysis method allowing to identify chemical substances and their concentration in the air and on the ground. It is also proposed to use on unmanned ground chemical reconnaissance complexes a system of horizoning at landing, which will allow to conduct chemical reconnaissance of different relief support surfaces smoothly.

Keywords: chemical reconnaissance instruments, unmanned aerial vehicle, unmanned ground chemical reconnaissance system, chemical hazardous facilities, semiconductor sensor, gas analysers

For citation: Velikanov A. V., Kochetova Zh. Yu., Shishkin A. V., Dyakova N. A., Prospects for the development of unmanned ground-based chemical reconnaissance systems, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 116–124. (In Russ.)

Введение

Основным инструментом в современных военных конфликтах является вооруженная борьба, предполагающая лишение возможностей переформирования вооруженных сил противника с мирного на военное время, а также поражение энергетических комплексов и объектов инфраструктуры противоборствующей стороны путем применения новейшего высокоточного, технологичного оружия и оружия массового поражения. К наиболее опасным, способным вызвать заражение обширных территорий местности промышленным объектам относятся атомные электростанции, химические, нефтехимические, металлургические, биотехнические предприятия и их складские территории.

Чрезвычайная ситуация на вышеперечисленных объектах, вызванная случайными или преднамеренными авариями, сопровождается выбросами в атмосферу аварийно-опасных химических отравляющих веществ (АХОВ) или загрязнением вследствие разлива сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), может привести к радиационной, химической и биологической катастрофе на прилегающих территориях. Самые, казалось бы, безобидные предприятия, такие как водопроводные станции, целлюлозные и бумажные комбинаты и др., также представляют опасность для окружающей среды и человека, поскольку используют в своих технологических процессах те же СДЯВ.

Кроме того, существует реальная угроза совершения теракта с применением химически опасных веществ и применения химического оружия.

Аналитические исследования

Обнаружение и определение степени заражения отравляющими и сильнодействующими ядовитыми веществами воздуха, местности, сооружений, оборудования, транспорта, средств индивидуальной защиты, одежды, продовольствия, воды, фуража и других объектов производится

с помощью приборов химической разведки или путем взятия проб и последующего анализа их в химических лабораториях. Принцип обнаружения и определения отравляющих веществ (ОВ) приборами химической разведки основан на изменении окраски индикаторов при взаимодействии их с ОВ. В зависимости от того, какой был взят индикатор и как он изменил окраску, определяют тип ОВ, а сравнение интенсивности полученной окраски с цветным эталоном позволяет судить о приблизительной концентрации ОВ в воздухе или о плотности заражения. К приборам химической разведки относятся: войсковой прибор химической разведки (ВПХР), прибор химической разведки (ПХР), полуавтоматический прибор химической разведки (ППХР), автоматический газосигнализатор. Приборы химической разведки конструктивно незначительно отличаются друг от друга [1-6].

Войсковой прибор химической разведки (ВПХР) предназначен для определения в воздухе, на местности, технике и различных предметах ОВ типа фосфорорганических веществ (ФОВ), таких как зарин, зоман, Ви-Икс, а также иприта, фосгена, синильной кислоты и хлорциана в полевых условиях.

Прибор ВПХР состоит из корпуса с крышкой и размещенных в нем ручного насоса, насадки к насосу, бумажных кассет с индикаторными трубками, противодымных фильтров, защитных колпачков, электрического фонаря, грелки с патронами. В комплект прибора входят также штырь, лопаточка, инструкция-памятка по работе с прибором, инструкция-памятка по определению ОВ типа зомана в воздухе. Масса прибора составляет около 2,2 кг.

Для обнаружения ОВ в почве и сыпучих материалах подготавливают и вставляют в насос соответствующую индикаторную трубку, наворачивают насадку, вставляют колпачок. Затем лопаткой берут пробу верхнего слоя почвы (снега) или сыпучего материала и насыпают ее в воронку колпачка до краев. Воронку накрывают противодымным фильтром и закрепляют прижимным кольцом. После этого через индикаторную трубку прокачивают воздух (до 120 качаний насоса), выбрасывают защитный колпачок вместе с пробой и противодымным фильтром. Отвинчивают насадку, вынимают индикаторную трубку и определяют присутствие ОВ.

К недостаткам использования рассмотренного ВПХР можно отнести такие параметры, как длительность и трудоемкость процесса определения ОВ, низкую точность измерений, поскольку оценка наличия ОВ производится визуально по изменению цвета индикаторной трубки и не позволяет достоверно определить их концентрацию, а также необходимость выхода на местность оператора и непосредственный контакт с возможно зараженным материалом, что подвергает опасности его жизнь и здоровье, сложность прибора, необходимость наличия достаточного количества одноразовых индикаторных трубок, длительность подготовки прибора к работе, сложность использования при низких температурах и т. д.

Анализ существующей системы ведения воздушной химической и радиационной разведки показал, что в настоящее время имеется ряд проблемных вопросов. Они заключаются в том, что органы военного управления и подразделения Министерства чрезвычайных ситуаций не могут быть в полной мере обеспечены достоверной и своевременной информацией о химической, радиационной обстановке на местности по причине того, что действующая в настоящий момент система предусматривает только ведение воздушно-радиационной разведки местности, а дистанционная воздушная химическая разведка местности практически не реализована.

Для успешного и качественного планирования специальных операций необходима оперативная и достоверная информация о радиационной, химической и биологической (РХБ) обстановке местности, получаемая из различных источников, которая содержит данные об очагах заражения.

В данный момент в подразделениях радиационной, химической и биологической защиты для ведения дистанционной химической разведки местности используются газоанализаторы ПХРДД, смонтированные на разведывательной химической машине. Пассивный инфракрасный газосигнализатор ПХРДД представляет из себя фурье-спектрометр с большой светосилой

и способностью отображения информации одновременно по широкому перечню химических веществ с одновременной регистрацией за короткое время протяженных участков оптического спектра [7, 8]. Для наглядного сравнения технических возможностей существующих средств химической разведки составлена сводная таблица основных тактико-технических характеристик ПХРДД (табл. 1). Применение указанных средств дистанционной химической разведки позволяет получить данные, но недостаточно оперативно и объективно, так как их работа полностью зависит от ландшафта исследуемой местности, ее доступности, наличия инженерных коммуникаций, сооружений и разрушений на ней, а также иных препятствий (кустарников, деревьев и др.). Также к недостаткам приборов, использующих метод пассивной инфракрасной спектроскопии, можно отнести необходимость обязательного присутствия градиента концентрации во времени. Соблюдение этого условия обеспечивается только при регистрации и идентификации загрязняющих атмосферу веществ, находящихся в парообразном состоянии в первичном облаке токсичных химикатов (ТХ) и АХОВ, существующем, как правило, в течение нескольких секунд при применении ТХ и до 3 мин при разрушении емкостей с АХОВ [9]. Помимо этого, фурье-спектрометры не могут идентифицировать вещества, обладающие низкой летучестью в состоянии аэрозоля.

Таблица 1

Основные тактико-технические характеристики средств химической разведки

Наименование характеристик	ПХРДД-1	ПХРДД-2	ПХРДД-3
Рабочий спектральный диапазон, мкм	9,6–10,0	7–13	7–13
Порог чувствительности обнаружения, мг/м ²	50	50	150
Поле зрения прибора, °	2	1,5	2
Вероятность обнаружения заданных веществ, не менее	0,8	0,9	0,9
Быстродействие, с	2	0,3	0,1
Дальность действия, км	1–3	не менее 5	1–1,5
Определение вещества	пары ФОВ	пары ФОВ и до 20 СДЯВ	пары ФОВ и до 20 СДЯВ
Потребляемая мощность, Вт	660	150	40
Масса прибора, кг	92	15	5

В настоящий момент в системе организации и ведения воздушной химической разведки местности имеется ряд нерешенных конструктивных и организационных проблем по выбору максимально эффективных способов выявления АХОВ и ТХ, связанных с особенностью ведения дистанционной химической разведки.

Имеющиеся средства ведения воздушной радиационной, химической и биологической разведки местности не позволяют раскрыть весь потенциал возложенных на нее задач. На штатных комплексах воздушной радиационной разведки (ВРР), таких как вертолет Ми-24р, для ведения химической разведки устанавливаются газосигнализатор ГСА-12 и ВПХР [10].

Для исключения влияния воздушного потока, создаваемого несущим и рулевым винтами, получение достоверной измерительной информации с ПВХР и ГСА-12 возможно лишь после посадки вертолета в зараженном участке местности при полной остановке винтов. Это влечет

за собой угрозу жизни и здоровью экипажа посредством попадания АХОВ и ТХ на одежду и элементы вертолета. Помимо всего прочего экипаж должен быть обучен использованию ВПХР и газосигнализатора ГСА-12 на авиационной технике, или в состав экипажа необходимо включать дополнительно оператора средств химической разведки.

В целях ведения воздушной радиационной и химической разведки местности были разработаны в советское время и приняты на вооружение целевые нагрузки воздушной радиационной разведки (НРР) и химической разведки (НХР) для комплекса 576 на базе беспилотного летательного аппарата (БпЛА) «Пчела» (рис. 1).

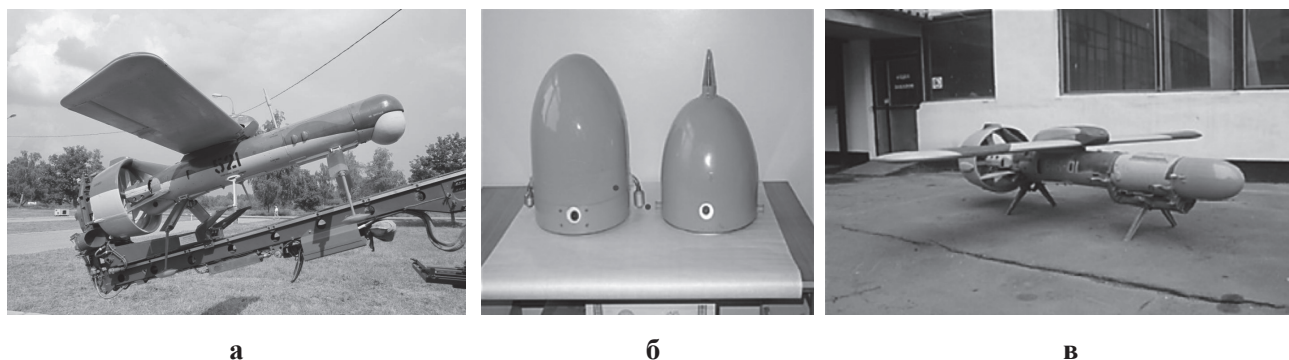


Рис. 1. Комплекс 576 воздушной радиационной и химической разведки:
БпЛА «Пчела» – а; НРР и НХР – б; НРР на БпЛА «Пчела» – в

В состав НХР входят: прибор 576Д1Х2, видеокамера и обтекатель. Анализ основных тактико-технических характеристик НХР показывает ее недостаточную эффективность в плане обнаружения ОВ на поверхности объектов и непосредственно в грунте (табл. 2) [11].

Таблица 2

Основные тактико-технические характеристики НХР

Основные тактико-технические характеристики, единицы измерения	Значение или показатель
Диапазон высот ведения разведки, м	50–500
Порог чувствительности по парам фосфорорганических веществ (зарин, зоман, Ви-газы), мг/л	$(2-8) \cdot 10^{-5}$
Порог чувствительности по СДЯВ (хлор, аммиак) / предельно допустимая концентрация, мг/л	(10–100)
Время готовности к работе, мин	не более 5
Скорость ведения разведки, км/ч	100–250

Данный аппарат способен производить разведку только воздушных облаков химических веществ на высоте от 50 до 500 м, тогда как самые опасные вещества оседают на поверхности земли. По своим возможностям беспилотный комплекс воздушной химической разведки не удовлетворяет требованиям к современным БпЛА, в частности, продолжительность его полета в 2–4 раза меньше современных образцов. В настоящий момент данный комплекс вышел за срок гарантийного использования, морально и технически устарел.

Следовательно, с целью сокращения времени для сбора информации и повышения эффективности ведения воздушной химической разведки местности актуальной становится необходимость применения в этой задаче современных датчиков и перспективных БпЛА мультироторного

или вертолетного типа, что позволит усовершенствовать процесс дистанционного мониторинга химически зараженных участков местности.

Основным недостатком существующих мониторинговых комплексов является то, что химическое загрязнение местности определяют по содержанию веществ в воздухе, тогда как химические токсиканты (в том числе боевые отравляющие вещества) переносятся воздушными потоками на значительные расстояния и накапливаются в низинах, на поверхности почв, проникают вглубь, отравляя подземные воды, или, напротив, под воздействием определенных природных условий испаряются из почв, вторично загрязняя воздух [12]. Имеющиеся системы химической разведки не позволяют проводить оперативный анализ на небольшом расстоянии от поверхности грунта или непосредственно самого грунта, который является в большей степени показательной и долгосрочной индикацией загрязнения местности ТХ и АХОВ.

Проведенный анализ еще раз подчеркивает актуальность вопроса разработки и внедрения перспективных беспилотных комплексов химической разведки местности, которые позволят обеспечить получение достоверной и оперативной информации о загрязнении участков местности химически опасными ОВ.

Беспилотные комплексы химической разведки местности способны осуществлять оперативный дистанционный мониторинг объемных территорий в режиме реального времени с минимальными экономическими затратами.

В качестве полезной целевой нагрузки комплекса на борту БпЛА с вертикальным взлетом и посадкой может быть применен газоанализатор, принцип которого основан на работе полупроводниковых сенсоров, позволяющих идентифицировать химические вещества в воздухе и на земной поверхности.

Для расширения спектра исследуемых на предмет заражения ОВ поверхностей земли или объектов целесообразно использовать БпЛА мультироторного типа, оборудованные системой автоматического горизонтирования при посадке, что позволит проводить химическую разведку местности с различными формами рельефа. Подробнее принцип действия пьезосенсорного газоанализатора, оптимизация его работы, а также методика обнаружения химических веществ в грунте рассмотрены в работе [13].

С этой целью в Военном учебно-научном центре Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) коллективом авторов разработан беспилотный комплекс химической разведки грунта. Данный комплекс включает в себя БпЛА мультироторного типа, оснащенный телескопическими опорными стойками с возможностью их автоматического удлинения для горизонтирования комплекса при посадке, газоанализатор пьезосенсорного типа с открытой аналитической камерой и телескопическим устройством ее спуска и подъема, модуль связи с оператором, модуль питания газоанализатора, модуль считывания информации, видеокамеру. На рассмотренный беспилотный комплекс химической разведки грунта получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

В ходе работ по созданию беспилотного комплекса химической разведки грунта проведены натурные экспериментальные исследования по идентификации химических веществ с помощью газоанализатора пьезосенсорного типа. Полученные результаты свидетельствуют о соответствии полученных отпечатков эталонным образцам запахов в различных условиях (температура, влажность воздуха, маскирующие компоненты), что подтверждает их достоверность. Газоанализатор пьезосенсорного типа имеет время выхода на режим не более 1,5 мин, широкий диапазон измеряемых концентраций от 5 до 800 мг/кг, температурный диапазон применения от 0 до 40 °С, число измерений без поднастройки сенсоров не менее 2000. Также к положительным эффектам при использовании прибора можно отнести: универсальность газоанализатора (диагностика различных материалов); анализ проб за 3 мин «на месте»; экономичность ресурсо- и энергопотребления; возможность визуализации и запоминания результатов анализа; передачу информации на расстоянии в режиме реального времени; возможность работы в комплексе с другими датчиками.

Таким образом к основным критериям, определяющим целесообразность создания и применения беспилотных комплексов химической разведки грунта, можно отнести: повышение эффективности ведения химической разведки местности по оперативности и достоверности получаемой информации; уменьшение затрат на разработку, производство и эксплуатацию образца в сравнении с имеющимися средствами, используемыми для этих целей; исключение риска отравления людей при проведении химической разведки. Ведение химической разведки с использованием беспилотных комплексов позволит усовершенствовать процесс сбора информации о химическом заражении местности и значительно сократит время для принятия мер по устранению последствий чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Проведенные аналитические исследования позволили сформулировать ряд выводов и рекомендаций:

1. Разработка перспективных беспилотных комплексов химической разведки грунта является актуальной задачей.
2. Применение беспилотных комплексов химической разведки с вертикальным взлетом и посадкой позволит обеспечить получение по помехоустойчивым и разведзащищенным каналам радиосвязи достоверной и оперативной информации о химически опасных участках местности в масштабе времени, близком к реальному.
3. В качестве полезной целевой нагрузки на борту БпЛА с вертикальным взлетом и посадкой может быть применен газоанализатор, принцип которого основан на работе полупроводниковых сенсоров, позволяющий достоверно идентифицировать концентрацию химических веществ на поверхности исследуемых объектов.
4. Для расширения спектра исследуемых на предмет заражения ОВ поверхностей земли или объектов целесообразно использовать БпЛА мультироторного типа, дооборудованные системой автоматического горизонтирования при посадке, т. е. совмещения вертикальной оси БпЛА с отвесной линией, что позволит проводить химическую разведку местности с различными формами рельефа.

Список источников

1. Афанасьев Ю. Г., Овчаренко А. Г., Трутнева Л. И. Приборы радиационной и химической разведки: методические рекомендации к практическим работам по курсу «Безопасность жизнедеятельности». Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. университета им. Ползунова, 2003. 31 с.
2. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. С. В. Белова. Москва: Высшая школа, 1999. 448 с.
3. Атаманюк В. Г. и др. Гражданская оборона: учебник для вузов. Москва: Высшая школа, 1986. 207 с.
4. Гражданская оборона / Под ред. Е. П. Шубина. Москва: Просвещение, 1991. 223 с.
5. Егоров П. Т. и др. Гражданская оборона: учебник для вузов. Москва: Высшая школа, 1977. 303 с.
6. Семенов С. Н. и др. Проведение занятий по гражданской обороне: методическое пособие. Москва: Высшая школа, 1990. 96 с.
7. Методы и средства дистанционной радиационной, химической и биологической разведки: учебное пособие / Григорьев А. А., Мацюк А. В. Вольск-18, 2005. 208 с.
8. Аважанский Ю. В. Оборона Отечества. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 216 с.
9. Бакин Э. Н., Копяев В. И., Кудряшов А. С. Проблемные вопросы и перспективы развития системы воздушной радиационной, химической и биологической разведки местности и воздушного пространства // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 2. С. 7–17.
10. Боевой устав войск радиационной, химической и биологической защиты, часть 2 (рота, взвод, отделение). Москва: МО РФ, 2014. 252 с.

11. Акузин К. Н. Робототехнические комплексы (средства) войск радиационной, химической и биологической защиты Вооруженных Сил Российской Федерации (лекция) // Вестник войск РХБ защиты. 2021. Том 5. № 1. С 71–82. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-1-71-82>
12. Хисматуллина А. Ф., Гасилов В. С., Чижова М. А. Влияние метеорологических условий на распространение токсичных веществ в окружающем пространстве // Вестник технол. университета. 2017. Т. 20. № 12. С. 152–157.
13. Кочетова Ж. Ю., Григорьев Д. С., Григорян А. С. Пьезокварцевое микровзвешивание аварийно химически опасных веществ над поверхностью почвы // В сб.: Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции. Том 2: Химико-биологические науки / под общей редакцией проф. С. В. Беспаловой. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. С. 19–21.

References

1. Afanasyev Yu. G., Ovcharenko A. G., Trutneva L. I., *Radiation and chemical reconnaissance devices: Methodological recommendations for practical work on the course "Life safety"*, Biysk, Polzunov Altai State Technical University Publ., 2003, 31 p. (In Russ.)
2. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life safety]*, Edited by S. V. Belov, Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1999, 448 p. (In Russ.)
3. Atamanyuk V. G. et al., *Grazhdanskaya oborona [Civil defense. Textbook for universities]*, Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986, 207 p. (In Russ.)
4. *Grazhdanskaya oborona [Civil defense]*, Edited by E. P. Shubin, Moscow, Prosveshchenie Publ., 1991, 223 p. (In Russ.)
5. Egorov P. T. et al., *Grazhdanskaya oborona [Civil defense. Textbook for universities]*, Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977, 303 p. (In Russ.)
6. Semenov S. N. et al., *Conducting classes on civil defense: A methodological guide*, Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990, 96 p. (In Russ.)
7. *Metody i sredstva dstantsionnoj radiatsionnoj, khimicheskoy i biologicheskoy razvedki [Methods and means of remote radiation, chemical and biological reconnaissance. Textbook]*, Grigoriev A. A., Matsyuk A. V., Volsk-18, 2005, 208 p. (In Russ.)
8. Avazhansky Yu. V., *Oborona Otechestva [Defense of the Fatherland]*, Moscow, Ehnergoatomizdat Publ., 1989, 216 p. (In Russ.)
9. Bakin E. N., Kopaev V. I., Kudryashov A. S., Problematic issues and prospects for the development of the system of aerial radiation, chemical and biological reconnaissance of terrain and airspace, *Aerospace forces. Theory and practice*, 2017, no. 2, pp. 7–17. (In Russ.)
10. *Boevoj ustav vojsk radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity, chast' 2 (rota, vzvod, otdele-nie)*, Moscow, Ministerstvo oborony RF Publ., 2014, 252 p. (In Russ.)
11. Akuzin K. N., *Journal of NBC Protection corps*, 2021, vol. 5, no. 1, pp. 71–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-1-71-82>
12. Hismatullina A. F., Gasilov V. S., Chizhova M. A., The influence of meteorological conditions on the spread of toxic substances in the surrounding space, *Bulletin of the Technological University*, 2017, vol. 20, no. 12, pp. 152–157. (In Russ.)
13. Kochetova Zh. Yu., Grigoriev D. S., Grigoryan A. S., Piezo-quartz micro-weighing of emergency chemically hazardous substances above the soil surface, v sbornike *Donetskie chteniya 2020, Materialy V mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii* [In the collection: *Donetsk Readings 2020: education, science, innovation, culture and challenges of our time. Materials of the V International Scientific Conference*], Donetsk, DonNU publ., 2020, pp. 19–21. (In Russ.)

Информация об авторах

Великанов Алексей Викторович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, Velikanov_Al_V@mail.ru

Кочетова Жанна Юрьевна, доктор географических наук, доцент, доцент кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, zk_vva@mail.ru

Шишкин Алексей Викторович, адъюнкт, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия, e-mail: tehchast55@mail.ru

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, Ninochka_V89@mail.ru

Authors information

Velikanov Alexey V., Candidate of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, Velikanov_Al_V@mail.ru

Kochetova Zhanna Yu., Doctor of Sciences (Geographic), Associate Professor, Associate Professor of Department, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, zk_vva@mail.ru

Shishkin Alexey V., Adjunct, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, tehchast55@mail.ru

Dyakova Nina A., Candidate of Sciences (Biologic), Associate Professor of Department, Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninochka_V89@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.01.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2022; принята к публикации 04.05.2022.

The article was submitted 14.01.2022; approved after reviewing 20.04.2022; accepted for publication 04.05.2022.

Научная статья
УДК 004.052.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, СВЯЗАННЫХ С ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ФАКТОРОМ

В. В. БЫКОВА, А. Г. КАРАПЕТЯН, В. Ю. БРУСНИКИН, Н. Н. ЛАДЫГИНА, А. Ю. КОНЬКОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Данная статья посвящена анализу и классификации ошибок информационных систем предприятий авиационной отрасли, связанных с человеческим фактором, и является продолжением цикла ранее опубликованных в журнале статей по проблемам уязвимости информационных систем. Особое внимание в статье уделено исследованию негативного влияния человеческого фактора на функционирование сложных технических систем в целом, причин его возникновения и способствующих моментов, а также методов снижения его рисков. За основу проведенного анализа принято деление источников таких ошибок на профессиональные, психологические и обусловленные внешними факторами. В статье указывается, что, хотя информационные системы авиационных предприятий невозможно полностью застраховать от влияния ошибок, связанных с человеческим фактором, внедрение таких систем позволяет существенно снизить риски возникновения этих ошибок в целом. Далее проведен анализ ошибок, связанных с человеческим фактором, на этапе эксплуатации и сопровождения информационных систем на примере Информационно-аналитической системы мониторинга летной годности воздушных судов (ИАС МЛГ ВС). Отмечен факт, что на этом этапе преобладают ошибки, связанные с навыками, и нарушения – в то время как на предшествующих этапах главную роль играет принятие неверных решений. Исследование проведено, в частности, на этапе эксплуатации и сопровождения пользовательского модуля «Поставщик АТИ» ИАС МЛГ ВС.

Ключевые слова: безопасность полетов, информационная система, программное обеспечение, сервисное обслуживание ВС, поставщик авиационно-технических изделий, база данных, жизненный цикл информационных систем

Для цитирования: Быкова В. В., Карапетян А. Г., Брусникин В. Ю., Ладыгина Н. Н., Коньков А. Ю. Исследование ошибок эксплуатации информационных систем, связанных с человеческим фактором // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 125–135.

INVESTIGATION OF INFORMATION SYSTEMS OPERATION ERRORS RELATED TO HUMAN FACTOR

V. V. BYKOVA, A. G. KARAPETYAN, V. YU. BRUSNIKIN, N. N. LADYGINA, A. YU. KONKOV

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

Abstract. This article is the third part of a series of articles focused to the analysis and classification of typical errors that occur at all stages of the life cycle of information systems of aviation industry enterprises. The article explores the human aspect of such errors. Particular attention is paid to the study of the negative impact of the human factor on the functioning of complex technical systems in general, the reasons for its occurrence

and contributing factors, as well as methods to reduce its risks. The analysis is based on the classification of the sources of such errors into professional, psychological and external factors. The article indicates that, although the information systems of aviation enterprises cannot be fully insured against the influence of errors associated with the human factor, using of such systems can significantly reduce the risks of these errors in general. The following is the analysis of human errors at the stage of operation and maintenance of information systems using the example of the Information and analytical system for monitoring the airworthiness of aircraft. The fact is noted that at this stage errors associated with skills and violations prevail, while at the previous stages, the main role is played by making wrong decisions. The study was carried out, in particular, on the experience of operating and maintaining the user module “Supplier” of the Information and analytical system for monitoring the airworthiness of aircraft.

Keywords: flight safety, information system, software, service aircraft maintenance, supplier of aviation-technical products, unified information space, data base, life cycle of information systems

For citation: Bykova V. V., Karapetyan A. G., Brusnikin V. Yu., Ladygina N. N., Konkov A. Yu., Investigation of information systems operation errors related to human factor, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 125–135. (In Russ.)

Введение

Информационные системы (ИС), обеспечивающие функционирование различных предприятий авиационной отрасли, – область, где человеческий фактор играет особую роль. Поэтому исключительно важно минимизировать риски от ошибок, связанных с человеческим фактором, на всех стадиях жизненного цикла таких систем – от постановки задачи до эксплуатации и сопровождения [1].

Хотя сами системы, обеспечивающие информационное сопровождение производственных процессов авиационных предприятий, не застрахованы от влияния человеческого фактора, их внедрение позволяет существенно снизить риски такого влияния на бесперебойное и безопасное функционирование этих предприятий [2]. При условии, что на всех этапах жизненного цикла ИС соблюдаются определенные правила и принципы, которые будут проанализированы в данной статье.

Одним из важнейших факторов, влияющих на величину риска ошибок, связанных с человеческим фактором, является полнота охвата ИС жизненного цикла авиационно-технического изделия. Идеальный вариант – когда система обеспечивает информационное сопровождение жизненного цикла изделия, начиная с проектирования и заканчивая утилизацией. Налицо дефицит таких систем – в том числе среди ИС, сопровождающих авиационную технику. Это и неудивительно, поскольку для охвата всего жизненного цикла авиационной техники ИС должна включать в свой контур не просто разные предприятия, но и работать на стыке нескольких отраслей.

Примером системы, предназначенной для сопровождения всего жизненного цикла авиационно-технических изделий, является Информационно-аналитическая система мониторинга летной годности воздушных судов (ИАС МЛГ ВС).

ИАС МЛГ ВС имеет модульную структуру, и каждый пользовательский модуль (ПМ) обеспечивает сопровождение технологических процессов предприятия или организации, отвечающих за определенный этап жизненного цикла изделия. ИАС МЛГ ВС поддерживает обмен данными между ПМ, благодаря чему создается единое информационное пространство между ее субъектами. Это дает системе неоспоримые преимущества перед ее аналогами, не обеспечивающими информационное сопровождение полного цикла авиационных изделий, и позволяет значительно снизить риски, связанные с человеческим фактором, например – с потерей и искажением данных при их перемещении между предприятиями.

Общий анализ ошибок, связанных с человеческим фактором

Прежде чем исследовать способы предупреждения и устранения ошибок, связанных с человеческим фактором в ИС, необходимо разобраться в природе таких ошибок вообще: какие виды ошибок можно выделить, какие факторы их вызывают и каковы общие правила для минимизации риска подобных ошибок.

Приведенная классификация ошибок, обусловленных влиянием человека, основана на профессиональных, психологических и внешних факторах.

К профессиональным факторам относятся: уровень образования и профессиональной подготовки, опыт работы, знание правил и инструкций. К психологическим – степень ответственности, наличие усталости, состояние памяти и способность сконцентрироваться, отношения в коллективе, эмоциональный фон и др. А внешние факторы – это непредвиденные ситуации, проблемы рабочей среды (например, погодные условия, сильный шум), отвлекающие факторы, организация рабочего места.

На рис. 1 приведена схема, иллюстрирующая эту классификацию.

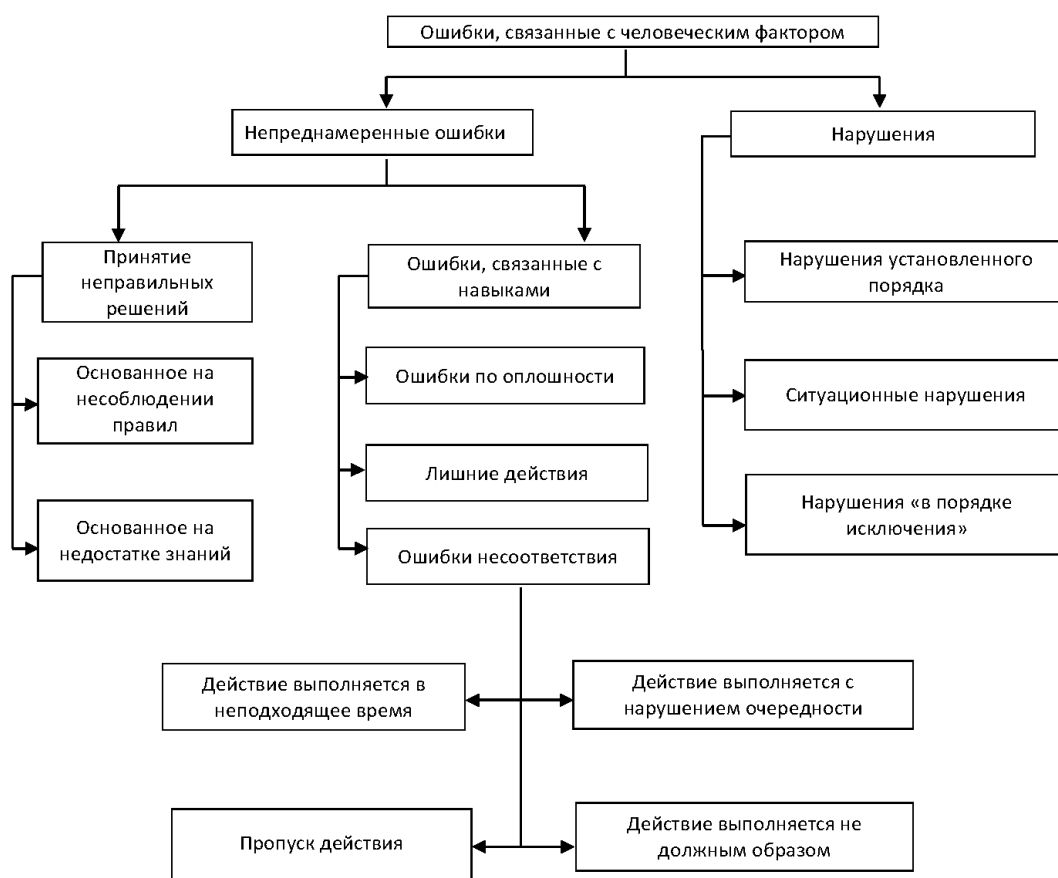


Рис. 1. Общая классификация ошибок, связанных с человеческим фактором

Все ошибки, связанные с человеческим фактором, можно разделить на две группы: непреднамеренные ошибки, когда сам человек не осознает, что он их совершает, и нарушения, которые в силу каких-либо причин он совершает сознательно. Хотя нужно признать, что грань между ними иногда бывает достаточно условной.

А. Непреднамеренные ошибки, в свою очередь, делятся на принятие неверных решений и ошибки, связанные с навыками.

1. К принятию неверных решений относятся:

- действия, основанные на несоблюдении правил, например, при эксплуатации ИС, когда оператор следует не руководству пользователя, а собственным представлениям о том, как она должна функционировать;

- действия, основанные на недостатке знаний, например, когда оператор, не обладая знаниями в предметной области, вводит неверные данные, что приводит к принятию системой ошибочного решения.

Подобного рода ошибки возникают, когда мы поступаем неправильно, считая, что это правильно.

Причинами принятия неверных решений могут быть:

- одновременное выполнение нескольких функций;
- решение комплексных задач (особенно, когда одновременно решаются несколько);
- работа в условиях цейтнота.

Факторами, которые способствуют принятию неправильных решений, могут являться:

- рабочая среда, например, факторы температуры, освещения, ограниченное рабочее пространство, шум;

- экстремальные требования к задачам, например, необходимость одновременно выполнять несколько задач, монотонная работа, работа, требующая повышенной концентрации, наличие отвлекающих факторов;

- социальные проблемы, например, давление со стороны коллег, отсутствие четкого подхода к здоровью и безопасности, противоречивое отношение работников к тому, как выполнять работу, недостаток работников;

- индивидуальные факторы стресса, например, недостаток сна, семейные проблемы, проблемы со здоровьем;

- проблемы с оборудованием, например, неточные или запутанные инструкции и процедуры;

- организационные проблемы, например, непонимание того, где могут происходить ошибки, и отсутствие надлежащего обучения и мониторинга.

Чтобы уменьшить количество неправильных действий, необходимо избегать:

- ошибок, связанных с несоблюдением правил, для чего необходимо повысить ситуационную осведомленность работников о задачах с высоким риском на месте и обеспечить процедуры для предсказуемых нестандартных задач с высоким риском;

- ошибок, основанных на недостатке знаний, а для этого необходимо организовать обучение и стажировку на рабочем месте, обеспечить поддержку неопытных работников и предоставить рабочие инструкции и схемы для объяснения процедур.

2. К ошибкам, связанным с навыками, относятся: ошибки по оплошности, лишние действия и ошибки несоответствия.

Примеры ошибок по оплошности:

- забыть ввести актуальные данные;
- прервать работу, чтобы поговорить с коллегой, и забыть завершить ее;
- забыть отключить внешний носитель информации перед его извлечением.

Лишние действия – это действия, выполняемые вместо требуемых или в дополнение к ним (например, повторный ввод данных о выдаче комплектующих изделий со склада).

Ошибки несоответствия:

- выполнение действия в процедуре в неподходящее время, например, ввод «задним числом» данных о произведенном техническом обслуживании;

- пропуск шага или серии шагов из задачи, например, не сохранить введенные данные перед проведением вычислений;

- нарушение очередности действий, например, попытка сформировать итоговый отчет до внесения всех необходимых данных;

- действие, выполняемое не должным образом (без требуемой точности, например, при заполнении экранных форм).

Ошибки, связанные с навыками, возникают, когда:

- а) задача хорошо знакома и не требует особых размышлений;

- б) операторы путают две похожие задачи;

- в) задачи слишком сложные и многословные;

- г) основная часть сделана, но упущены более мелкие детали;

- д) шаги в процедуре не следуют естественным образом;

- е) есть отвлекающие факторы и перерывы.

Чтобы уменьшить количество ошибок, связанных с навыками, необходимо:

- информировать всех работников об опасности их появления;

- использовать контрольные списки, чтобы подтвердить, что все действия выполнены;

- включить в производственные процессы расстановку оборудования, схему участка и методы работы, чтобы обеспечить логическую последовательность;

- максимально автоматизировать выявление ошибок;

- постараться свести к минимуму отвлекающие и мешающие факторы, например, установить правила использования мобильных телефонов.

В. Нарушения – это преднамеренные сбои, то есть, умышленные поступки «неправильно». Нарушение правил техники безопасности или процедуры – одна из основных причин аварийных ситуаций, несчастных случаев и травм на работе.

Два основных мотива нарушений правил и инструкций на рабочем месте:

- ощущение безвыходности в сложившейся ситуации (так называемые ситуационные нарушения и нарушения «в порядке исключения»);

- безответственное отношение к служебным обязанностям (нарушения установленного порядка).

Примеры типичных нарушений:

- 1) Не используются необходимые технические средства, например, устройства защитного отключения.

- 2) Руководитель работ позволяет неподготовленным специалистам работать с системой.

- 3) Администратор системы не выполняет регулярное резервное копирование.

К типичным причинам нарушений относятся:

- образ мышления работников противоречит существующим правилам;

- цейтнот;

- нехватка персонала для выполнения задачи;

- отсутствие необходимого оборудования;

- непонимание того, почему действует правило;

- представление о том, что правила слишком строгие или ненужные, то есть предполагаемые выгоды перевешивают предполагаемые наказания;

- желание выбрать легкий вариант;

- ощущение того, что «меня не поймают»;

- давление со стороны коллег.

Меры для уменьшения риска нарушений:

- Регулярный мониторинг и надлежащий надзор.

- Правила и процедуры должны быть актуальны и практичны.

- Работникам должны быть понятны причины, стоящие за любыми правилами и процедурами, и их актуальность.

- Участие сотрудников в изменениях правил в целях повышения их ответственности и лояльности.
- Улучшение рабочей среды (должна соответствовать требованиям документов национальной системы стандартов безопасности труда – ССБТ).
- Улучшение планирования рабочих мест с целью обеспечения выделения необходимых ресурсов (сотрудников, оборудования и времени).
- Поощрение работников, сообщивших о любых проблемах (например, о давлении со стороны коллег) через открытое общение.
- Обучение работе в нештатных и аварийных ситуациях.
- Учет возможности нарушений при проведении оценки рисков.
- Сокращение вероятности возникновения цейтнота, заставляющего сотрудников действовать быстро в необычных ситуациях.
- Оценка использования индивидуальной защиты (наличие и удобство в использовании).

Способы уменьшения риска ошибок, связанных с человеческим фактором, на примере ПМ «Поставщик АТИ» ИАС МЛГ ВС

При рассмотрении такого сложного технического продукта, как ИС, обеспечивающая функционирование авиационного предприятия, необходимо проанализировать ошибки, связанные с человеческим фактором, с точки зрения жизненного цикла этого продукта [3, 4]. На рис. 2 приведена схема, иллюстрирующая классификацию таких ошибок.

Следует отметить, что на этапах, предшествующих эксплуатации, преобладают ошибки, связанные с принятием неправильных решений [4].

Рассмотрим подробнее способы предупреждения и коррекции ошибок оператора на этапе эксплуатации ИС. В отличие от предыдущих, на этом этапе практически отсутствуют ошибки, связанные с принятием неправильных решений.

Нарушения и комплекс мер для их предотвращения

Для предотвращения нарушений используется комплекс мер, как организационных, так и программно-технических [5]. При разработке сложных ИС следует тщательно проанализировать риски возможных нарушений для их минимизации. Для этого в тех задачах, где это целесообразно и возможно, алгоритмы, обеспечивающие сопровождение технологических процессов, дополняются функциями контроля информационной безопасности и проверки корректности вводимых данных.

Ниже перечислены примеры типичных нарушений на этапе эксплуатации ИС и способы их предотвращения на примере ПМ «Поставщик авиационно-технического имущества (АТИ)» ИАС МЛГ ВС:

1. Допуск к работе с системой неподготовленного персонала. При эксплуатации специализированных ИС на авиационных предприятиях важно, чтобы персонал, помимо владения необходимой подготовкой и профессиональными навыками в предметной области, прошел обучение и стажировку по работе с ИС.

Для предотвращения подобных нарушений:

- Рекомендуется вести на авиапредприятии соответствующие документы, например, журналы, в которых регистрируются допуск оператора к работе с информационной системой и факты прохождения им обучения и повышения квалификации.
- Для каждого допущенного к работе с системой пользователя создается учетная запись, включающая в себя логин и пароль для входа в систему. Этот способ применяется в ПМ «Поставщик АТИ» ИАС МЛГ ВС (как и в других модулях системы) [6]. После входа пользователя в

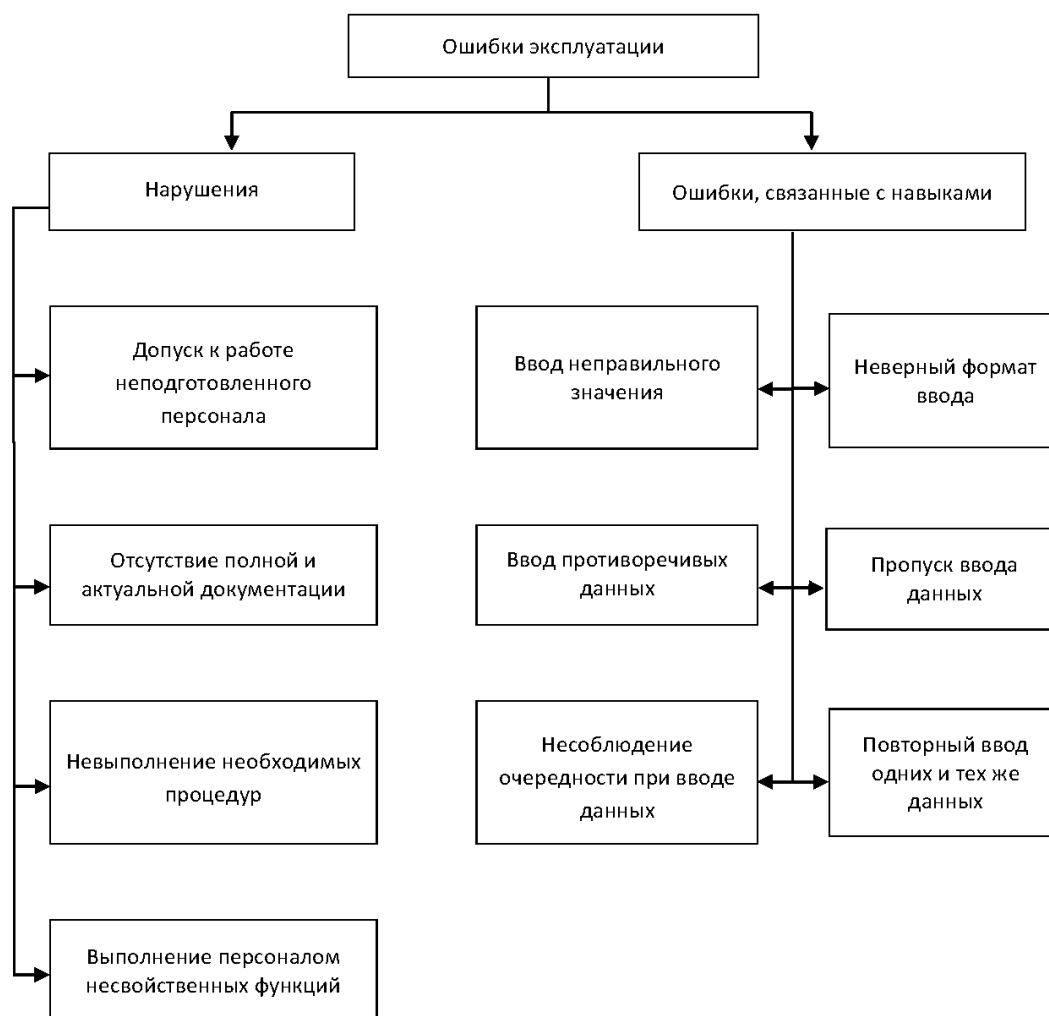


Рис. 2. Классификация ошибок эксплуатации ИС, связанных с человеческим фактором

систему все его действия по вводу и изменению информации сопровождаются кодом оператора и фиксируются в отдельных таблицах-протоколах.

2. Отсутствие полной и актуальной документации на ИС. Руководство пользователя, руководство администратора и другие необходимые документы должны быть доступны соответствующим категориям персонала и своевременно обновляться по мере обновления версий системы [7].

3. Невыполнение необходимых процедур для поддержания функционирования системы. Например, невыполнение требования регулярного создания резервной копии базы данных (БД). Для предупреждения подобных нарушений применяются следующие способы:

- автоматизация соответствующих процедур – там, где это возможно;
- встраивание в алгоритмы специальных сообщений – напоминаний администратору и/или оператору системы.

4. Выполнение персоналом несвойственных им функций. Это нарушение может быть некритичным с точки зрения функционирования самой ИС, однако может стать причиной изъятия информационной безопасности предприятия – например, с точки зрения сохранения коммерческой тайны [8]. Поэтому при проектировании ИС необходимо предусмотреть инструменты, защищающие от несанкционированного доступа наиболее «чувствительные» сегменты БД системы.

Важное преимущество ПМ «Поставщик АТИ» ИАС МЛГ ВС – учет пожеланий заказчика по ограничению доступа к определенным данным отдельным категориям пользователей.

Ошибки, связанные с навыками, и способы их предотвращения

Все рассмотренные ранее виды ошибок, связанных с навыками оператора ИС, по сути сводятся к неверному вводу данных или заполнению экранных форм. Поэтому разработчик ИС должен минимизировать риски ошибочных вводов данных.

Наиболее распространенные ошибки, связанные с навыками, которые допускают операторы ИС:

1. Ввод неправильного значения (например, символьной строки вместо числа или неправильного числового значения, значения несоответствующей точности).

Основные способы предупреждения этого вида ошибок:

- Использование масок ввода – специальных шаблонов с разделением полей, например, года, месяца и дня в формате даты.

- Логический контроль, основывающийся на естественных ограничениях, присутствующих в обрабатываемой информации. Например, наработка изделия на определенную дату не может быть меньше, чем аналогичная наработка на более раннюю дату. К логическому контролю относятся ограничения диапазона допустимых значений.

2. Неверный формат ввода (например, даты или времени).

Для предотвращения используются маски ввода.

3. Ввод противоречивых данных (например, попытка ввести информацию о выдаче в аренду изделия, которое числится находящимся в ремонте).

Основные способы предупреждения:

- Логистический контроль.

Поскольку важнейшей частью БД ПМ «Поставщик АТИ» является информация о движении изделия между изготовителем, поставщиками, эксплуатантами и ремонтными организациями, для уменьшения риска появления искажений в ней было введено понятие статуса изделия и создан алгоритм контроля изменения статуса.

- Логический контроль – аналогично п. 1

4. Пропуск ввода данных (например, незавершенное заполнение экранной формы).

Основные способы предупреждения:

- Использование обязательных полей ввода. Если такие поля в экранной форме не заполнены, выдается соответствующее сообщение, и закрыть такую форму невозможно без заполнения обязательных полей или отмены ввода всего блока информации.

- Логистический контроль.

- Логический контроль.

5. Несоблюдение очередности при вводе данных (например, формирование отчета до полного ввода исходных данных).

Основные способы предупреждения:

- Использование обязательных полей ввода.

- Логический контроль с блокировкой некоторых функций при отсутствии полного набора данных.

- Логистический контроль.

6. Повторный ввод одних и тех же данных (например, о поступлении изделия на склад).

Основные способы предупреждения:

- Использование набора ключевых полей. В большей части таблиц БД ПМ «Поставщик АТИ» существует набор так называемых ключевых полей, которые позволяют однозначно идентифицировать каждую запись таблицы. Это так называемые нормализованные таблицы, и повторный ввод записи с теми же значениями ключевых полей блокируется автоматически.

- Логистический контроль.

Комплексное применение предложенных способов позволяет значительно снизить риски всех видов ошибок, связанных с навыками.

Заключение

В статье проведен анализ возможных ошибок и рисков, связанных с человеческим фактором, возникающих при эксплуатации ИС предприятий авиационной отрасли, и даны рекомендации по их минимизации на примере программного модуля «Поставщик АТИ» ИАС МЛГВ ВС. Возможные ошибки разделены на две группы – нарушения и ошибки, связанные с навыками персонала.

Для профилактики нарушений основной акцент делается на организационные меры, а программно-технические решения выступают в качестве вспомогательных. Организационные меры – организация обучения, стажировки на рабочем месте и повышения квалификации персонала, контроль за наличием полного комплекта технической документации и своевременной ее актуализацией, точное исполнение процедур по администрированию системы. Программно-технические решения – управление доступом к системе и разграничение функций различных категорий пользователей по учетным записям; автоматизация процедур администрирования и встраивание в алгоритмы соответствующих сообщений.

Ошибки, связанные с навыками, сводятся к неверному вводу данных, и для их минимизации используются программно-технические средства: логический контроль, основанный на естественных ограничениях информации; использование инструментов среды разработки, таких как маски ввода, обязательные поля ввода и наборы ключевых полей; логистический контроль, подразумевающий анализ вводимой информации о движении комплектующих изделий (КИ) на соответствие тем данным, которые уже присутствуют в системе.

Применение разработанных на основе проведенного анализа рекомендаций позволит минимизировать причины появления ошибок эксплуатации, связанных с человеческим фактором, в ИС авиационных предприятий и эффективно снижать риск их появления.

Список источников

1. ГОСТ Р 56546-2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем. Москва: Стандартинформ, 2015. 8 с.
2. Марасанов Л. О. Современные информационные технологии в работе авиационного эксплуатационного предприятия // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 201. С. 86–90.
3. Быкова В. В., Глухов Г. Е., Шарыпов А. Н., Черников П. Е., Коваль С. В., Коньков А. Ю. Проблемы уязвимости информационных систем предприятий авиационной отрасли: анализ и классификация ошибок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 27. С. 56–65.
4. Быкова В. В., Глухов Г. Е., Шарыпов А. Н., Карапетян А. Г., Ладыгина Н. Н., Коваль С. В. Проблемы уязвимости информационных систем предприятий авиационной отрасли: ошибки, связанные с человеческим фактором // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С. 88–99.
5. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора. Москва: Стандартинформ, 2015. 52 с.
6. 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*, vol. 82, January-February 2020, pp. 14535–14545.
7. ГОСТ 56713-2015. Системная и программная инженерия. Содержание информационных продуктов процесса жизненного цикла систем и программного обеспечения (документация). Москва: Стандартинформ, 2015. 72 с.

8. Дойникова Е. В., Федорченко А. В., Котенко И. В. Выявление слабых мест информационных систем для автоматического выбора защитных мер // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 3. С. 89–99.

References

1. GOST R 56546-2015. Information protection. Vulnerabilities in information systems. The classification of vulnerabilities in information systems, Moscow, Standartinform Publ., 2015, 8 p. (In Russ.)
2. Marasanov L. O., Modern technologies in the aircraft maintenance organizations operation, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2014, no. 201, pp. 86–90. (In Russ.)
3. Bykova V. V., Glukhov G. E., Sharypov A. N., Chernikov P. E., Koval S. V., Konkov A. Yu., Problems of the vulnerability of information systems of aviation industry enterprises: analysis and classification of errors, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 27, pp. 56–65. (In Russ.)
4. Bykova V. V., Glukhov G. E., Sharypov A. N., Karapetyan A. G., Ladygina N. N., Koval S. V., Problems of the vulnerability of information systems of aviation industry enterprises: human factor errors, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32, pp. 88–99. (In Russ.)
5. GOST R MEK 62508-2014. Guidance on human aspects of dependability, Moscow, Standartinform Publ., 2015, 52 p. (In Russ.)
6. 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*, vol. 82, January-February 2020, pp. 14535–14545.
7. GOST 56713-2015. Systems and software engineering. Content of life-cycle information products (documentation), Moscow, Standartinform Publ., 2015, 72 p. (In Russ.)
8. Dojnikova E. V., Fedorchenko A. V., Kotenko I. V., Determination of information system weaknesses for automated selection of security measures, *Information security problems. Computer systems*, 2018, no. 3, pp. 89–99. (In Russ.)

Информация об авторах

Быкова Вера Викторовна, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, bykova@mlgvs.ru

Карапетян Арман Гегамович, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, karapetyan@mlgvs.ru

Брусникин Валерий Юрьевич, директор Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, brusnikin@mlgvs.ru

Ладыгина Наталья Наильевна, старший специалист, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, ladygina@mlgvs.ru

Коньков Александр Юрьевич, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, konkov@mlgvs.ru

Authors information

Bykova Vera V., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, bykova@mlgvs.ru

Karapetyan Arman G., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, karapetyan@mlgvs.ru

Brusnikin Valeriy Yu., Director of Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, brusnikin@mlgvs.ru

Ladygina Nataliya N., Chief Specialist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, e-mail: ladygina@mlgvs.ru

Konkov Alexander Yu., Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, konkov@mlgvs.ru

Статья поступила в редакцию 14.01.2022; одобрена после рецензирования 12.05.2022; принята к публикации 20.05.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 12.05.2022; accepted for publication 20.05.2022.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61476 от 24 апреля 2015 г.

Подписано в печать 01.06.2022

Печать офсетная
16,3 усл. печ. л.

Формат 60х84 1/8
Заказ № 22-41д

11,2 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО «Типография Миттель Пресс»

e-mail: mittelpress@mail.ru

Автор верстки: Михеева А. В.