

**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 (№ 359)

№ 49

**Москва
2025**

ББК 39.5

НЗ4

Научный вестник ГосНИИ ГА

Основан в 1952 году

Учредитель. Издатель. Редакция:

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

Founder, Publisher, Editorial board:

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

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

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

Подписной индекс в Интернет-каталоге
«Пресса России» 70663
© ФГУП Государственный НИИ гражданской авиации, 2025

Редакционная коллегия

- Главный редактор** – Д. В. Бобылев, канд. техн. наук (ГосНИИ ГА)
Зам. главного редактора – А. А. Богоявленский, д-р техн. наук (ГосНИИ ГА)
Ответственный секретарь – И. Н. Шестаков, д-р техн. наук (ГосНИИ ГА)

Члены редакционной коллегии

- Н. А. Абдужабаров, канд. техн. наук (*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Республика Узбекистан*)
Б. С. Алёшин, д-р техн. наук, академик РАН, проф. (*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия*)
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 (*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия*)
Е. Е. Карсыбаев, д-р техн. наук, проф. (*Академия гражданской авиации, Алматы, Республика Казахстан*)
А. Я. Книвель, канд. техн. наук (*Авиарегистр России, Москва, Россия*)
А. И. Козлов, заслуженный работник науки и техники Российской Федерации, д-р физ.-мат. наук., проф. (*ГосНИИ ГА, Москва, Россия*)
В. Б. Козловский, д-р техн. наук, проф. (*ПАНХ, Краснодар, Россия*)
Г. А. Крыжановский, заслуженный работник науки и техники Российской Федерации, д-р техн. наук, проф. (*СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, 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*)
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*)
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 – Bobylev D. V., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Deputy chief editor – Bogoyavlenskiy A. A., Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Responsible Secretary – Shestakov I. N., Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia

The members of the Editorial Board

Abduzhabarov N. A., Cand. Sci. (Eng.), Tashkent State Technical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan
Aleshin B. S., Dr. Sci. (Eng.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Prof., National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
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
Kan A. V., Cand. Sci. (Eng.), National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
Karsybaev E. E., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan
Knivel A. Ya., Cand. Sci. (Eng.), Aviation Register of the Russian Federation, Moscow, Russia
Kozlov A. I., Dr. Sci. (Phys.-Mat.), Prof., GosNII GA, Moscow, Russia
Kozlovskiy V. B., Dr. Sci. (Eng.), Prof., PANH Helicopters, Krasnodar, Russia
Kryzhanovskiy G. A., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia
Kuklev E. A., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia
Kurmanov U. Eh., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Kyrgyz Aviation Institute named after I. Abdramova, Bishkek, Kyrgyzstan
Sokolov V. A., Dr. Sci. (Phys.-Mat.), Prof., P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia
Stradomskiy O. Yu., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Fadeev R. S., Cand. Sci. (Eng.), Transport Safety Association, Moscow, Russia
Feoktistova O. G., Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MSTU CA, Moscow, Russia

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

e-mail: science@gosniiga.ru

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

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

№ 49

2025

СОДЕРЖАНИЕ

Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

- Мальцев О. Г., Азжеурова О. Б., Молодницкий Р. Ю., Мариничев В. И.** Обоснование введения показателя класса чистоты в технические требования на топливо для реактивных двигателей 9
- Приваленко А. Н., Азжеурова О. Б., Морозова Н. В., Ершов М. А., Лобашова М. М., Шарин Е. А.** Исследование влияния кислотности топлив для реактивных двигателей на смазывающую способность 19
- Приваленко А. Н., Ершов М. А., Шарин Е. А., Лобашова М. М., Коваленко В. П.** Проблемные вопросы и направления актуализации ГОСТ 10227-86 на топлива для реактивных двигателей 26
- Метелкин Е. С., Миколайчук Ю. А., Семин А. В.** Обобщение результатов работ по неразрушающему контролю самолётов типа Ан-24, Ан-26 при исследовании их технического состояния ... 34
- Черных О. Н., Мартиросян Н. Ф., Концевич Л. В., Пономарев К. А.** Определение характерных признаков закупоривания системы воздушных давлений 45
- Самуленков Ю. И., Грузд А. Д., Тоиров И. С.** Подход к построению математической модели системы поддержания лётной годности воздушных судов с учётом безопасности полётов 55
- Кормилицына И. Н.** Психофизиологические особенности авиационного специалиста как компонент человеческого фактора в системах управления безопасностью полётов 67

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

- Малыгин В. Б., Нгуен Нгок Хоанг Куан, Нечаев В. Н., Разов В. Г.** Оценка конфликтности структуры воздушного пространства при помощи моделирования районного диспетчерского центра Хошимина 77
- Нуштаев М. В., Малышев М. И., Башмаков И. А., Забалуев К. И.** Особенности информационно-аналитической платформы для организации прямых смешанных перевозок 88
- Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В.** Управление безопасностью полётов при организации воздушного движения с использованием информации наблюдения 96

Интеллектуальные транспортные системы

- Нгуен Тхи Линь Фыонг.** Применение искусственного интеллекта и алгоритма A-star в стратегическом планировании траектории полёта 104
- Шувалова Е. В., Кузнецов С. В., Спрысков В. Б.** Анализ влияния факторов риска катастроф при эшелонировании воздушных судов и основные направления обеспечения безопасности полётов при организации воздушного движения 115
- Северин А. В.** Организационные подходы к резервированию объектов Единой системы организации воздушного движения 122
- Пашенных В. Г., Жогин А. И., Фокина Г. Г.** Возможности повышения информационной осведомлённости органов ОВД при установлении в моноимпульсных вторичных радиолокаторах режима S 131

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF CIVIL AVIATION

No. 49

2025

CONTENTS

Navigation and operation of aircraft

- Maltsev O. G., Azzheurova O. B., Molodnitsky R. Yu., Marinichev V. I.** Justification for introducing the purity class indicator into technical requirements for jet fuel 9
- Privalenko A. N., Azzheurova O. B., Morozova N. V., Ershov M. A., Lobashova M. M., Sharin E. A.** Investigation of the effect of acidity of jet fuels on lubricity 19
- Privalenko A. N., Ershov M. A., Sharin E. A., Lobashova M. M., Kovalenko V. P.** Problematic issues and directions of updating GOST 10227-86 for jet fuels 26
- Metelkin E. S., Mikolaychuk Yu. A., Semin A. V.** Generalization of the results of non-destructive testing of An-24 and An-26 aircraft during examination of their technical condition 34
- Chernykh O. N., Martirosyan N. F., Kontsevich L. V., Ponomarev K. A.** Determining the characteristic signs of air data system blockage 45
- Samulenkov Yu. I., Gruzd A. D., Toirov I. S.** Approach to constructing a mathematical model of the aircraft airworthiness maintenance system taking into account flight safety 55
- Kormilitsyna I. N.** Psychophysiological characteristics of an aviation specialist as a component of the human factor in safety management systems 67

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

- Malygin V. B., Nguyen Ngoc Hoang Quan, Nechaev V. N., Razov V. G.** Assessment of air-space structure conflict potential using modeling of the Ho Chi Minh area control center 77
- Nushtayev M. V., Malyshev M. I., Bashmakov I. A., Zabaluev K. I.** Features of the information and analytical platform for organizing direct mixed transportation 88
- Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V.** Flight safety management in air traffic management using surveillance information 96

Intelligent transport systems

Nguyen Thi Linh Phuong. Using the artificial intelligence and A-star algorithm in strategic flight trajectory planning	104
Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V., Spryskov V. B. Analysis of the impact of disaster risk factors during aircraft separation and the main directions of flight safety in the organization of air traffic	115
Severin A. V. Organizational approaches to reservation of air traffic management objects	122
Pashennykh V. G., Zhogin A. I., Fokina G. G. The possibilities of increasing the information awareness of the ATS authorities when setting the S-mode in monopulse secondary radars	131

Научная статья
УДК 665.753.2.067

ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КЛАССА ЧИСТОТЫ В ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА ТОПЛИВО ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

О. Г. МАЛЬЦЕВ¹, О. Б. АЗЖЕУРОВА², Р. Ю. МОЛОДНИЦКИЙ², В. И. МАРИНИЧЕВ²

¹ ООО «Джет Энерджи», Москва, Россия

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

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением чистоты топлива для реактивных двигателей, заправляемого в гражданские воздушные суда (ВС). Дан перечень случаев, в которых чистота авиационного топлива явилась причиной возникновения авиационных событий или сопутствующим фактором. Приведены другие случаи выявления загрязнений авиационного топлива, послужившие или способные послужить причиной отказа при эксплуатации авиационной техники. Дополнительно представлены фактические показатели чистоты авиационного топлива, поставляемого в аэропорты на территории нашей страны, а также фактические величины загрязнений авиационного топлива, заправляемого в ВС в этих аэропортах. В ходе сравнения величин загрязнений сделано заключение о сохранении риска попадания в баки ВС загрязнённого топлива даже при условии эффективной работы топливозаправочных организаций. В ходе сравнения различных методов определения чистоты авиационного топлива сделаны выводы о недостатках метода, определённого нормативными документами. Обосновано предложение о введении в технические условия на топливо для реактивных двигателей дополнительного показателя «класс чистоты».

Ключевые слова: авиационное топливо, воздушные суда, управление рисками, загрязнения, чистота, безопасность полётов, гражданская авиация, транспортные системы страны, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Мальцев О. Г., Азжеурова О. Б., Молодницкий Р. Ю., Мариничев В. И. Обоснование введения показателя класса чистоты в технические требования на топливо для реактивных двигателей // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 9–18.

JUSTIFICATION FOR INTRODUCING THE PURITY CLASS INDICATOR INTO TECHNICAL REQUIREMENTS FOR JET FUEL

O. G. MALTSEV¹, O. B. AZZHEUROVA², R. YU. MOLODNITSKY², V. I. MARINICHEV²

¹ Jet Energy LLC, Moscow, Russia

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

Abstract. The article considers issues related to ensuring the purity of jet fuel refueled into civil aircraft. A list of cases is given in which the purity of aviation fuel was the cause of aviation events or an accompanying factor. Other cases of detecting contamination of aviation fuel that have caused or could cause failure during the operation of aircraft are given. In addition, the article presents the actual indicators of the purity of aviation fuel supplied to airports in our country, as well as the actual values of contamination of aviation fuel refueled

into aircraft at these airports. In the course of comparing the contamination values, a conclusion was made about the persistence of the risk of contaminated fuel entering aircraft tanks even if fueling organizations operate efficiently. In the course of comparing various methods for determining the purity of aviation fuel, conclusions were made about the shortcomings of the method defined by regulatory documents. A proposal was substantiated to introduce an additional indicator “purity class” into the technical conditions for jet fuel.

Keywords: aviation fuel, aircraft, risk management, pollution, cleanliness, flight safety, civil aviation, national transport systems, aircraft operation

For citation: Maltsev O. G., Azzheurova O. B., Molodnitsky R. Yu., Marinichev V. I. Justification for introducing the purity class indicator into technical requirements for jet fuel. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 9–18. (In Russ.)

Введение

Статья обосновывает предложения по введению дополнительного показателя «класс чистоты» в перечень показателей топлива для реактивных двигателей (далее – авиационное топливо, авиатопливо), определяемых таблицей 1 ГОСТ 10227-86¹.

Проведён анализ влияния показателя чистоты топлива на его эксплуатационные характеристики. Приведены примеры влияния чистоты авиационного топлива на условия возникновения авиационных событий, взятые из материалов расследований, хранимых в «Архиве материалов расследований инцидентов и производственных происшествий» (АМРИПП Росавиации). Доступ к АМРИПП осуществляется по отдельному запросу в Управление безопасности полётов Росавиации. Приведено также сравнение показателей чистоты топлива, заправляемого в гражданские ВС, определённого в пробах, отобранных в аэропортах различных регионов нашей страны.

Работа основана на сравнительном анализе фактических данных, которыми располагает ФГУП ГосНИИ ГА, с информацией, находящейся в открытых источниках. При подготовке статьи авторы соблюдали условия конфиденциальности, определённые действующими договорами между ФГУП ГосНИИ ГА и заказчиками услуг – авиационными организациями, в связи с чем в приводимых данных могут отсутствовать название авиакомпании, бортовой номер ВС или название аэропорта.

Понятие «чистота авиационного топлива»

Чистоту авиационного топлива согласно российской нормативной документации определяет «наличие воды и механических примесей» (ГОСТ 10227-86, таблица 1, п. 20). В зарубежной документации чистота – это уровень загрязнённости авиаГСМ частицами минеральной (механические примеси, вода) и органической природы, устанавливаемый последовательными технологическими операциями при контроле уровня чистоты авиатоплива².

По мнению авторов статьи, данные трактовки не полностью раскрывают понятие чистоты авиационного топлива. Научными исследованиями ФГУП ГосНИИ ГА и в ходе эксплуатации авиационной техники (АТ) в авиатопливе выявлены загрязнения, носящие отличный от вышеуказанных характер. В настоящее время показателем чистоты авиационного топлива, кроме механических примесей и воды, является отсутствие или минимальное содержание (отдельное

¹ ГОСТ 10227-86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия (с изменениями и дополнениями).

² Авиационные правила «Обеспечение гражданской авиации авиационными горюче-смазочными материалами и специальными жидкостями», утверждённые постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 18 марта 2019 г. № 14, в редакции постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г. № 93.

для каждого вида загрязнений) в нём твёрдых, жидких и пластичных органических веществ, микроорганизмов, а также различных химических веществ и их соединений³.

В отличие от большинства установленных ГОСТ 10227 показателей качества, которые формируются на стадии производства, чистота авиатоплива может изменяться при осуществлении транспортных, складских и заправочных операций и непосредственно в системах ВС.

Классификация основных видов загрязнений авиационного топлива выполнена в [1] на основе опыта научно-методического сопровождения эксплуатации горюче-смазочных материалов в авиации (авиаГСМ) на АТ [1, рис. 1].

Авторы настоящей статьи считают опасным фактором, формирующим риски для эксплуатационной безопасности гражданских ВС [2], присутствие поступивших из перечисленных в [1] источников загрязнений в топливе для реактивных двигателей, заправляемом в ВС.

Анализ влияния чистоты авиационного топлива на работоспособность узлов и агрегатов АТ

От надёжной работы топливных систем ВС непосредственно зависит безопасность полётов. Агрегаты топливных систем включают в себя узлы и детали, обработанные по высокому классу чистоты, имеющие малые зазоры и мелкие каналы. В насосах-регуляторах, обеспечивающих поступление топлива к авиационным двигателям, а также перекачку между баками ВС, топливо является одновременно перекачиваемым телом и смазывающим узлы и элементы насоса агентом. Эффективность топлива для реактивных двигателей в качестве смазки в таком оборудовании зависит также от степени загрязнения топлива.

Всё это обуславливает высокую степень влияния возможных загрязнений авиатоплива на ресурс и работоспособность элементов топливных систем. Эксплуатационные проблемы, встречающиеся на практике, варьируются по серьёзности от уменьшения производительности насоса-регулятора до неожиданных механических неисправностей, приводящих к останову двигателя во время полёта, как отмечено в зарубежных нормативных технических документах⁴.

Механические примеси в топливе в условиях эксплуатации авиационной техники могут засорять и заклинивать прецизионные пары топливорегулирующей аппаратуры, вызывать забивку топливных фильтров и форсунок двигателя, способствовать увеличению отложений в агрегатах топливных систем, повышать абразивный износ деталей топливных агрегатов, усиливать коррозию топливного оборудования, оказывать каталитическое воздействие на окисление топлива в зонах повышенных температур, способствовать накоплению статического электричества при перекачках и фильтрации топлива, вызывать нагрев подшипников, вплоть до их перегрева и последующего разрушения.

Виды отказов АТ из-за загрязнений авиационного топлива приведены в [3].

Авиационные события и отказы АТ, при исследовании причин возникновения которых установлено влияние чистоты авиационного топлива

По данным Архива материалов расследований авиационных инцидентов и происшествий Росавиации, проанализированных специалистами ФГУП ГосНИИ ГА за период с января 2018 по декабрь 2022 года, выявлены следующие авиационные события, в которых государственными

³ Методические рекомендации по применению авиаГСМ. Издание 1/март 2021, ФГУП ГосНИИ ГА. [Электронный ресурс]. <https://gosniiga.ru/about/centers/nauchnyy-tsentr-aeroportovoy-deyatelnosti-i-aviatoplivoobespecheniya/> (дата обращения: 18.02.2025).

⁴ ASTM D1655-23a «Стандартная спецификация на топливо для газотурбинных двигателей» [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/116328/d28908bfbe444ec4a8f4951ba830b1b6/ASTM-D1655-23a.pdf> (дата обращения: 18.02.2025).

комиссиями установлено влияние показателя чистоты авиационного топлива на факт возникновения события. В 2023 году событий с аналогичными причинами не выявлено.

1. 27.12.2022 – RRJ-95B, борт. № RA-89124.

«Общий вес отложений, снятых с топливного элемента, превышает статистические значения для отложений, накапливающихся на фильтроэлементах самолётов типа RRJ-95 в процессе нормальной эксплуатации. В составе отложений присутствуют технологические загрязнения из наземных средств хранения, заправки (продукты коррозии), соли неорганических элементов (привнесённые топливом в виде загрязнений из окружающей среды), технологические загрязнения из топливной системы ВС (герметики и покрытия, в которые входят соединения цинка и серы), продукты естественного изнашивания элементов топливных систем топливообеспечения и естественные продукты окисления топлива».

2. 08.12.2022 – RRJ-95B, борт. № RA-89136.

«Причиной срабатывания сигнализации ENG L+R FUEL FILTER CLOG явилось засорение топливных фильтров. Наиболее вероятной причиной засорения явилась совокупность факторов: образование кристаллов льда и микробиологическое загрязнение >20000 КОЕ».

3. 20.04.2022 – RRJ-95LR-100 борт. № RA-89088 и RA-89082.

«Наиболее вероятной причиной авиационного инцидента явилась заправка ВС RRJ-95LR-100 борт. № RA-89082, RRJ-95LR-100 борт. № RA-89088 из топливозаправщика с установленными на нём разрушающимися фильтроэлементами, волокна и элементы которых в большом количестве обнаружены на фильтрах ВС, и, как следствие, попадание в топливную систему ВС технологических загрязнений из средств заправки и хранения авиатоплива и загрязнений из окружающей среды. Сопутствующей причиной следует считать наличие в авиатопливе, поставляемом управляющим организациям, примесей, не противоречащих требованиям ГОСТ 10227, но оседающих в виде отложений на фильтроэлементах топливной системы ВС».

4. 14.02.2021 – RRJ-95B борт. № RA-89137.

«Причиной срабатывания сигнализации засорения топливных фильтров обоих двигателей на ВС RRJ-95B-100 борт. № RA-89137 стало наличие в топливе нехарактерных соединений подобных по составу и характеру загрязнения из окружающей среды типа «глины» с включением песка, имеющих свойство «вбиваться» в мембранный фильтр и затвердевать в присутствии воды, предположительно, попавшие в топливную систему в результате разовых промежуточных заливок, характерных для морских регионов».

5. 19.05.2020 – Ми-8Т, борт. № RA-24274.

«Причиной разнорежимности работы двигателей явился отказ командного агрегата КА-40 правого двигателя, что привело к нестабильной совместной работе двигателей. Причиной отказа командного агрегата КА-40 явилось неустранимое несоответствие (снижение) командного давления. Снижение командного давления произошло по причине износа и подклинивания деталей датчика командного давления. Причиной износа и подклинивания деталей датчика командного давления является попадание в агрегат посторонних частиц совместно с топливом».

6. 09.07.2019 – AS-355N, борт. № RA-04105.

«Причиной срабатывания предупреждающей сигнализации «FILTER RH» (предварительное засорение топливного фильтра правого двигателя), приведшей к необходимости выключения двигателя в полёте, явилось загрязнение (предварительное засорение) топливного фильтра правого двигателя. Загрязнение (предварительное засорение) топливного фильтра правого двигателя произошло по причине накопления на фильтрующем элементе механических примесей, скопившихся в заднем топливном баке в процессе эксплуатации».

7. 17.05.2019 – Ми-8МТВ, борт. № RA-22990.

«Причиной авиационного инцидента явилось засорение на двух двигателях топливных фильтров – входного, ИМ-3А, дозатора, регулятора смолистыми примесями, содержащимися в топливе».

8. 20.10.2018 – Ми-2, борт. № RA-14129.

«Причиной серьёзного авиационного инцидента явилось самовыключение двигателей ВС Ми-2 RA-14129 вследствие заправки ВС некондиционным топливом, приведшей к засорению топливных фильтров тонкой очистки, топливных каналов насоса-регулятора НР-40 механическими примесями. Возможно также дополнительное негативное влияние отложений соединений никеля и цинка на топливных фильтроэлементах».

9. 14.08.2018 – А321, борт. № VP-BRS.

«Причиной авиационного инцидента явился неудовлетворительный уровень топливообеспечения ВС при разовых заправках, в том числе в аэропорту «Бодрум», выразившийся в наличии в авиатопливе воды и примесей смол, полисилоксановых соединений, материалов на полиэфирной основе, применяемых для наземной фильтрации топлива, микробиологических загрязнений, что в итоге привело к нарушению нормальных условий эксплуатации ВС».

Согласно постановлению Правительства России № 1329⁵ установление причин появления различных загрязнений авиационного топлива, выявленных в ходе расследования авиационных событий, не входит в перечень задач, стоящих перед государственными комиссиями, следовательно, в ходе работы комиссий эти причины не были выявлены [4].

По данным ежедневных сообщений Росавиации о безопасности полётов, поступавших установленным порядком во ФГУП ГосНИИ ГА, за период с января 2021 по декабрь 2024 года имели место срабатывания сигнализации о засорении бортовых топливных фильтров в количестве (по годам): 3 (2021), 15 (2022), 22 (2023), 8 (2024).

Не все случаи забивки топливных фильтров отражаются в сообщениях Росавиации и классифицируются как авиационные события. По обращению одной из авиакомпаний во ФГУП ГосНИИ ГА на ВС типа RRJ-95LR-100 с 2018 по 2022 год досрочно, из-за засорения, было снято 56 топливных фильтров. Средняя наработка фильтров составила 1600 ч при установленном нормативе в 4000 ч. В первом полугодии 2022 года было досрочно снято 19 топливных фильтров. Дополнительно к этим событиям, в апреле 2022 года произошло 2 авиационных инцидента, представленных в настоящей статье выше, связанных с засорением топливных фильтров в полёте. Факты досрочного снятия фильтров с ВС этой авиакомпании были отмечены с 2018 по 2022 год и на Airbus A320.

Авторами установлены следующие случаи, в которых влияние уровня чистоты авиационного топлива было сопутствующим фактором возникновения отказа или предпосылок к отказу АТ:

1. В 2009 году в пробах авиационного топлива, слитого из баков Ту-204, обнаружено присутствие нехарактерных соединений – метиловых эфиров жирных кислот (FAME) [4].

2. В октябре 2016 года в топливе, слитом из баков Ил-96-300, было выявлено присутствие нехарактерных соединений химических веществ – метиловых эфиров жирных кислот (FAME).

3. В 2017 году при исследовании проб, отобранных в танках нефтеналивного судна в морском порту за Северным полярным кругом, обнаружены множественные мелкодисперсные загрязнения. Показательно, что массовая доля механических примесей в топливе не выходила за пределы нормативных значений $\leq 0,0003$ %, визуальное при входном контроле авиационного топлива обнаружение загрязнений было затруднено из-за их малых размеров (≤ 5 мкм) и сделать вывод о некондиционности топлива не представлялось возможным. Однако после отстаивания топлива в лабораторных условиях ≥ 20 % объёма тары с топливом составляли видимые загрязнения, не пропускающие свет. Проверка авиационного топлива с помощью приспособления ПОЗ-Т дала отрицательные результаты.

4. В 2020 году в пробах авиационного топлива, отобранных в связи с расследованием самопроизвольного выключения двигателя ВС Boeing 737 в полёте, обнаружены нехарактерные

⁵ Постановление Правительства России от 02.12.1999 № 1329 (ред. от 16.05.2024) «Об утверждении Правил расследования авиационных происшествий и авиационных инцидентов с государственными воздушными судами в Российской Федерации».

примеси – сложные эфиры, теоретически, по характеру поведения, способные быть сопутствующим фактором причины произошедшего отказа топливного насоса-регулятора.

5. В 2022 году в аэропорту Новокузнецк в отобранных пробах топлива обнаружены множественные кристаллы льда, препятствующие заправке ВС. В результате исследований в составе топлива были обнаружены азотсодержащие соединения, способные вызвать кристаллизацию растворённой воды в условиях низких температур.

Выборочный анализ показателя чистоты авиационного топлива в отечественных аэропортах

В ходе осуществления научно-методического сопровождения процессов эксплуатации авиа-ГСМ на гражданских ВС авторы статьи обобщили результаты контроля чистоты авиационного топлива в различных отечественных аэропортах.

Контроль проводился в пробах, отбираемых с 1999 года с различной периодичностью (от 2 до 5 лет) в организациях авиатопливообеспечения различных отечественных аэропортов в соответствии с Методикой № I-ЦС/99⁶.

Таблица 1

Чистота авиатоплива, поступающего железнодорожным или автомобильным транспортом в аэропорты различных регионов России, с 1997 по 2022 год

Регион	Содержание загрязнений, г/г		
	Минимум	Среднее	Максимум
Центральная Сибирь	0,26	3,90	33,83
Крайний Север	0,70	1,59	4,30
Южный регион	0,33	6,15	76,49
Восточная Сибирь	0,65	3,14	12,00
Алтай	0,28	1,93	6,00
Один из аэропортов московского аэроузла	0,80	1,72	3,40
Дальний Восток	0,81	1,90	4,45
Урал	0,23	4,52	63,74

Оценка чистоты авиационного топлива, а также гранулометрического состава выявленных механических примесей осуществлялись весовым методом согласно постановлению № 1329. В результате во ФГУП ГосНИИ ГА сформировалась статистическая база данных по уровням чистоты авиационного топлива, выдаваемого на заправку. Получаемые в дальнейшем данные по показателю чистоты авиационного топлива сравнивались с имеющимися средними статистическими значениями. В результате сравнения могла быть оценена стабильность и эффективность работы по авиатопливообеспечению. Данные таких исследований приведены в табл. 1 и на диаграмме рис. 1.

Минимальные и максимальные значения показателя чистоты авиационного топлива фиксировались по получаемым разовым результатам, не имеющим стабильного характера. Данные исследований приведены также в табл. 2 и графически отображены на рис. 2.

⁶ Методика № I-ЦС/99 оценки соответствия уровня качества и чистоты авиакеросина, выдаваемого на заправку в предприятиях гражданской авиации России, утверждённая 5 июля 1999 года начальником управления РРА И АД ФСВТ России.

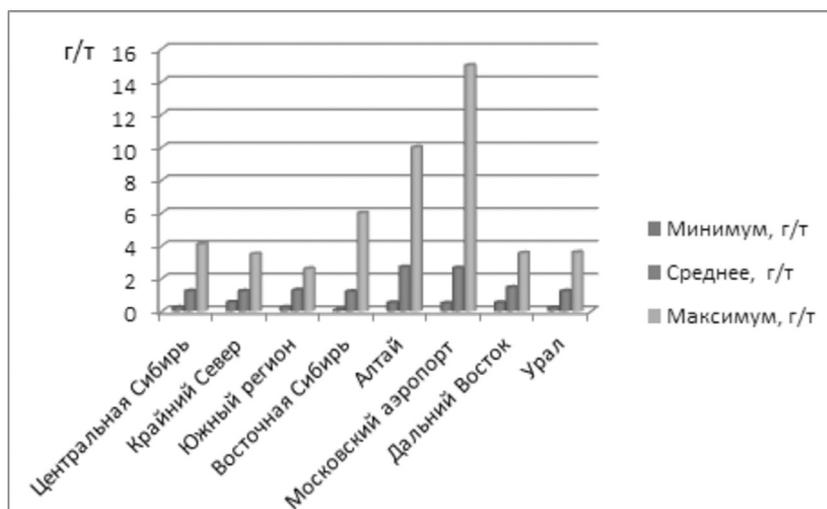


Рис. 1. Диаграмма по данным табл. 1

Таблица 2

Чистота авиатоплива, заправляемого в гражданские ВС в аэропортах различных регионов России (по пробам из наконечников нижней заправки топливозаправщиков, с 1997 по 2022 год)

Регион	Содержание загрязнений, г/т		
	Минимум	Среднее	Максимум
Центральная Сибирь	0,24	1,24	4,10
Крайний Север	0,56	1,24	3,50
Южный регион	0,26	1,30	2,60
Восточная Сибирь	0,09	1,21	6,00
Алтай	0,53	2,70	10,00
Один из аэропортов московского аэроузла	0,50	2,64	15,00
Дальний Восток	0,53	1,46	3,56
Урал	0,23	1,24	3,60

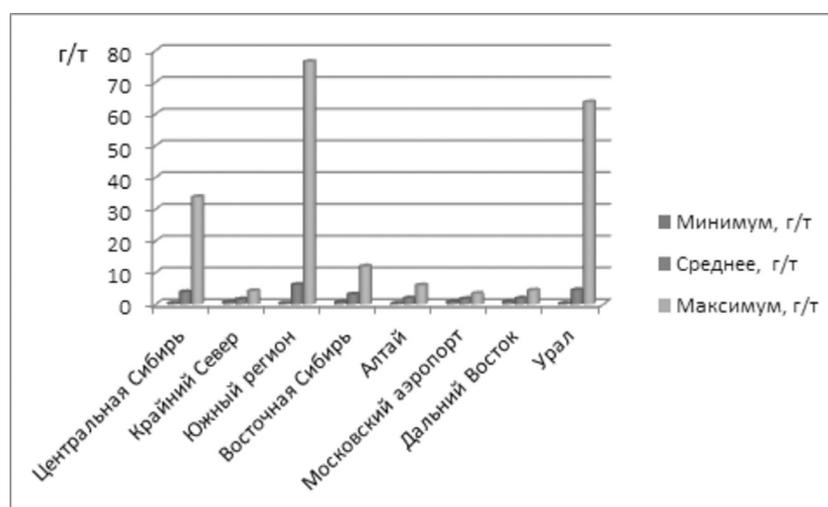


Рис. 2. Диаграмма по данным табл. 2

Из приведённых на рис. 1 и рис. 2 диаграмм видно, что средний показатель чистоты заправляемого в ВС топлива сравним со средним показателем чистоты топлива, поступающего в аэропорты. Данный вывод подтверждает, что в гражданской авиации остаются риски для безопасности полётов гражданских ВС, связанные с показателем чистоты авиатоплива.

Анализ методов определения чистоты авиационного топлива

Определение чистоты авиационного топлива проводится в соответствии с положениями п. 4.5 ГОСТ 10227. При этом оператором, проводящим анализ, должно быть установлено, что при рассмотрении топлива в стеклянном цилиндре в проходящем свете, оно прозрачно и не содержит взвешенных и осевших на дно цилиндра механических примесей и воды. Таким образом, оценка чистоты топлива полностью зависит от субъективного (человеческого) фактора.

Существует другой метод определения механических примесей в нефтепродуктах, в том числе в топливе⁷. Его основой является определение размеров и количества частиц, содержащихся в топливе, выполняемое как вручную выявлением и подсчётом частиц под микроскопом, так и с помощью соответствующего приборного оборудования (например, автоматические счётчики частиц), определяющего гранулометрический состав авиационного топлива. Однако этот анализ должен проводиться только при возникновении разногласий при оценке качества топлива по механическим примесям (ГОСТ 10227-86 п. 4.5). Для этого показателя установлен норматив массовой доли механических примесей в топливе $\leq 0,0003$ %. Норматив действует и для выпускаемого заводом-производителем, и для заправляемого в ВС топлива. Следует отметить, что за рубежом (ASTM D1655-23a) этот норматив составляет $\leq 0,0001$ % массовой доли механических примесей, что свидетельствует о том, что в российской практике этому не придаётся должного внимания.

Основой метода определения массовой доли механических примесей по ГОСТ 10227 является взвешивание сухого остатка примесей, оставшихся на мембранном бумажном фильтре после пропускания через него ≈ 400 см³ авиационного топлива и последующего высушивания. Значение сходимости массовой доли механических примесей по этому методу составляет 0,0002 %, что сравнимо с величиной норматива и говорит о невысокой точности метода.

Недостатком данного метода является отсутствие возможностей определения в топливе волокон, химических веществ, а также механических примесей, имеющих незначительную массу. Также к недостаткам следует отнести невозможность характеризовать типы загрязнения авиационного топлива.

Преимуществом метода ГОСТ 10577 является выявление в составе топлива не только механических примесей по их массе, но и установление наличия в топливе волокон, наличия и размеров механических примесей, имеющих низкий удельный вес. Другим преимуществом метода является возможность исключения влияния на получаемые результаты человеческого фактора при использовании лабораторных приборов.

ГОСТ 17216⁸ установлены классы чистоты жидкостей в зависимости от выявленных загрязнений. Среди всех действующих нормативных технических документов или стандартных методик этот документ максимально охватывает спектр возможных загрязнений авиационного топлива и, в зависимости от количества и характера загрязнений, устанавливает классы чистоты жидкостей.

Заключение

Эксплуатация авиационной техники с использованием топлива с повышенным содержанием различных загрязнений увеличивает частоту отказов узлов и агрегатов.

⁷ ГОСТ 10577-76. Нефтепродукты. Метод определения содержания механических примесей.

⁸ ГОСТ 17216-2001. Чистота промышленная. Классы чистоты.

Установленные действующим ГОСТ 10227 требования к определению показателя чистоты авиационного топлива, по мнению авторов статьи, недостаточны.

Авторы считают актуальным дополнить перечень показателей таблицы 1 ГОСТ 10227 показателем «класс чистоты топлива» и ограничить минимальный порог чистоты авиационного топлива 8-м классом [5].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Молодницкий Р. Ю., Бородина Н. С., Поплетеев С. И., Савин Д. Л. Расширение ассортимента технических средств очистки авиатоплива и экспресс контроля уровня его чистоты // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 28. С. 59–70.
2. Мальцев О. Г., Бородина Н. С., Поречная Л. И. Управление рисками гражданской авиации в части авиатопливообеспечения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 44. С. 81–91.
3. Габдрашитов И. Р., Филиппов А. О. Чистое топливо – безопасность в небе. МТО ВС РФ. 2022. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <https://mto.ric.mil.ru/Stati/item/442246/> (дата обращения: 16.12.2024).
4. 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. 70–81.
5. Дубовкин Н. Ф., Маланичева В. Г., Массур Ю. П., Федоров Е. П. Справочник. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. Москва: Химия, 1985. 239 с.

References

1. Molodnitskiy R. Yu., Borodina N. S., Popleteev S. I., Savin D. L. Expansion of the range of technical means of jet fuel purification and express control of its purity level. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 28, pp. 59–70. (In Russ.)
2. Maltsev O. G., Borodina N. S., Porechnaya L. I. Civil aviation risk management in terms of aviation fuel supply. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2023, no. 44, pp. 81–91. (In Russ.)
3. Gabdrashitov I. R., Filippov A. O. Clean fuel – safety in the sky. MTO RF Armed Forces, 2022, no. 11 [Electronic resource], available at: <https://mto.ric.mil.ru/Stati/item/442246/> (accessed: 16.12.2024).
4. 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. 70–81. (In Russ.)
5. Dubovkin N. F., Malanicheva V. G., Massur Yu. P., Fedorov E. P. *Handbook. Physicochemical and operational properties of jet fuels*. Moscow, Khimiya Publ., 1985, 239 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Мальцев Олег Германович, советник генерального директора, ООО «Джет Энерджи», Москва, Россия, maltsev_oleg@bk.ru

Азжеурова Ольга Борисовна, начальник испытательной лаборатории ЦС авиаГСМ, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, csavia@gosniiga.ru

Молодницкий Руслан Юрьевич, ведущий инженер, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, csavia@gosniiga.ru

Мариничев Владимир Игорьевич, директор Научного Центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, csavia@gosniiga.ru

Authors information

Maltsev Oleg G., Advisor to the General Director, Jet Energy LLC, Moscow, Russia, maltsev_oleg@bk.ru
Azzheurova Olga B., Head of the Testing Laboratory of the Central Station of Aviation Fuels and Lubricants, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, csavia@gosniiga.ru

Molodnitsky Ruslan Yu., Leading Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, csavia@gosniiga.ru

Marinichev Vladimir I., Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, csavia@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 25.12.2024; одобрена после рецензирования 10.02.2025; принята к публикации 21.02.2025.

The article was submitted 25.12.2024; approved after reviewing 10.02.2025; accepted for publication 21.02.2025.

Научная статья
УДК 662.75

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОТНОСТИ ТОПЛИВ ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА СМАЗЫВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

А. Н. ПРИВАЛЕНКО¹, О. Б. АЗЖЕУРОВА¹, Н. В. МОРОЗОВА¹, М. А. ЕРШОВ^{2,3}, М. М. ЛОБАШОВА²,
Е. А. ШАРИН³

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

² РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

³ Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены проблемные вопросы, связанные с заключением о качестве и паспортизацией топлива для реактивных двигателей марки РТ по ГОСТ 10227-86 по причине наличия в данном стандарте нижнего предела значения показателя «кислотность» (0,2 мг КОН на 100 см³ топлива). Зависимость противоизносных свойств топлива от значений его кислотности не установлена, а производимое без противоизносной присадки топливо РТ может иметь кислотность ниже указанной нормы в соответствии с практическим опытом и результатами исследований. Представлены исследования, результаты которых показывают возможность достижения необходимого уровня противоизносных свойств топлива РТ без противоизносной присадки при различных значениях показателя «кислотность», в том числе <0,2 мг КОН на 100 см³ топлива.

Ключевые слова: гражданская авиация, топливо РТ, кислотность топлив, противоизносные свойства, присадки, органические кислоты, коррозионная активность, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Приваленко А. Н., Азжеурова О. Б., Морозова Н. В., Ершов М. А., Лобашова М. М., Шарин Е. А. Исследование влияния кислотности топлив для реактивных двигателей на смазывающую способность // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С 19–25.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ACIDITY OF JET FUELS ON LUBRICITY

A. N. PRIVALENKO¹, O. B. AZZHEUROVA¹, N. V. MOROZOVA¹, M. A. ERSHOV^{2,3}, M. M. LOBASHOVA²,
E. A. SHARIN³

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

² National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia

³ New Technology Monitoring Center, Moscow, Russia

Abstract: The article discusses the problems associated with the certification of fuel for jet engines of the RT brand according to GOST 10227-86 due to the presence in the specified GOST of the lower limit of the value of the “Acidity” indicator (not less than 0.2 mg of KOH per 100 cm³ of fuel). The relationship between the value of this indicator and the required level of anti-wear properties of the fuel has not been established, and the RT fuel produced without the involvement of the anti-wear additive, taking into account practical experience and research results, may have acidity below the specified standard. The results of studies showing the possibility of achieving the required level of anti-wear properties of RT fuel without anti-wear additive at various values of the “Acidity” indicator, including less than 0.2 mg of KOH per 100 cm³ of fuel, are presented.

Keywords: civil aviation, jet fuel RT, acidity, anti-wear properties, additives, organic acids, corrosion activity, operation of aircraft

For citation: Privalenko A. N., Azzheurova O. B., Morozova N. V., Ershov M. A., Lobashova M. M., Sharin E. A. Investigation of the effect of acidity of jet fuels on lubricity. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 19–25. (In Russ.)

Введение

Высокое качество топлив для реактивных двигателей (авиатопливо, ТРД) для воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА) – важнейшее условие авиационной безопасности. Некондиционное авиатопливо рассматривается как возможная причина авиационных инцидентов, аварий (авиакатастроф). В настоящее время требования к качеству ТРД установлены в техническом регламенте ТР ТС 013/2011¹ и ГОСТ 10227².

В результате развития технологий переработки нефти и газового конденсата на отечественных нефтеперерабатывающих предприятиях (НПЗ) экономические показатели производства топлива для реактивных двигателей марки РТ по ГОСТ 10227 (топливо РТ) близки с показателями топлива для реактивных двигателей марки ТС-1 по ГОСТ 10227 (топливо ТС-1). Топливо РТ превосходит топливо ТС-1 по ряду важных показателей качества (термоокислительная стабильность, йодное число, массовая доля общей серы, массовая доля меркаптановой серы [1]) и поэтому широко применяется для заправки гражданских ВС.

Кроме того, технологические процессы получения топлив без вовлечения противоизносных присадок импортного производства также являются приоритетным направлением развития нефтеперерабатывающей отрасли в условиях незаконных санкций в отношении нашего государства.

В настоящее время отечественная ГА в целях обеспечения необходимого уровня безопасности полётов ВС [2] имеет насущную необходимость в актуализации ГОСТ 10227. Положительно влияющее на обеспечение безопасности полётов ВС ГА изменение № 6 последний раз было внесено в данный ГОСТ в 2010 году в части определения удельной электрической проводимости топлив.

Постановка задачи

Одним из показателей, определяющих качество авиатоплив, является «кислотность». Нормы значений показателя «кислотность» для ТРД установлены ГОСТ 10227 и составляют: для топлива РТ – от 0,2 до 0,7 мг КОН на 100 см³ топлива; для всех остальных марок топлив – ≤0,7 мг КОН на 100 см³ топлива (табл. 1).

Таблица 1

Нормы значений показателя «кислотность» ТРД

Наименование показателя	Норма для марки топлива					Метод испытания
	ТС-1	Т-1С	Т-1	Т-2	РТ	
Кислотность, мг КОН на 100 см ³ топлива: не более в пределах	0,7 –	0,7 –	0,7 –	0,7 –	– 0,2–0,7	По ГОСТ 5985-79 и по п. 4.2 ГОСТ 10227-86

¹ Технический регламент Таможенного Союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей» (ТР ТС 013/2011).

² ГОСТ 10227-86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия (с изменениями 1–6).

Очевидно, что указанные выше требования по кислотности топлива РТ базируются на необходимости обеспечения требуемого уровня противоизносных свойств этого топлива³, но определение прямого показателя этого уровня в ГОСТ 10227 не предусмотрено. Эти требования косвенно характеризуют наличие в товарном ТРД гетероорганических соединений кислотного характера, которые ранее использовались в качестве противоизносной (смазывающей) присадки к топливу РТ (присадка ДНК).

Кислотность топлива, не содержащего присадки, обусловлена наличием в нём органических кислот, что способствует повышению уровня противоизносных свойств топлива. Однако отсутствует экспериментальное подтверждение зависимости показателей противоизносных свойств топлив без присадок от кислотности топлива и, следовательно, от содержания органических кислот в топливе. Вместе с тем присутствие в топливе органических кислот повышает его коррозионную активность по отношению к металлическим деталям топливной аппаратуры, средств транспортирования и хранения топлива [3].

Анализ статистических данных по значениям показателя «кислотность» компонентов ТРД, вовлекаемых в производство топлив на НПЗ, показывает, что у прямогонных керосиновых фракций кислотность может достигать значения 0,8 мг КОН на 100 см³ топлива, а у керосиновых фракций после гидрооблагораживания – 0,4 мг КОН на 100 см³ топлива.

Исследование [4] позволяет расположить компоненты ТРД в следующем порядке по уровню их противоизносных свойств (при условии производства компонентов ТРД из одного и того же сырья) от большего к меньшему: компонент прямой перегонки (КПП) – компонент демеркаптамизации (КДМ) – компонент гидроочистки (КГО) – компонент гидрокрекинга (КГК).

Таким образом имеется противоречие, состоящее в том, что с одной стороны наличие в авиатопливе органических кислот, характеризующее показателем «кислотность», обуславливает обеспечение определённого уровня противоизносных свойств топлива, а с другой приводит к возрастанию его коррозионной активности.

При этом в ГОСТ 10227-86 установлены верхняя и нижняя границы значений кислотности топлива РТ, не содержащего противоизносные присадки. Установленная нижняя граница препятствует производству на отечественных НПЗ качественного топлива РТ, не содержащего противоизносную присадку.

Всё это указывает на необходимость исследований связи между значениями кислотности ТРД и его противоизносными свойствами.

Исследования и их результаты

Обязательность достижения установленных норм по содержанию в топливе РТ меркаптановой серы, а также термоокислительной стабильности, связанных с особенностями применения этого топлива, обуславливает необходимость использования в качестве основы топлива гидрооблагороженных керосиновых фракций процессов гидроочистки и гидрокрекинга. Для компенсации снижающихся в процессах гидроочистки и гидрокрекинга уровня противоизносных свойств и стабильности керосиновых фракций (за счёт удаления природных антиоксидантов и гетероорганических соединений) применяются антиокислительная присадка Агидол и противоизносная присадка Unisor J (Индия). Это классическая, наиболее распространённая на сегодняшний день схема производства топлива РТ.

Однако, учитывая особенности отдельных нефтей и газовых конденсатов, применяющихся в качестве сырья для производства топлива РТ (в первую очередь связанные с невысоким содержанием общей и меркаптановой серы), в настоящее время всё чаще используются технологические способы получения топлива РТ на базе компонентов гидроочистки и гидрокрекинга

³ ГОСТ 4.25-83. Система показателей качества продукции. Нефтепродукты. Топлива жидкие. Номенклатура показателей.

с вовлечением в его состав до 30 % об. прямогонных керосиновых фракций, обладающих достаточно высоким уровнем термоокислительной стабильности и позволяющих за счёт содержащихся в них гетероорганических соединений обеспечить необходимый уровень противоизносных свойств топлива РТ.

Такой технологический способ получения топлива РТ экономически обоснован тем, что: 1) исключается необходимость использования вторичных процессов гидроочистки прямогонной керосиновой фракции для 30 % топлива; 2) из технологической цепочки производства исключается узел ввода зарубежной противоизносной присадки, так как отсутствует необходимость и в самой присадке.

В качестве объектов для проведения исследований выбраны: керосиновая фракция прямогонная (КФП) и керосиновая фракция после гидрокрекинга (КФГ), а также смеси указанных компонентов в различных соотношениях.

Результаты исследований экспериментальных образцов, представленные в табл. 2, показывают, что смесевые образцы (обр. 3 и обр. 4) обладают необходимым уровнем противоизносных свойств – диаметр пятна износа <0,7 мм – и характеризуются при этом значением показателя кислотности 0,32 и 0,13 мг КОН на 100 см³ топлива соответственно.

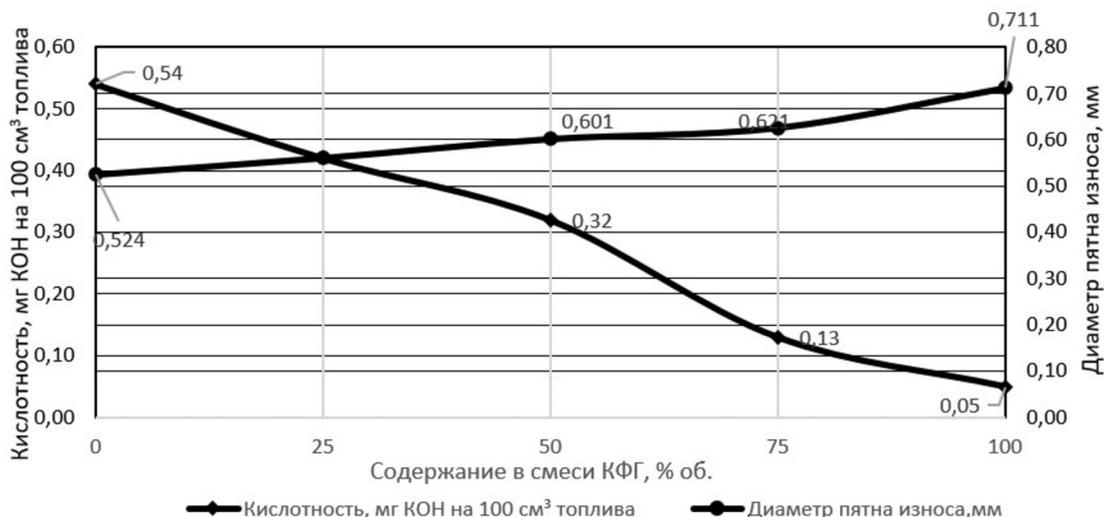
Таблица 2

Показатели качества экспериментальных образцов

Показатели качества	Результаты испытаний				Норма ГОСТ 10227 для топлива РТ
	КФП	КФГ	Обр.3*	Обр.4**	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	791,9	796,5	794,1	796,4	≥775
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	1,401	1,583	1,496	1,536	≥1,25
Термоокислительная стабильность в статических условиях при температуре 150 °С: концентрация осадка, мг на 100 см ³ топлива	6	2	6	4	≤6
Массовая доля общей серы, %	<0,015				≤0,10
Массовая доля меркаптановой серы, %	отсутст.	отсутст.	отсутст.	отсутст.	≤0,003
Испытание на медной пластинке при 100 °С в течение 3 ч	выдерживает				
Смазывающая способность***: диаметр пятна износа, мм	0,524	0,711	0,601	0,621	≤0,70
Кислотность, мг КОН на 100 см ³ топлива	0,540	0,050	0,320	0,130	0,2–0,7
Примечания: * обр. 3 – смесь КФП и КФГ в соотношении 50:50 об.; ** обр. 4 – смесь КФП и КФГ в соотношении 25:75 об.; *** для показателя указана рекомендуемая норма ФГУП ГосНИИ ГА.					

Значения показателя термоокислительной стабильности экспериментальных образцов обр. 3 и обр. 4 соответствуют нормам ГОСТ 10227 для топлива марки РТ.

Зависимости показателей кислотности и смазывающей способности от содержания в экспериментальных смесевых образцах компонентов КФП и КФГ показывают (рисунок), что с возрастанием в составе смеси компонента КФГ диаметр пятна износа увеличивается. Это свидетельствует об ухудшении смазывающей способности, кислотность при этом снижается.



Графики зависимостей изменения кислотности и смазывающей способности (диаметра пятна износа) в экспериментальных смесях

Таким образом, результаты исследований показывают перспективность смесового экспериментального обр. 4 в качестве прообраза топлива РТ, характеризующегося как достаточным уровнем противоизносных свойств (диаметр пятна износа – 0,621 мм), так и хорошей термоокислительной стабильностью (концентрация осадка 4 мг на 100 см³ топлива). Остальные проверенные показатели качества экспериментального обр. 4 также соответствуют нормам ГОСТ 10227 для топлива РТ при том, что значение кислотности этого образца <0,2 мг КОН на 100 см³ топлива (0,13).

Достижение необходимого уровня противоизносных свойств топлива РТ, содержащего в своем составе КФП (25 %) и КФГ (75 %) и не содержащего противоизносную присадку, подтверждено не только стандартным методом по ГОСТ Р 53715-2009⁴ (ASTM D 5001⁵), но и результатами проведения квалификационных испытаний на установках ПСТ-2 и ПСТ-3 (методы ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России»), а также на стенде УПС-01М (метод ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова»).

Заключение

Полученные результаты подтверждают предположение о том, что установленный в ГОСТ 10227 нижний предел кислотности для топлива РТ не связан с уровнем противоизносных свойств топлива и подлежит корректировке.

В настоящее время ФГУП ГосНИИ ГА совместно с РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина осуществляется разработка проекта новой редакции ГОСТ 10227 «Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» с целью актуализации стандарта на ТРД и гармонизации его с ТР ТС 013/2011. В рамках данной работы планируется изменить нижний предел показателя «кислотность».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

⁴ ГОСТ Р 53715-2009. Топлива авиационные для газотурбинных двигателей. Метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр (BOCLE).

⁵ ASTM D5001. Standard Test Method for Measurement of Lubricity of Aviation Turbine Fuels by the Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (BOCLE).

Список источников

1. Гришин Н. Н., Середя В. В. Энциклопедия химмотологии. Москва: Перо, 2016. 960 с.
2. Химмотология ракетных и реактивных топлив / под. ред. А. А. Браткова. Москва: Химия, 1987. 304 с.
3. Ранд С. Дж. Анализ нефтепродуктов. Методы, их назначение и определение. Перевод с 8-го английского издания. Санкт-Петербург: Центр образовательных программ «Профессия», 2012. 663 с.
4. Дубовкин Н. Ф. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. Москва: Химия, 1985. 240 с.

References

1. Grishin N. N., Sereda V. V. *Encyclopedia of Himmotology*. Moscow, Pero Publ., 2016, 960 p. (In Russ.)
2. *Chemmotology of rocket and jet fuels*. Edited by A. A. Bratkov, Moscow, Khimiya Publ., 1987, 304 p. (In Russ.)
3. Salvator J. Rand. *Significance of Test for Petroleum Products*. Saint Petersburg, 2012, 663 p. (In Russ.)
4. Dubovkin N. F. *Physicochemical and operational properties of jet fuels*. Moscow, Khimiya Publ., 1985, 240 p.

Информация об авторах

Приваленко Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора центра авиатопливообеспечения и аэропортовой деятельности, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, privalenko_AN@gosniiga.ru

Азжеурова Ольга Борисовна, начальник испытательной лаборатории, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, lab.gsm@mail.ru

Морозова Наталья Валерьевна, заместитель начальника испытательной лаборатории, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, lab.gsm@mail.ru

Ершов Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина; генеральный директор, Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия, m_ershov@ntwc.ru

Лобашова Марина Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия, m_lobashova@ntwc.ru

Шарин Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, руководитель направления внедрения новых технологий, Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия, e_sharin@ntwc.ru

Authors information

Privalenko Alexey N., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Deputy Director of the Center for Aviation Fuel Supply and Airport Activities, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, privalenko_AN@gosniiga.ru

Azzheurova Olga B., Head of the Test Laboratory, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, lab.gsm@mail.ru

Morozova Natalia V., Deputy Head of the Test Laboratory, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, lab.gsm@mail.ru

Ershov Mihail A., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Deputy Head of Department, National University of Oil and Gas “Gubkin University”, General Director, New Technologies Monitoring Center, Moscow, Russia, m_ershov@ntwc.ru

Lobashova Marina M., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department, National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia, m_lobashova@ntwc.ru

Sharin Evgeniy A., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of New Technologies Implementation, New Technologies Monitoring Center, Moscow, Russia, e_sharin@ntwc.ru

Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 29.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 23.12.2024; approved after reviewing 29.01.2025; accepted for publication 05.02.2025.

Обзорная статья
УДК 666.753.2

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И НАПРАВЛЕНИЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ГОСТ 10227-86 НА ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Н. ПРИВАЛЕНКО¹, М. А. ЕРШОВ^{2,3}, Е. А. ШАРИН³, М. М. ЛОБАШОВА², В. П. КОВАЛЕНКО⁴

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

² РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

³ Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия

⁴ Российское энергетическое агентство Минэнерго России, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены проблемные вопросы, связанные с необходимостью актуализации основного межгосударственного стандарта на топлива для реактивных двигателей – ГОСТ 10227-86. Действующий на протяжении более 35 лет на территории СССР, а затем России и стран Таможенного союза ГОСТ 10227 на топлива для реактивных двигателей (ТРД), претерпевший за это время шесть изменений, в настоящее время уже не в полной мере отвечает как требованиям законодательной базы, так и техническому уровню развития – начиная со значительных изменений в производственных процессах нефтепереработки, методов испытаний топлив, требований к условиям транспортирования и хранения топлив и обеспечению безопасности при их производстве и применении, и заканчивая непосредственно двигателями и системами топливоподачи авиационной техники (АТ). Предпринятая в 2013 году попытка актуализировать ГОСТ 10227 не привела к желаемому результату в связи с разногласиями между разработчиками стандарта, производителями ТРД и эксплуатантами АТ, на более чем 90 % состоящими из представителей других стран. Очевидно, что за период с 2013 года по настоящее время противоречия и проблемные вопросы, связанные с несоответствиями положений стандарта, законодательной базы, технического регламента Таможенного союза ТР ТС 013/2011, уровнем технического развития АТ, средств транспортирования и хранения, а также испытательной базы только усиливались, в связи с чем в 2023 году принято решение о разработке новой редакции ГОСТ 10227. Представлены план работ по актуализации стандарта, результаты выполненных работ, а также варианты решения вопросов по дальнейшему применению стандарта.

Ключевые слова: гражданская авиация, воздушное судно, топливо для реактивных двигателей, показатели качества, методы испытаний, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Приваленко А. Н., Ершов М. А., Шарин Е. А., Лобашова М. М., Коваленко В. П. Проблемные вопросы и направления актуализации ГОСТ 10227-86 на топлива для реактивных двигателей // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 26–33.

PROBLEMATIC ISSUES AND DIRECTIONS OF UPDATING GOST 10227-86 FOR JET FUELS

A. N. PRIVALENKO¹, M. A. ERSHOV^{2,3}, E. A. SHARIN³, M. M. LOBASHOVA², V. P. KOVALENKO⁴

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

² National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia

³ New Technology Monitoring Center, Moscow, Russia

⁴ “Russian Energy Agency” by the Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the problematic issues associated with the need to update the main interstate standard for fuels for jet engines – GOST 10227. GOST 10227, which has been in effect for more than 35 years on the territory of the USSR, and then in the territory of the Russian Federation and the countries of the Customs Union, has undergone six changes during this time, now no longer fully meets the requirements of both the legislative framework and the technical level of development – starting with significant changes in the production processes of oil refining, fuel testing methods, requirements for the conditions of transportation and storage of fuels, and ending directly with the engines and fuel supply systems of aviation equipment. An attempt to update GOST 10227 made in 2013 did not lead to the desired result due to significant disagreements between GOST developers, fuel manufacturers and aircraft operators, more than 90 % consisting of representatives of foreign countries. It is obvious that since 2013, the contradictions and problematic issues associated with the inconsistencies between the provisions of GOST, TR CU 013/2011, the level of technical development of aviation equipment, transportation and storage facilities, as well as the test base have only intensified, in connection with which in 2023 it was decided to develop a new up-to-date version of GOST 10227. A work plan for updating GOST is presented, as well as options for solving issues related to its further application.

Keywords: civil aviation, aircraft, jet fuel, quality indicators, test methods, operation of aviation equipment

For citation: Privalenko A. N., Ershov M. A., Sharin E. A., Lobashova M. M., Kovalenko V. P. Problematic issues and directions of updating GOST 10227-86 for jet fuels. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 26–33. (In Russ.)

Введение

Качество топлив для реактивных двигателей воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА) – важнейшее условие авиационной безопасности. Некондиционное топливо рассматривается как возможная причина аварий (авиакатастроф) [1]. В настоящее время качество выпускаемого авиатоплива обеспечивается соблюдением положений ГОСТ 10227-86¹, в свою очередь безопасность его применения обеспечивается соблюдением требований, установленных в техническом регламенте ТР ТС 013/2011².

Действующий с 01 января 1987 года ГОСТ 10227 долгое время позволял достаточно эффективно регулировать взаимоотношения между производителями и потребителями ТРД, претерпев за этот период шесть изменений.

ГОСТ 10227 включён в эксплуатационную документацию всех типов ВС отечественного и зарубежного производства [2].

Учитывая пункт 5.2.3 ГОСТ 1.2-2009³, действовавшего на момент вступления в действие ТР ТС 013/2011 (31.12.2012), актуализация ГОСТ 10227 путём внесения очередного изменения в целях приведения положений стандарта в соответствие требованиям Технического регламента не представляется возможной.

Предпринятая в 2013 году попытка актуализации ГОСТ 10227 путём его пересмотра с учётом сформированных к тому времени предложений по корректировке как производителей топлив, так и организаций, отвечающих за транспортирование, хранение и применение этих топлив, а также непосредственно эксплуатантов АТ, не привела к желаемому результату. Приказом Росстандарта

¹ ГОСТ 10227-86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия.

² Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей» (ТР ТС 013/2011).

³ ГОСТ 1.2-2009. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены.

от 19.12.2016 № 2044-ст ГОСТ 10227-2013 «Топливо для реактивных двигателей. Технические условия» отменён на территории Российской Федерации до установленной даты введения в действие, ограничение по применению ГОСТ 10227-86 приказом Росстандарта от 18.12.2018 № 1132-ст отменено. Одной из основных причин отмены ГОСТ 10227-2013 на территории нашей страны стало значительное изменение содержания стандарта по отношению к редакции 1986 года, что по мнению эксплуатантов ВС приводит к отнесению топлива по ГОСТ 10227-2013 к категории «новое топливо» и требует проведения существенного комплекса испытаний для включения указанного топлива в эксплуатационную документацию АТ. При этом действующий в настоящее время ГОСТ 10227 в редакции 1986 года не соответствует ТР ТС 013/2011 (построение стандарта, наличие датированных ссылок и т. п.), а отдельные его положения, в том числе методы испытания топлив, значительно отстали от уровня технического развития, особенно за последние 10 лет.

Постановка задачи

Несомненно, стандарт, регламентирующий требования к одному из наиболее стратегически важных топлив в Российской Федерации – топливу для реактивных двигателей, последнее изменение в который внесено более 10 лет назад, требует актуализации и приведения его в соответствие с законодательной базой и современным уровнем технического развития [3].

В соответствии с письмом Росавиации от 29.09.2023 № 38681/04 в настоящее время имеется необходимость в актуализации ГОСТ 10227 с целью внесения ряда дополнений.

В качестве разработчиков новой редакции ГОСТ 10227 выступили ФГУП ГосНИИ ГА и РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, которыми предложены концепция и программа разработки с учётом дальнейшего применения актуализированной редакции ГОСТ 10227. На заседании технического комитета по стандартизации ТК 031 «Нефтяные топлива и смазочные материалы» концепция и программы согласованы членами технического комитета, состоящего из представителей научно-исследовательских организаций, разработчиков (производителей) горюче-смазочных материалов: ФГУП ГосНИИ ГА, ФАУ «ЦИАМ имени П. И. Баранова», ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Транснефть», ПАО «Лукойл», ПАО «Газпром нефть», ПАО «Сургутнефтегаз», ФГБУ НИИ ПХ Росрезерва».

Актуализация ГОСТ 10227 должна решить три ключевые задачи, которые предполагают разделение процесса на этапы:

1. Обновление методов испытаний с учётом действующего Перечня международных и региональных (межгосударственных) стандартов, а в случае их отсутствия – национальных (государственных) стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований ТР ТС 013/2011 и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования.

2. Изменение отдельных норм по показателям/характеристикам топлива, препятствующих его применению на зарубежной АТ без ограничения по ресурсу, а именно норм по кинематической вязкости и термоокислительной стабильности.

3. Внесение корректировок, направленных на унификацию марок топлива и их показателей/характеристик, включение дополнительных требований к процессу применения топлива, уточнение требований к перечню и нормам ввода присадок и определение порядка внесения новых присадок, а также другие вопросы.

Результаты работ по актуализации ГОСТ 10227

Предложенный разработчиками и одобренный на заседании ТК 031 план работ по актуализации ГОСТ 10227 включает четыре основных этапа, представленных в таблице.

Этапы работ по актуализации ГОСТ 10227

Этапы	Результаты	Сроки, год	Концепция
№ 1 (Разработка ГОСТ 10227)	Разработка, утверждение и дальнейшее применение новой редакции ГОСТ 10227	Первая редакция 2024	Стандарт разрабатывается на основе ГОСТ 10227-86 с дополнениями, по которым сформирован консенсус между производителями и потребителями топлива. Результаты научно-исследовательских работ, применимые к внедрению, учитываются в первой редакции стандарта.
№ 2 (НИР 1)	Разработка рекомендаций по изменению отдельных норм и положений в рамках первой редакции ГОСТ 10227 или последующих изменений	2025	В стандарт вносятся изменения, по которым имеется принципиальная поддержка значительной части производителей топлива, однако требуется подготовка обоснования на основе анализа имеющихся данных.
№ 3 (НИР 2)		2025	В стандарт вносятся изменения, по которым для достижения консенсуса между производителями, потребителями и экспертными организациями требуется проведение экспериментальных работ и анализа имеющихся производственных данных.
№ 4 (НИР 3)		2026	В стандарт вносятся изменения, по которым для достижения консенсуса между производителями топлива, эксплуатирующими и экспертными организациями требуется проведение значительного объёма экспериментальных работ и анализа существующей в мировой практике нормативной документации, включая документы, определяющие требования по прослеживаемости качества авиационного топлива от НПЗ до крыла самолёта.

Предусмотренная на первом этапе разработка первой редакции ГОСТ 10227 включает решение следующих основных задач:

1. Актуализация в соответствии с требованиями ТР ТС 013/2011, в том числе с учётом действующих методов испытаний.
2. Корректировка нормы термоокислительной стабильности топлива (JFTOT) в соответствии с международными требованиями («цвет отложений на трубке, баллы по цветовой шкале (при отсутствии нехарактерных отложений), менее 3»).
3. Корректировка раздела с требованиями безопасности в соответствии с актуальными нормативными документами (ГОСТ и РД).
4. Корректировка раздела с правилами приёмки топлива в соответствии с требованиями ТР ТС 013/2011.
5. Включение положений об указании в паспорте на топливо сведений о наличии присадок.

В соответствии с разработанным и согласованным планом на сегодняшний день подготовлена первая редакция проекта ГОСТ 10227, которая прошла публичное обсуждение. Начаты научно-исследовательские работы, запланированные на последующих этапах работы. Так, по итогам проведения исследований по выявлению связи между кислотностью топлива марки РТ и уровнем его смазывающей способности установлена возможность исключения нижней границы нормы по кислотности для указанного топлива [4].

Другим важным вопросом при актуализации ГОСТ 10227 является обоснование необходимости мониторинга уровня противозносных свойств топлив. В данном направлении выделяется несколько задач:

1. Обоснование необходимости контроля указанного показателя.
2. Выбор и обоснование метода испытаний по показателю.
3. Обоснование нормы по показателю.

4. Определение периодичности контроля.

Для решения указанных задач необходимо проведение научно-исследовательской работы, включающей комплекс теоретических исследований, а также получение большого массива экспериментальных данных об уровне противоизносных свойств как современных и перспективных товарных топлив для реактивных двигателей, так и их компонентов. Решение указанных задач осложняется ещё и тем, что в настоящее время кроме международного метода оценки смазывающей способности топлив для реактивных двигателей – ГОСТ Р 53715 (ASTM D5001)⁴ разработаны и применяются при проведении испытаний ещё ряд ведомственных методов по оценке уровня противоизносных свойств топлив [5].

При обосновании необходимости оценки уровня противоизносных свойств ТРД и её периодичности следует также учитывать фактор санкционных ограничений, действие которых осложняет приобретение необходимого приборного оборудования, его обслуживание, актуализацию программного обеспечения и непосредственное проведение испытаний, так как пока используемое для реализации ГОСТ Р 53715 оборудование производится только за рубежом.

На последующих этапах актуализации ГОСТ 10227 предложено рассмотреть ряд дополнительных вопросов, основными из которых являются:

1. Рассмотрение целесообразности изменения нормы по показателю «термоокислительная стабильность в статических условиях» [6] для топлива ТС-1 в диапазоне (не более) с текущих 18 до 12 мг на 100 см³ топлива на основании теоретических и экспериментальных исследований.

2. Рассмотрение целесообразности изменения нормы по показателю «массовая доля меркаптановой серы» для топлива РТ в диапазоне (не более) с текущих 0,003 до 0,001 % масс. на основании теоретических и экспериментальных исследований [7].

3. Рассмотрение целесообразности установления нормы по показателю «внешний вид» топлива на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований.

4. Разработка положения в стандарт, определяющий перечень ранее одобренных присадок к топливу (с учётом требований Федерального закона «О защите конкуренции» от 26.07.2006 № 135-ФЗ) и порядок его изменения.

5. Сбор и анализ производственных данных и сведений из профильных НИИ по температуре вспышки топлива, проведение экспериментальных исследований по оценке изменения выхода реактивного топлива при корректировке данного показателя и технико-экономическая оценка возможности изменения нормы по данному показателю в диапазоне (не ниже) с текущих 28 °С до 38 °С [8].

6. Сбор и анализ производственных данных и сведений из профильных НИИ по температуре кристаллизации топлива, проведение экспериментальных исследований по оценке возможности корректировки нормы по данному показателю.

7. Сбор и анализ производственных данных и сведений из профильных НИИ по фракционному составу топлива, проведение экспериментальных исследований по оценке изменения выхода реактивного топлива при корректировке показателей фракционного состава и технико-экономическая оценка возможности изменения норм по данному показателю для топлива ТС-1 в диапазоне (не ниже): температура начала кипения, остаток от разгонки и потери от разгонки.

8. Корректировка нормы по йодному числу для топлива ТС-1.

9. Корректировка нормы по массовой доле нафталиновых углеводородов для топлива ТС-1.

10. Критерии вовлечения того или иного функционального типа присадок.

11. Анализ международной документации, определяющей требования к качеству реактивного топлива, в части содержания нехарактерных примесей.

12. Анализ потенциальных источников нехарактерных примесей в реактивном топливе с оценкой риска загрязнений.

⁴ ГОСТ Р 53715-2009. Топлива авиационные для газотурбинных двигателей. Метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр (BOCLE).

13. Разработка методов идентификации нехарактерных примесей в реактивном топливе.

14. Экспериментальные исследования по оценке влияния содержания нехарактерных примесей в реактивном топливе на изменение критических показателей качества.

15. Разработка требований к показателям и нормам по содержанию нехарактерных примесей в топливе.

16. Разработка положения, определяющего возможность включения синтетических компонентов в состав топлива и ограничения по их применению и порядка изменения этого положения [9].

Указанные выше вопросы, несмотря на имеющуюся международную практику, требуют тщательного изучения и проработки с учётом отечественного законодательства и особенностей применения АТ в рамках научно-исследовательских работ с последующим обсуждением целесообразности их включения в стандарт с представителями всех заинтересованных организаций.

Одним из важнейших в работе по актуализации ГОСТ 10227 является вопрос о включении стандарта в эксплуатационную документацию ВС, а также в нормативную и распорядительную документацию организаций, занимающихся транспортированием, хранением и заправкой ТРД.

В соответствии с требованиями ФАП⁵ при проведении сертификационных работ Заявитель определяет соответствие применяемых в изделии материалов, топлива, смазок, специальных жидкостей и газов во всех ожидаемых условиях эксплуатации требованиям Сертификационного базиса. Изменение марки (сорта, наименования) применяемого материала, топлива, смазки и газа относится к модификации типовой конструкции.

В связи с тем, что в проекте новой редакции ГОСТ 10227 изменений марки (сорта, наименования) применяемого топлива, технологий его производства, вовлечений сырья, компонентов и присадок, не прошедших испытания, не предусмотрено, что в соответствии с требованиями ФАП не приводит к модификации типовой конструкции, то внесение изменений (дополнений) в конструкторскую (эксплуатационную) документацию в части топлив не требуется.

Заключение

Разработана первая редакция проекта ГОСТ 10227 с учётом обеспечения его соответствия требованиям ТР ТС 013/2011, законодательной базы, актуализации методов испытаний, корректировки (ужесточения) нормы по термоокислительной стабильности топлива (JFTOT) в соответствии с международными требованиями («цвет отложений на трубке»: было ≤ 3 , стало < 3), корректировки раздела с требованиями безопасности при транспортировании и хранении топлива в соответствии с актуальными нормативными документами, включения положений об указании в паспорте на топливо сведений о наличии присадок.

В связи с тем, что ТРД по разработанной первой редакции проекта ГОСТ 10227 не являются новыми (не требуется изменений технологий производства топлив, а именно использования новых технологических установок, новых компонентов и присадок), то это не приводит к модификации типовой конструкции, и внесение изменений (дополнений) в конструкторскую (эксплуатационную) документацию в части топлив не требуется.

В результате введения в действие ГОСТ 10227 внесение изменений в химмотологические карты как составные части конструкторской документации для разрабатываемой, модернизированной и серийной АТ не требуется, внесение изменений в существующие Сертификационные базисы АТ, содержащие требования к лётной годности и охране окружающей среды, в части топлив не требуется, пересмотр норм лётной годности в части топлив не требуется, т. к. введение в действие нового ГОСТ 10227 не повлечёт изменений требований к лётной годности.

⁵ Приказ Минтранса России от 17 июня 2019 г. № 184 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21».

На ближайшую перспективу запланированы научно-исследовательские работы по оценке целесообразности внесения в стандарт уточнений в части норм по отдельным показателям качества, а также включения дополнительных методов по оценке показателей качества и норм по этим показателям.

Ведётся и близка к завершению научно-исследовательская работа по оценке целесообразности снятия нижней границы показателя «кислотность» для топлива РТ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Пискунов В. А., Зрелов В. Н. Влияние топлив на надёжность реактивных двигателей и самолётов. Москва: Машиностроение, 1978. 270 с.
2. Гришин Н. Н., Середа В. В. Энциклопедия химмотологии. Москва: Перо, 2016. 959 с.
3. Завялик И. И., Олешко В. С., Самойленко В. М., Фетисов Е. В. Моделирование функционирования агрегатов топливной системы газотурбинного двигателя летательного аппарата с учётом изменения качества авиационного топлива // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. № 225. С. 49–54.
4. Приваленко А. Н., Азжеурова О. Б., Морозова Н. В., Ершов М. А., Лобашова М. М., Шарин Е. А. Исследование влияния кислотности топлив для реактивных двигателей на смазывающую способность // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 19–25.
5. Лихтерова Н. М., Шаталов К. В., Кондратенко В. В., Баевский Д. Ф. Проблема оценки противоизносных свойств современных отечественных реактивных топлив // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 206. С. 37–42.
6. Гуреев А. А., Серегин Е. П., Азев В. С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. Москва: Химия, 1984. 200 с.
7. Большаков Г. Ф. Гетероорганические соединения реактивных топлив. Ленинград: Гостоптехиздат, 1962. 220 с.
8. Дубовкин Н. Ф., Маланичева В. Г., Массур Ю. П., Федоров Е. П. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. Москва: Химия, 1987. 239 с.
9. Гилев В. Е., Иванская Н. Н. Альтернативные виды топлива в гражданской авиации // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции. 2016. С. 59–62.

References

1. Piskunov V. A., Zrellov V. N. *Influence of fuels on the reliability of jet engines and aircraft*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978, 270 p. (In Russ.)
2. Grishin N. N., Sereda V. V. *Encyclopedia of Chemmotology*. Moscow, Pero Publ., 2016, 959 p. (In Russ.)
3. Zavyalik I. I., Oleshko V. S., Samoylenko V. M., Fetisov E. V. Modeling of the functioning units of fuel system of gas turbine engine aircraft in view of aviation fuel quality changes. *Civil Aviation High Technologies*, 2016, no. 225, pp. 49–54. (In Russ.)
4. Privalenko A. N., Azzheurova O. B., Morozova N. V., Ershov M. A., Lobashova M. M., Sharin E. A. Investigation of the effect of acidity of jet fuels on lubricity. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 19–25. (In Russ.)
5. Likhterova N. M., Shatalov K. V., Kondratenko V. V., Bayevsky D. F. The problem of estimation of anti-wear properties of modern domestic jet fuels. *Civil Aviation High Technologies*, 2014, no. 206, pp. 37–42. (In Russ.)

6. Gureev A. A., Seregin N. N., Azev V. S. *Qualification methods for testing petroleum fuels*. Moscow, Khimiya Publ., 1984, 200 p. (In Russ.)
7. Bolshakov G. F. *Heteroorganic compounds of jet fuels*. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1962, 220 p. (In Russ.)
8. Dubovkin N. F., Malanicheva V. G., Massur Yu. P., Fedorov E. P. *Physicochemical and operational properties of jet fuels*. Moscow, Khimiya Publ., 1987, 239 p. (In Russ.)
9. Gilev V. E., Ivanskaya N. N. Alternative fuels in civil aviation. *Modern technologies: current issues, achievements and innovations*. Collection of articles by the winners of the IV international scientific and practical conference. 2016, pp. 59–62. (In Russ.)

Информация об авторах

Приваленко Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, privalenko_AN@gosniiga.ru

Ершов Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина; генеральный директор, Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия, m_ershov@ntwc.ru

Шарин Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, руководитель направления внедрения новых технологий, Центр мониторинга новых технологий, Москва, Россия, e_sharin@ntwc.ru

Лобашова Марина Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия, m_lobashova@ntwc.ru

Коваленко Виктор Петрович, руководитель Департамента стандартизации, метрологии и технического регулирования, Российское энергетическое агентство Минэнерго России; заместитель председателя ТК 031 «Нефтяные топлива и смазочные материалы», Москва, Россия, Kovalenko@rosenergo.gov.ru

Authors information

Privalenko Alexey N., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Deputy Director of the Science Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, privalenko_AN@gosniiga.ru

Ershov Mihail A., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Deputy Head of Department, National University of Oil and Gas “Gubkin University, Chef Executive Officer, New Technology Monitoring Center, Moscow, Russia, m_ershov@ntwc.ru

Sharin Evgeniy A., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of New Technologies Implementation, New Technology Monitoring Center, Moscow, Russia, e_sharin@ntwc.ru

Lobashova Marina M., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department, National University of Oil and Gas “Gubkin University, Moscow, Russia, m_lobashova@ntwc.ru

Kovalenko Victor P., Head of Department of Standardization, Metrology and Technical Regulation, “Russian Energy Agency” by the Ministry of Energy of the Russian Federation; Deputy Chairman of TC 031 “Petroleum Fuel and Lubricants”, Moscow, Russia, Kovalenko@rosenergo.gov.ru

Статья поступила в редакцию 23.01.2025; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 28.02.2025.

The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 20.02.2025; accepted for publication 28.02.2025.

Научная статья

УДК 629.735.083.02./03:620.179

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ САМОЛЁТОВ ТИПА АН-24, АН-26 ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Е. С. МЕТЕЛКИН, Ю. А. МИКОЛАЙЧУК, А. В. СЕМИН

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Составной частью работ при поэтапном продлении назначенных и межремонтных ресурсов и сроков службы самолётов типа Ан-24, Ан-26 является выполнение неразрушающего контроля (НК) их агрегатов. В статье представлены обобщённые за 2017–2023 гг. данные результатов выполнения НК при исследовании технического состояния самолётов. Работы выполнялись с участием специалистов ГосНИИ ГА с периодичностью 1 год 3 месяца эксплуатации. Приведена информация о видах НК и работах по НК, включаемых в программы исследования технического состояния и выполняемых при поэтапном продлении ресурсов и сроков службы. Представлены статистические данные по дефектам агрегатов самолётов, выявленным средствами НК при выполнении работ по исследованию технического состояния самолётов. Проведено ранжирование дефектов и определены наиболее часто выявляемые по картам НК дефекты агрегатов (шасси, крыло, фюзеляж и т. д.) Ан-24, Ан-26.

Ключевые слова: воздушный транспорт, эксплуатация авиационной техники, Ан-24, Ан-26, продление ресурсов, исследование технического состояния, неразрушающий контроль, дефекты

Для цитирования: Метелкин Е. С., Миколайчук Ю. А., Семин А. В. Обобщение результатов работ по неразрушающему контролю самолётов типа Ан-24, Ан-26 при исследовании их технического состояния // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 34–44.

GENERALIZATION OF THE RESULTS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF AN-24 AND AN-26 AIRCRAFT DURING EXAMINATION OF THEIR TECHNICAL CONDITION

E. S. METELKIN, YU. A. MIKOLAYCHUK, A. V. SEMIN

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

Abstract. Non-destructive testing (NDT) of An-24, An-26 type aircrafts is an integral part of the works at stage-by-stage extension of assigned and overhaul resources and service life of their units. The article presents generalized data for 2017–2023 of the results of the NDT during the study of the technical condition of aircraft performed with the participation of specialists from The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, which were carried out at intervals of 1 year 3 months of operation. Information is provided on the types of non-destructive testing included in the condition study programs that are performed during the phased extension of resources and service life. Statistical data on aircraft units defects detected by NDT means during performance of works on aircraft technical condition investigation are presented. Defects were ranked and the most frequently detected on NDT cards defects of units (landing gear, wing, fuselage, etc.) of aircraft of the An-24, An-26 type were identified.

Keywords: air transport, operation of aircraft, An-24, An-26, prolongation of resources, resources and service life, technical condition study, non-destructive testing, defects

For citation: Metelkin E. S., Mikolaychuk Yu. A., Semin A. V. Generalization of the results of non-destructive testing of An-24 and An-26 aircraft during examination of their technical condition. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 34–44. (In Russ.)

Введение

Контроль ВС с применением физических методов и средств неразрушающего контроля в эксплуатирующих и ремонтных предприятиях отечественной гражданской авиации в настоящее время обеспечивает система неразрушающего контроля, которая представляет из себя совокупность средств контроля, исполнителей и объектов контроля, взаимодействующих по правилам, установленным соответствующей нормативной документацией ГОСТ 16504¹ и ГОСТ Р 58989².

Основная задача НК при поддержании лётной годности ВС – обеспечение выполнения работ по дефектоскопии отдельных деталей, узлов, элементов конструкции авиационной техники с требуемым уровнем надёжности и достоверности результатов контроля в соответствии со специальными методиками [1–3] с целью недопущения предельного состояния конструкции. В связи с этим НК силовой конструкции ВС является одним из важнейших элементов обеспечения безопасности конструкции по условиям прочности в процессе её длительной эксплуатации [2].

В современных условиях роль НК ещё более возрастает. Это связано с необходимостью эксплуатации авиационной техники в условиях продления назначенных и межремонтных ресурсов и сроков службы и, как следствие, с необходимостью ввода дополнительного контроля критических мест конструкции.

Бюллетенями от 11.03.2024 № 5.Б1.24.8.9-22/128 и от 20.11.2019 № 1530-БЭ-Г определены порядок и условия поэтапной отработки самолётами Ан-24 (всех модификаций) назначенного ресурса и срока службы 80000 лётн. ч, 47000 полётов, 60 лет, ресурса и срока службы до очередного капитального ремонта 26000 лётн. ч, 12000 полётов, 30 лет, а бюллетенями от 11.03.2024 № 5.Б1.26.8.9-23/63 и от 12.09.2016 № 1512-БЭ-Г определены порядок и условия поэтапной отработки самолётами Ан-26 (всех модификаций) назначенного ресурса и срока службы 45000 лётн. ч, 25000 полётов, 50 лет, ресурса и срока службы до очередного капитального ремонта 20000 лётн. ч, 14000 полётов, 35 лет.

Для поэтапной отработки ресурсов и сроков службы разрабатываются индивидуальные программы исследования технического состояния, которые содержат комплекс работ, подлежащих выполнению на Ан-24, Ан-26. В эти программы включают также и работы по НК, методы которого позволяют выявлять разнообразные дефекты материала деталей и узлов этих самолётов, в том числе и на начальной стадии их развития.

Целью обобщения результатов работ по НК Ан-24, Ан-26 при исследовании их технического состояния является определение наиболее часто встречающихся дефектов элементов конструкции ВС, выявляемых методами НК.

Для анализа и обобщения использовалась информация, содержащаяся в индивидуальных программах исследования технического состояния Ан-24, Ан-26 и в актах оценки их технического состояния, оформленных после выполнения комплекса работ для продолжения эксплуатации до отработки ресурсов и сроков службы, за период с 2017 по 2023 гг. За этот период исследования

¹ ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения (с Изменением № 1). Москва: Стандартинформ, 2011. 22 с.

² ГОСТ Р 58989-2020. Двигатели газотурбинные авиационные. Неразрушающий контроль основных деталей. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2020. 12 с.

технического состояния Ан-24 проходили 280 раз, а Ан-26 – 226 раз. При этом в рассматриваемый период процедуру поэтапного продления ресурсов и сроков службы эти ВС проходили неоднократно – от одного до шести раз.

Для оценки характеристик парка Ан-24 и Ан-26, которые проходили поэтапное продление ресурсов и сроков службы, определены значения средних, минимальных и максимальных наработок и сроков службы с начала эксплуатации (СНЭ) и после последнего ремонта (ППР), которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики наработок и сроков службы ВС

Наработки и сроки службы ВС		Ан-24	Ан-26
Наработка СНЭ, ч	Среднее	56011	25308
	Минимум	17342	3041
	Максимум	73749	41350
Наработка ППР, ч	Среднее	11364	7859
	Минимум	1618	78
	Максимум	24496	19999
Наработка СНЭ, полёты	Среднее	34914	11929
	Минимум	8959	2066
	Максимум	46573	19919
Наработка ППР, полёты	Среднее	5392	3147
	Минимум	746	39
	Максимум	10479	7902
Срок службы СНЭ, лет	Среднее	46,5	40,8
	Минимум	39,2	32,0
	Максимум	52,9	49,2
Срок службы ППР, лет	Среднее	13,8	16,5
	Минимум	3,8	0
	Максимум	22,3	30,4

Как видно из табл. 1, средняя и максимальная наработка СНЭ в часах, а также средняя и максимальная наработка ППР в полётах Ан-24 почти в два раза больше, чем такие же наработки Ан-26, а для наработок СНЭ в полётах – более, чем в 3 раза. В то же время эти ВС имеют близкие значения сроков службы СНЭ и ППР.

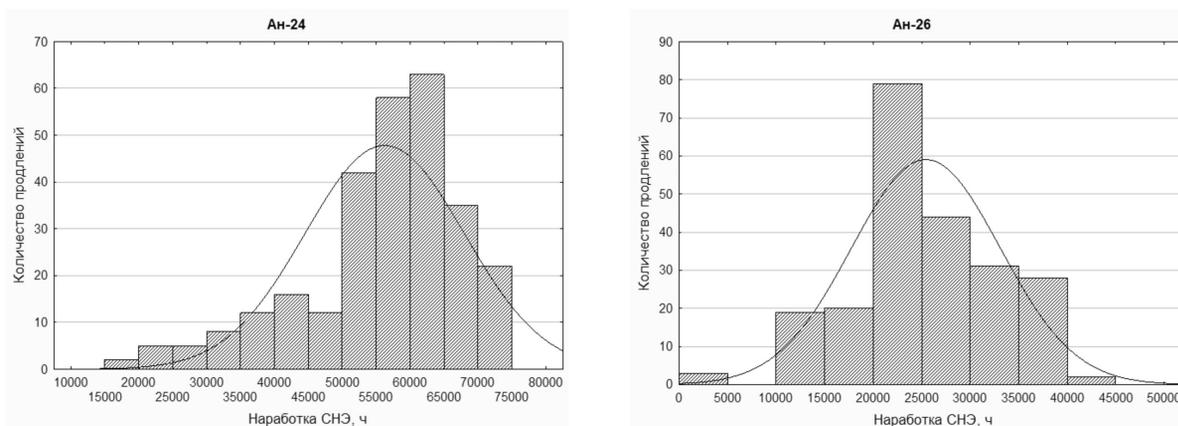


Рис. 1. Распределение Ан-24, Ан-26 по наработке СНЭ

В качестве примера на рис. 1 показано распределение по наработке в часах СНЭ Ан-24 и Ан-26, которые проходили исследования технического состояния, а на рис. 2 – по срокам службы СНЭ.

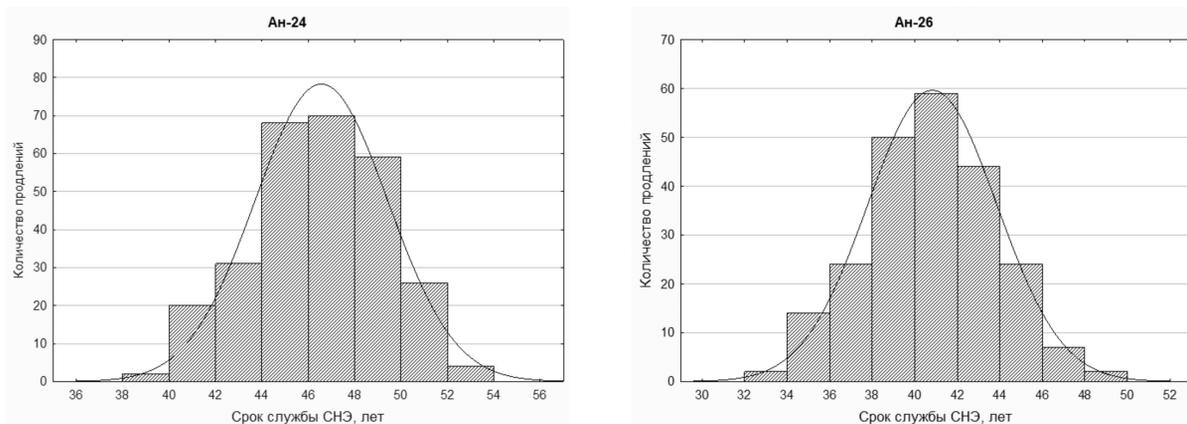


Рис. 2. Распределение Ан-24, Ан-26 по срокам службы СНЭ

Методы НК, выполняемого на Ан-24, Ан-26

Объём выполняемых работ по НК, включаемых в индивидуальные программы исследования технического состояния, зависит от типа ВС (Ан-24 или Ан-26), наработки и сроков СНЭ и ППР. С увеличением наработки и сроков эксплуатации вероятность появления скрытых дефектов возрастает, что требует увеличения количества зон контроля конструкции самолётов. Распределение количества карт неразрушающего контроля (КНК) по системам ВС, по которым выполнялись работы при исследовании технического состояния ВС, показано в табл. 2.

Таблица 2

Количество КНК, по которым выполнялись работы на ВС

Система ВС	Ан-24	Ан-26
27 «Система управления»	1	2
32 «Шасси»	11	13
53 «Фюзеляж»	10	8
54 «Мотогондола»	5	4
55 «Оперение»	2	5
57 «Крыло»	126	68
71 «Силовая установка»	2	0
Всего	157	100

Из табл. 2 видно, что количество КНК, по которым выполнялись работы при исследовании технического состояния, для Ан-24 в 1,5 раза больше, чем для Ан-26, при этом наибольшее количество КНК для обоих типов ВС (80 % для Ан-24 и 68 % для Ан-26) приходится на систему 57 «Крыло».

В соответствии с индивидуальными программами для исследования технического состояния Ан-24, Ан-26 применялись следующие методы НК: магнитопорошковый (МК), вихретоковый (ВК),

рентгеновский (РК), ультразвуковой (УЗК) и визуальный (ВО). Работы по НК выполнялись в соответствии с КНК, в которых указаны зоны контроля, метод и оборудование НК, нормы отбраковки, а также порядок выполнения работ.

В табл. 3 даны распределения количества КНК, которые включались в программы исследования технического состояния, по системам рассматриваемых типов ВС и видам применявшихся методов НК.

Таблица 3

Виды НК, выполняемых на Ан-24 и Ан-26

Система ВС	Количество карт НК									
	Ан-24					Ан-26				
	ВО	ВК	МК	РК	УЗК	ВО	ВК	МК	РК	УЗК
27 «Система управления»	–	1	–	–	–	1	1	–	–	–
32 «Шасси»	1	–	10	–	–	1	–	12	–	–
53 «Фюзеляж»	1	5	–	4	–	4	3	–	1	–
54 «Мотогондола»	–	1	1	1	2	–	1	–	1	2
55 «Оперение»	–	2	–	–	–	2	3	–	–	–
57 «Крыло»	1	108	1	11	5	3	62	–	1	2
71 «Силовая установка»	–	–	2	–	–	–	–	–	–	–
Всего карт НК	3	117	14	16	7	11	70	12	3	4

Основными методами НК конструкций для обоих типов ВС (табл. 3) являются методы ВК (до 75 % от объёма работ) и МК. Оба метода, как правило, включаются в программы исследования технического состояния для обоих типов ВС. Следует также отметить, что объём работ, выполняемых на Ан-24 по методу РК, в пять раз больше, чем на Ан-26.

Выполнение работ по индивидуальным программам исследования технического состояния Ан-24, Ан-26 совмещается с выполнением периодического технического обслуживания ВС. По их завершении оформляется акт оценки технического состояния ВС, отражающий выполнение всех пунктов программы.

Результаты выполнения НК Ан-24, Ан-26

Обобщение результатов выполнения работ по НК Ан-24, Ан-26 проводилось на основе анализа актов оценки технического состояния. Всего проанализировано 280 актов оценки технического состояния Ан-24 и 226 актов оценки технического состояния Ан-26, составленных по результатам выполнения работ согласно программам поэтапного продления ресурсов и сроков службы самолётов за период 2017–2023 гг.

Количество выявленных дефектов при проведении НК, полученное по результатам анализа актов оценки технического состояния, показано в табл. 4.

Таблица 4

Общее количество дефектов, выявленных при проведении НК на Ан-24, Ан-26

Система ВС	Количество дефектов	
	Ан-24	Ан-26
27 «Система управления»	1	0

Окончание таблицы 4

Система ВС	Количество дефектов	
	Ан-24	Ан-26
53 «Фюзеляж»	4	3
54 «Мотогондола»	16	22
55 «Оперение»	0	1
57 «Крыло»	68	50
71 «Силовая установка»	5	0
Всего	230	185

Следует отметить, что среднее количество дефектов, выявляемых методами НК при выполнении работ по программам исследования технического состояния, приходящееся на одно продление, для Ан-24 и Ан-26 почти одинаково и составляет 0,82 и 0,81 соответственно.

По данным табл. 4 построены гистограммы распределения дефектов по системам ВС (рис. 3), наглядно демонстрирующие, что эти распределения для обоих типов самолётов имеют сходный характер. При этом более половины дефектов приходится на систему 32 «Шасси» (соответственно 59,13 % и 58,92 % от всего количества дефектов, выявляемых на этих типах самолётов) и около трети дефектов – на систему 57 «Крыло». Таким образом, системы 32 «Шасси» и 57 «Крыло» являются самыми проблемными для обоих типов самолётов по количеству обнаруживаемых дефектов.

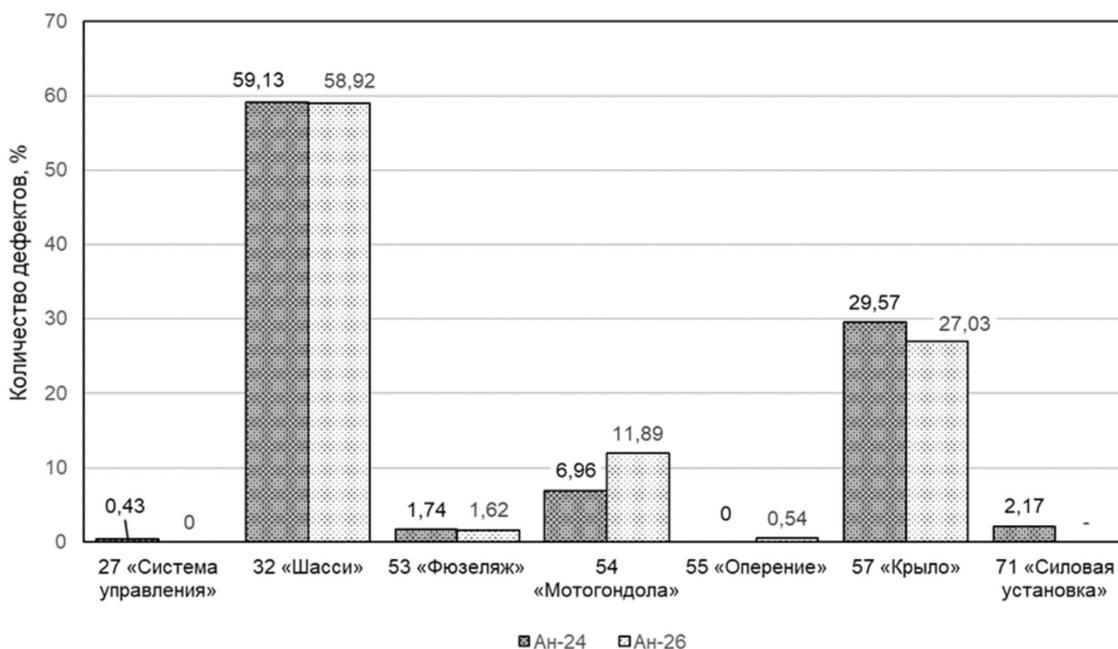


Рис. 3. Распределение дефектов по системам Ан-24, Ан-26

Анализ дефектов, содержащихся в актах оценки технического состояния парка Ан-24, Ан-26, проходивших поэтапное продление ресурсов и сроков службы в 2017–2023 гг., показал, что основными дефектами элементов конструкции планера, выявляемыми методами НК, являются трещины, коррозионные и механические повреждения.

Частоты выявления дефектов по КНК на элементах конструкции Ан-24, Ан-26 определялись по формуле:

$$m_i = \frac{n_i}{N_i},$$

где n_i – количество дефектов, выявленных по i -й КНК, N_i – общее количество проверок, выполненных по i -й КНК.

Для ранжирования дефектов по частоте их выявления на элементах конструкции ВС была принята следующая классификация:

- очень часто – при $m_i \geq 10^{-1}$;
- часто – при $10^{-1} > m_i \geq 10^{-2}$;
- редко – при $10^{-2} > m_i \geq 10^{-3}$;
- очень редко – при $m_i < 10^{-3}$, включая отдельные единичные дефекты.

На рис. 4 представлено распределение дефектов по частоте их выявления.

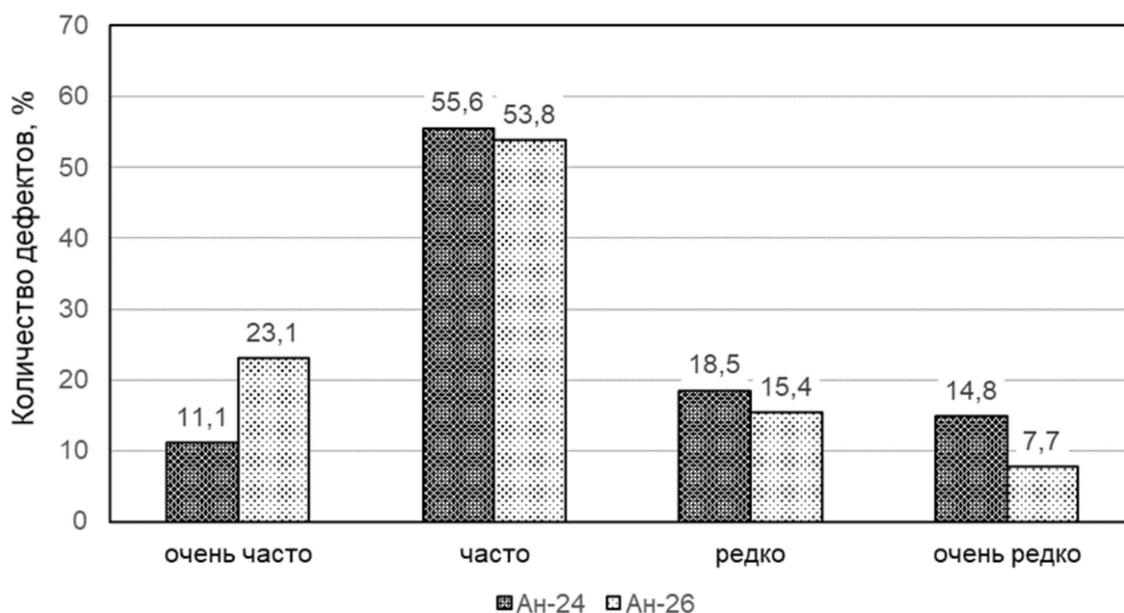


Рис. 4. Распределение дефектов Ан-24 и Ан-26 по частоте их выявления

Как видно из рис. 4, более 50 % дефектов, выявляемых средствами НК на самолётах Ан-24 и Ан-26, попадает в класс «часто», а 11,1 % для Ан-24 и более 23 % для Ан-26 – в класс «очень часто».

Более полное описание очень часто и часто встречающихся дефектов, с указанием метода контроля и КНК, а также частоты их выявления для Ан-24, Ан-26 представлено в табл. 5 и табл. 6.

Таблица 5

Дефекты Ан-24, выявляемые методами НК

Описание дефектов	КНК	Метод НК	m_i
32 «Шасси»			
Трещины, коррозия и забоины на болтах механизма управления поворотом ПОШ черт. 24-4201-273	24.32.20.281	МК	0,165 очень часто

Окончание таблицы 5

Описание дефектов	КНК	Метод НК	m_i
32 «Шасси»			
Трещины втулки составного болта черт. 24-4201-510	24.32.50.207	МК	0,156 очень часто
Трещины внутреннего кольца подшипников ШС-25 (ШС-25Ю) крепления гидроцилиндров уборки-выпуска ООШ	24.32.10.274	МК	0,099 часто
Трещины втулки черт. 24-4201-227	24.32.10.274	МК	0,083 часто
Трещины пальца рычага 24-4201-39-3 передней стойки шасси черт. 24-4201-147	24.32.20.195	МК	0,053 часто
Трещины болта черт. 24-4200-60 крепления цилиндра уборки-выпуска к траверсе ПОШ	24.32.10.224	МК	0,045 часто
Трещины на сварных швах верхних узлов 24-4101-123 и 24-4101-112А траверсы основных стоек шасси	24.32.10.186	МК	0,028 часто
Трещины на сварных швах верхних узлов 24-4101-123 и 24-4101-112А траверсы основных стоек шасси	32.10.15ЭУ	МК	0,027 часто
53 «Фюзеляж»			
Трещины подкладного листа по скуловой балке в зоне шпангоутов № 6-15 и № 22-38	53.30.07	РК	0,143 очень часто
54 «Мотогондола»			
Коррозия подкосов фермы двигателя черт. 24-6934-10-1/2	54.10.540У	УЗК	0,122 очень часто
57 «Крыло»			
Трещины, деформация болтов крепления лент стяжек к поясам лонжеронов (24-0117-3-1/-3/-5, 24-0117-3-2/-4/-6)	57.20.01	ВТ	0,087 часто
Утонение (коррозия) нижних панелей центроплана	24.57.10.189/ 24.57.10.285	УЗК	0,062 часто
Трещины, коррозия стойки фермы шасси	24.57.10.181	ВТ	0,037 часто
Трещины, коррозия обшивки верхней панели СЧК в районе крепления к профилю разъёма у нервюры № 7 и к стрингерам № 3 и № 7 между нервюрами № 7 и № 7а	57.30.525	ВТ	0,035 часто
Коррозия кронштейнов 24-3800-40 навески закрылка центроплана по 3 и 4 нервюрам	57.50.05	ВТ	0,026 часто
71 «Силовая установка»			
Трещины нижнего уха черт. 24-6401-58(60) заднего правого по полёту демпфера черт. 24-64-01-40/42 крепления двигателя	71.20.130	МК	0,022 часто

Примечание. Подробно о применяемом методе РК и выявляемых дефектах Ан-24 по КНК 53.30.07 изложено в [4].

Таблица 6

Дефекты Ан-26, выявляемые методами НК

Описание дефектов	КНК	Метод НК	m_i
32 «Шасси»			
Трещины, коррозия и забоины на болтах механизма управления поворотом ПОШ черт. 24-4201-273	24.32.20.281	МК	0,182 очень часто
Трещины втулки составного болта черт. 24-4201-510	24.32.50.207	МК	0,146 очень часто
Трещины на сварных швах верхних узлов 24-4101-123 и 24-4101-112А траверсы основных стоек шасси	32.10.15ЭУ	МК	0,093 часто
Трещины втулки черт. 24-4201-227	24.32.10.274	МК	0,091 часто
Трещины внутреннего кольца подшипников ШС-25 (ШС-25Ю) крепления гидроцилиндров уборки-выпуска ООШ	24.32.10.274	МК	0,084 часто
Трещины сварных швов штока и тяги подкоса основной опоры шасси	24.32.10.186	МК	0,066 часто
Трещины пальца рычага 24-4201-39-3 передней стойки шасси черт. 24-4201-147	24.32.20.195	МК	0,039 часто
54 «Мотогондола»			
Коррозия подкосов фермы двигателя черт. 24-6934-10-1/2	54.10.540У	УЗК	0,226 очень часто
57 «Крыло»			
Утонение (коррозия) нижних панелей центроплана	24.57.10.189/ 24.57.10.285	УЗК	0,16 очень часто
Трещины окантовки сливных кранов СЧК	26.57.10.244	ВТ	0,095 часто
Забоина на галтельном переходе 2-го лонжерона центроплана в зоне нервюры 6	57.10.33	ВТ	0,029 часто
Трещины обшивки и окантовки черт. 24-2400-9, 26-2400-19 и 26-2400-29 в зоне вырезов под ЭЦН-14	57.10.45	ВТ	0,029 часто

По результатам анализа установлено, что выявляемые методами НК дефекты в целом носят повторяющийся характер (рис. 4), своевременно обнаруживаются и устраняются в соответствии с действующей эксплуатационной документацией, либо вводится их дополнительный периодический контроль в эксплуатации.

На рис. 5 и рис. 6 в качестве примеров приведены фотографии одних из наиболее распространённых и очень часто повторяющихся дефектов, выявляемых МК методом контроля.



Рис. 5. Трещины болта черт. 24-4201-273 механизма управления поворотом передней опоры шасси

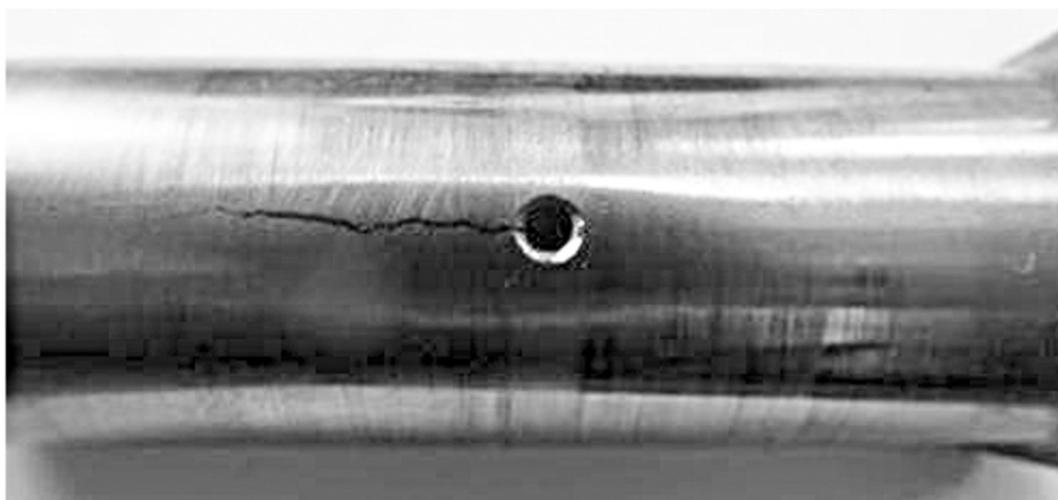


Рис. 6. Трещина втулки составного болта черт. 24-4201-510

Заключение

На основании проведённого обобщения работ по неразрушающему контролю силовых конструкций Ан-24 и Ан-26 при поэтапном продлении ресурсов и сроков установлено, что основными методами НК являются ВК и МК. При этом на ВК приходится до 75 % от всего объёма работ по НК. При проведении работ по НК среднее количество выявляемых дефектов составило 0,8 дефекта на одно продление для обоих типов самолётов.

Более половины количества дефектов Ан-24, Ан-26, выявляемых методами НК, приходится на систему 32 «Шасси» (соответственно 59,13 % и 58,92 % от всего количества дефектов, выявляемых на этих самолётах), а около трети дефектов – на систему 57 «Крыло». Учитывая количество обнаруживаемых дефектов при выполнении работ по НК, необходимо особое внимание уделять именно этим системам.

Выявляемые методами НК дефекты в целом носят часто повторяющийся характер (более 50 % дефектов), своевременно обнаруживаются и устраняются в соответствии с действующей эксплуатационной документацией, либо вводится дополнительный периодический контроль элементов конструкции с дефектами в эксплуатации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. МОС 25.571-1А. Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции. СЦ «Прочность», инв. № 123/16, 2015.
2. РЦ-АП25.571-1А. Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции. ФГУП «ЦАГИ». Жуковский, 2015. 106 с.
3. Иванов В. И., Коновалов Н. Н., Дергачев А. Н. Использование вероятностных методов для оценки эффективности неразрушающего контроля // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2014. Выпуск № 6(58). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>
4. Шустов А. Ю., Миколайчук Ю. А., Арепьев К. А. Особенности выполнения работ по рентгеновскому контролю в условиях технической эксплуатации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 45. С. 9–20.

References

1. MOS 25.571-1A. Assessment of permissible damage and fatigue strength of the structure. SC “Prochnost”, no. 123/1b, 2015 (In Russ.)
2. RC-AP25.571-1A. Assessment of permissible damage and fatigue strength of the structure. FGUP “TSAGI”. Zhukovsky, 2015, 106 p. (In Russ.)
3. Ivanov V. I., Kononov N. N., Dergachev A. N. Use of probabilistic methods to assess the effectiveness of non-destructive testing. *Internet magazine “Technosphere security technologies”*, 2014, no. 6(58). (In Russ.) Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb>
4. Shustov A. Yu., Mikolaychuk Yu. A., Arepyev K. A. Features of performing work on X-ray control of aircraft in the conditions of technical operation. *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2023, no. 45, pp. 9–20. (In Russ.)

Информация об авторах

Метелкин Евгений Сергеевич, заместитель начальника отдела – начальник лаборатории-эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, metelkin_es@gosniiga.ru

Миколайчук Юрий Александрович, начальник отдела-эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, mikol@gosniiga.ru

Семин Александр Викторович, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, semin@gosniiga.ru

Authors information

Metelkin Evgeny S., Deputy Head of the Department – Head of the Laboratory-Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, metelkin_es@gosniiga.ru

Mikolaychuk Yury A., Head of Department-Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, mikol@gosniiga.ru

Semin Aleksandr V., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, semin@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 10.12.2024; одобрена после рецензирования 11.02.2025; принята к публикации 18.02.2025.

The article was submitted 10.12.2024; approved after reviewing 11.02.2025; accepted for publication 18.02.2025.

Обзорная статья
УДК 629.735.064.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ЗАКУПОРИВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ ДАВЛЕНИЙ

О. Н. ЧЕРНЫХ, Н. Ф. МАРТИРОСЯН, Л. В. КОНЦЕВИЧ, К. А. ПОНОМАРЕВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В целях своевременного обнаружения и распознавания экипажем опасных ситуаций в полёте, возникающих в результате закупоривания приёмников воздушных давлений (ПВД) или пневмопроводов системы воздушных давлений (СВД), определены характерные признаки нарушения функции формирования и отображения воздушных параметров (ВП) для основных режимов и этапов полёта. Идентифицированы без детализации: функция формирования и отображения ВП; последствия нарушения функции формирования и отображения ВП в результате закупоривания входных каналов ПВД или пневмопроводов СВД; основные причины закупоривания входных каналов ПВД или пневмопроводов СВД. Представлены характерные признаки нарушения функции формирования и отображения ВП в результате закупоривания входных каналов ПВД или пневмопроводов СВД.

Ключевые слова: воздушный транспорт, пилотажно-навигационные приборы, бортовое оборудование, аэронавигационное оборудование, система воздушных давлений, воздушные параметры, приёмник воздушных давлений, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Черных О. Н., Мартиросян Н. Ф., Концевич Л. В., Пономарев К. А. Определение характерных признаков закупоривания системы воздушных давлений // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 45–54.

DETERMINING THE CHARACTERISTIC SIGNS OF AIR DATA SYSTEM BLOCKAGE

O. N. CHERNYKH, N. F. MARTIROSYAN, L. V. KONTSEVICH, K. A. PONOMAREV

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

Abstract. In order to ensure timely detection and recognition by the crew of hazardous situations in flight resulting from blockage of air pressure receivers or air data system pneumatic lines, characteristic signs of disruption of the function of forming and displaying air data parameters for the main phases of flight and flight mode configurations. The following are identified without details: the function of forming and displaying air data parameters; consequences of disruption of the function in forming and displaying air parameters as a result of blockage of the inlet channels of air pressure receivers or air data system pneumatic lines; main causes of blockage of the inlet channels of air pressure receivers or air data system pneumatic lines. Characteristic signs of disruption of the function of forming and displaying air parameters as a result of blockage of the inlet channels of air pressure receivers or air data system pneumatic lines are presented.

Keywords: air transport, flight and navigation instruments, avionics equipment, airborne equipment, air parameters, air pressure receiver, air data system, operation of aircraft equipment

For citation: Chernykh O. N., Martirosyan N. F., Kontsevich L. V., Ponomarev K. A. Determining the characteristic signs of air data system blockage. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 45–54. (In Russ.)

Введение

Бортовой комплекс радиоэлектронного оборудования навигации и посадки реализует функцию информационного обеспечения полёта. Составной частью информационного обеспечения является функция обеспечения экипажа информацией об условиях полёта, включающая функцию формирования и отображения ВП [1].

Нарушение функции формирования и отображения ВП по причине закупоривания пневмопроводов СВД или приёмных камер ПВД способно привести к авиационному происшествию [2].

Причинами закупоривания являются не только пережатие пневмопроводов СВД, но и внешние факторы, например, столкновение в полёте с предметами растительного, животного или искусственного происхождения, попадание влаги, пыли, пуха, грязи, песка, пепла, живых организмов, а также ошибки инженерно-технического и лётного состава.

Наиболее опасным внешним воздействием является обледенение, выражаемое постепенным образованием льда на внешней поверхности корпуса ПВД, результатом которого является полное или частичное закупоривание льдом приёмных камер и дренажных отверстий ПВД.

Постепенное образование льда на внешней поверхности ПВД приводит к искажению эпюры обтекания приёмника потоком воздуха и появлению дополнительной приобретаемой в процессе обледенения аэродинамической погрешности ПВД [3–5]. В результате происходит формирование и отображение недостоверной информации о ВП [6].

Для предотвращения образования льда ПВД обеспечиваются встроенным саморегулируемым контуром электрообогрева [1, 7]. Во избежание попадания влаги, пыли, грязи, песка, пуха и живых организмов в условиях стоянки воздушного судна (ВС) приёмники закрываются технологическими заглушками или чехлами.

Определение характерных признаков проявления нарушения функции формирования и отображения ВП при закупоривании каналов ПВД или СВД для различных режимов и этапов полёта при исправном состоянии бортовых средств формирования ВП проводилось на основе анализа:

- функций восприятия, передачи, измерения и преобразования давлений воздушного потока в единицы ВП [8];
- функций сравнивающего контроля и предупреждающей сигнализации о достижении и выходе ВП за пределы эксплуатационных ограничений [9];
- программ функционирования бортовых средств отображения и сигнализации о расхождении каналов формирования ВП;
- инструктивного материала в части особых ситуаций руководств по лётной и технической эксплуатации ВС;
- обобщения опыта эксплуатации и результатов проведения лётных и наземных испытаний ВС.

Признаки исправного состояния бортовых средств, реализующих функцию формирования и отображения ВП

В установленном режиме (УР) набора высоты барометрическая высота (Нбар) и число Маха (число М) растут, вертикальная барометрическая скорость (Vуб) положительна.

В УР горизонтального полёта (ГП) Нбар, приборная скорость (Vпр) и число М условно постоянны. Изменение параметров происходит в пределах допустимых значений. Вертикальная скорость принимает нулевое значение. В разгоне скорости растут, при торможении уменьшаются.

На этапе снижения Нбар и число М уменьшаются, Vуб отрицательна.

На всех этапах и режимах полёта сигнализации о расхождении каналов формирования ВП типа: «СРАВНИ СКОРОСТЬ» и «СРАВНИ ВЫСОТУ», о достижении и выходе параметров полёта за пределы эксплуатационных ограничений по скорости: «СКОРОСТЬ МАЛА» или «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА», сигнализация отклонения от заданной высоты (заданного эшелона) «ΔНзад»: «ПРОВЕРЬ ВЫСОТУ» или «ПРОВЕРЬ ЭШЕЛОН» работают нормально и исправно, т. е. «ШТАТНО».

Признаки закупоривания каналов статического давления при выполнении набора высоты

В УР набора высоты $V_{пр}$ и число M уменьшаются (рис. 1). Их показания занижены по отношению к показаниям исправного канала.

По достижении и превышении эксплуатационного ограничения происходит ложное и преждевременное срабатывание сигнализации «СКОРОСТЬ МАЛА».

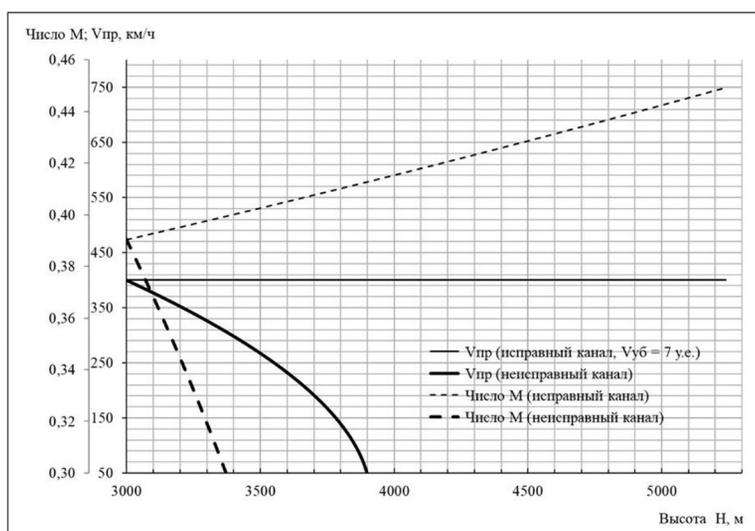


Рис. 1. Недостоверные значения $V_{пр}$ и числа M при закупоривании каналов статического давления на этапе набора высоты

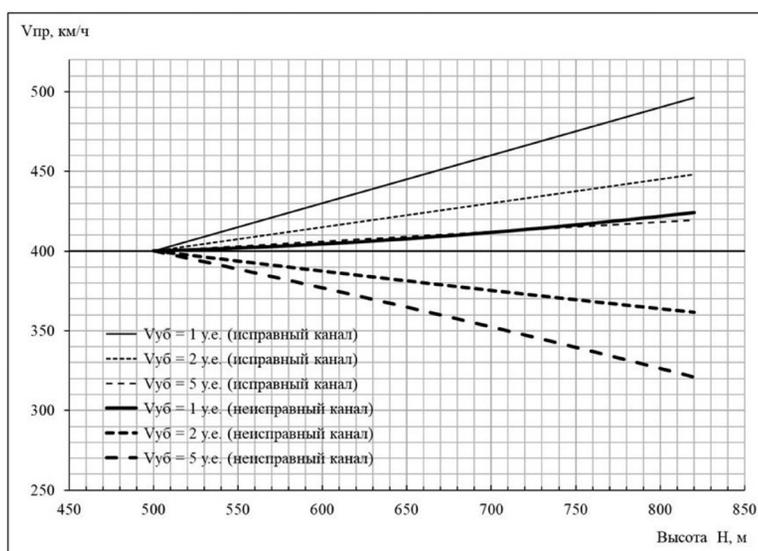


Рис. 2. Недостоверные значения $V_{пр}$ при закупоривании каналов статического давления в разгоне на этапе набора высоты

В режиме разгона на малой скорости подъёма значения $V_{пр}$ и числа M растут (рис. 2). С увеличением скорости подъёма значения $V_{пр}$ и числа M уменьшаются. Показания $V_{пр}$ и числа M занижены. В зависимости от скорости и начальной высоты подъёма работает сигнализация «СКОРОСТЬ МАЛА». В разгоне при условии достижения и выхода на эксплуатационные ограничения сигнализация «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА» не работает.

Признаки закупоривания каналов статического давления при выполнении горизонтального полёта

В УР ГП, при торможении или разгоне при условии незначительных отклонений от стабилизируемой высоты полёта и погрешности ПВД, накопленной в процессе частичного закупоривания, показания $V_{пр}$ и числа M мало отличаются от показаний исправного канала, т. е. близки к достоверным показаниям.

При условиях значительного отклонения от высоты, значительной накопленной погрешности ПВД и достижения превышения допустимых порогов срабатывают сигнализации о расхождении каналов формирования ВП и об отклонении от заданной высоты или заданного эшелона полёта $\Delta H_{зад}$.

Признаки закупоривания каналов статического давления при выполнении снижения

В УР, торможении или разгоне в снижении показания $V_{пр}$ и числа M увеличиваются и являются завышенными по отношению к показаниям исправного канала (рис. 3). По достижении предела эксплуатационного ограничения сработает сигнализация «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА».

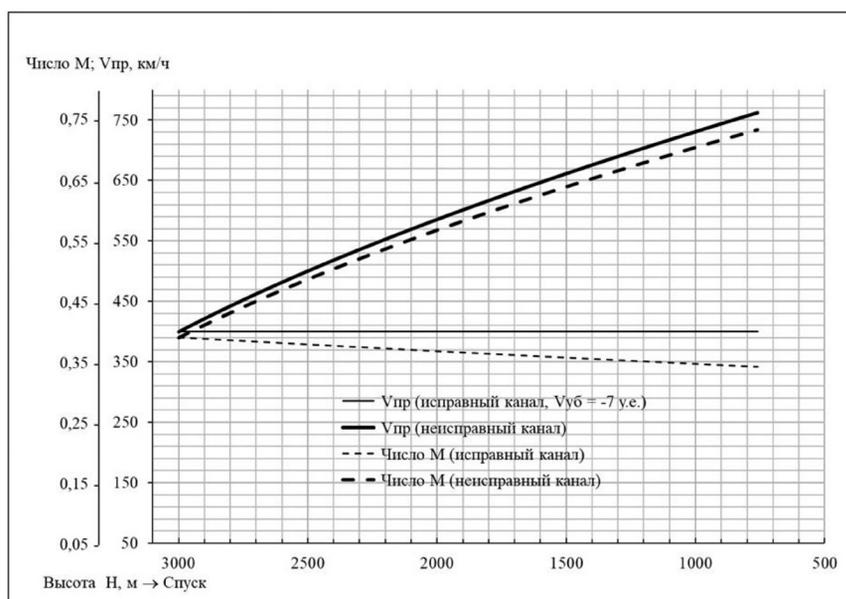


Рис. 3. Недостоверные значения $V_{пр}$ и числа M при закупоривании каналов статического давления на этапе снижения

Общие признаки закупоривания каналов статического давления

Нарушение функции формирования и отображения ВП в результате полного закупоривания каналов статического давления для всех этапов и режимов полёта характеризуется условно фиксированными («зависшими») на момент закупоривания показаниями $N_{бар}$ и нулевым значением $V_{уб}$ (табл. 1).

Таблица 1

Признаки закупоривания каналов статического давления и срабатывание сигнализации

ВП	Набор высоты	Горизонтальный полёт	Снижение
Показания средств отображения ВП			
Нбар	условно фиксированные («зависшие»)		
Ууб	нулевое, что при выполнении набора высоты или снижения не соответствует реальным условиям полёта		
Упр	занижены, снижаются	близки к достоверным	завышены, увеличиваются
Число М			
Срабатывание сигнализации о расхождении каналов формирования ВП			
Нбар	«СРАВНИ ВЫСОТУ»	по факту	«СРАВНИ ВЫСОТУ»
Упр	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»	по факту	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»
Срабатывание сигнализации о выходе на эксплуатационные ограничения			
Умин	«СКОРОСТЬ МАЛА»	по факту	–
Умакс	по факту	по факту	«СКОРОСТЬ ВЕЛИКА»
ΔНстаб	по факту		

Примечание: термин «по факту» обозначает срабатывание сигнализации при соблюдении условий достижения соответствующих пороговых значений.

На этапах набора высоты и снижения, а также при выполнении разгона или торможения, по достижении и превышении соответствующих порогов срабатывают сигнализации о расхождении каналов формирования Нбар и Упр. По отношению к исправному каналу показания Упр и числа М занижены при наборе высоты и завышены при снижении высоты.

Закупоривание каналов полного давления при выполнении набора высоты

В УР набора высоты показания Упр и числа М увеличиваются. По сравнению с исправным каналом их показания завышены (рис. 4). По достижении предела эксплуатационного ограничения срабатывает сигнализация «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА».

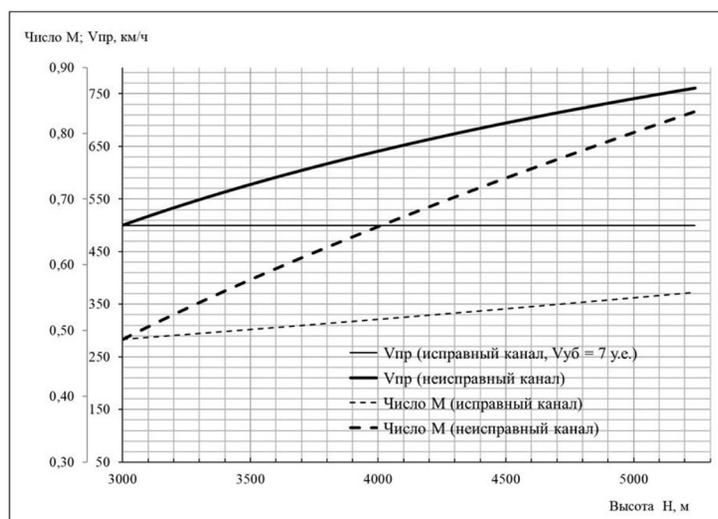


Рис. 4. Недостоверные значения Упр и числа М при закупоривании каналов полного давления на этапе набора высоты

В режиме разгона (рис. 5) при малой скороподъёмности показания $V_{пр}$ и числа M занижены. В условиях большей скороподъёмности показания $V_{пр}$ и числа M завышены. Сигнализация о расхождении по скорости работает по факту достижения порога. Сигнализация «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА» срабатывает с опозданием.

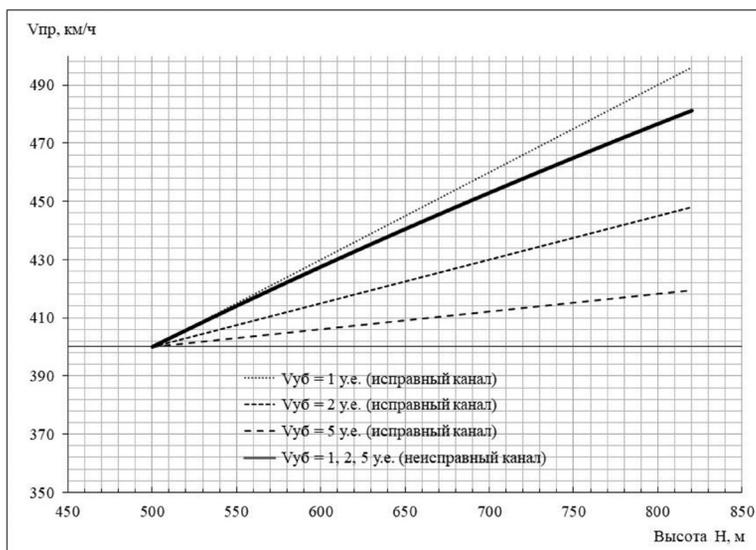


Рис. 5. Недостоверные значения $V_{пр}$ при закупоривании каналов полного давления в разгоне на этапе набора высоты

В режиме торможения показания $V_{пр}$ и числа M завышены и стремятся к достижению и выходу за эксплуатационные ограничения по максимально допустимой скорости «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА». Срабатывает сигнализация о расхождении по скорости «СРАВНИ СКОРОСТЬ». Сигнализация «СКОРОСТЬ МАЛА» не срабатывает.

Закупоривание каналов полного давления при выполнении горизонтального полёта

В условиях малых отклонений от высоты и накопленной в процессе закупоривания погрешности ПВД в УР показания $V_{пр}$ и число M близки к достоверным. Если отклонения от высоты и погрешность ПВД соизмеримы с порогами контроля, срабатывает сигнализация «СРАВНИ СКОРОСТЬ». Сигнализация отклонения от заданной высоты работает в штатном режиме.

В режиме разгона показания $V_{пр}$ и число M изменяются в зависимости от изменения высоты, по отношению к исправному каналу они занижены относительно фактических значений. Сигнализация «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА» не срабатывает, но срабатывает сигнализация о расхождении по скорости «СРАВНИ СКОРОСТЬ».

В режиме торможения показания $V_{пр}$ и числа M также изменяются в зависимости от высоты и по отношению к исправному каналу завышены. Работает сигнализация о расхождении каналов «СРАВНИ СКОРОСТЬ». Сигнализация «СКОРОСТЬ МАЛА» не работает.

Закупоривание каналов полного давления при выполнении снижения

При снижении (рис. 6) показания $V_{пр}$ и число M уменьшаются и стремятся к достижению нулевых значений. При торможении и малой вертикальной скорости снижения показания скоростей завышены, при увеличении скорости снижения – занижены. По достижении порога ложно сработает сигнализация «СКОРОСТЬ МАЛА».

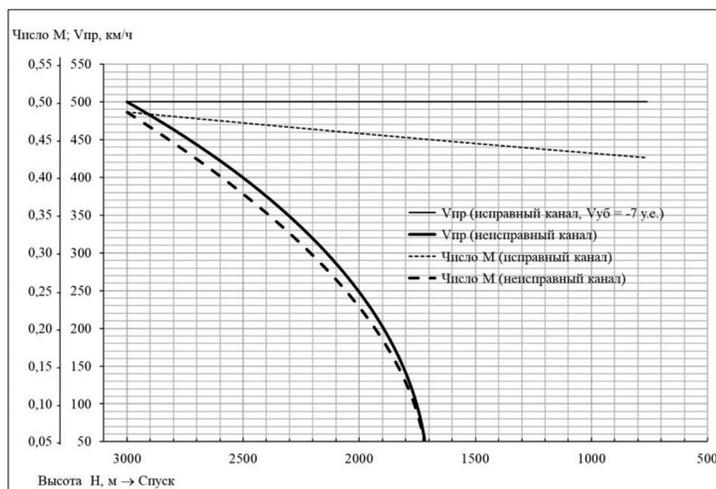


Рис. 6. Недостоверные значения $V_{пр}$ и числа M при закупоривании каналов полного давления на этапе снижения

Общие признаки закупоривания каналов полного давления

Для всех этапов и режимов полёта показания $N_{бар}$ и $V_{уб}$ являются достоверными и соответствуют показаниям исправного канала формирования ВП (табл. 2). Сигнализация отклонения от заданной высоты или эшелона полёта работает в штатном режиме по достижении соответствующего порога. В наборе высоты показания $V_{пр}$ и числа M растут, в снижении показания $V_{пр}$ и числа M уменьшаются.

Таблица 2

Признаки закупоривания каналов полного давления и срабатывание сигнализации

ВП	Этап и режим полёта								
	Набор высоты			Горизонтальный полёт			Снижение		
	УР	Торм.	Разгон	УР	Разгон	Торм.	УР	Разгон	Торм.
Показания средств отображения ВП									
$N_{бар}$	достоверные значения								
$V_{уб}$									
$V_{пр}$	завышены	занижены	близки к достоверным	занижены	завышены	занижены	завышены	занижены	завышены
Число M									
Срабатывание сигнализации о расхождении каналов формирования ВП									
$N_{бар}$	в штатном режиме								
$V_{пр}$	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»		по факту	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»					
Срабатывание сигнализации о выходе на эксплуатационные ограничения									
$V_{мин}$	-			-			«СКОРОСТЬ МАЛА»		-
$V_{макс}$	«СКОРОСТЬ ВЕЛИКА»		-			-			
$\Delta N_{зад}$	сигнализация срабатывает в штатном режиме								

Закупоривание каналов полного и статического давлений

На этапах набора высоты и снижения на всех режимах полёта работает сигнализация о расхождении высоты «СРАВНИ ВЫСОТУ». Сигнализация расхождения приборной скорости «СРАВНИ СКОРОСТЬ» работает при изменении скоростного режима, т. е. при торможении и разгоне.

На всех этапах полёта сигнализации «СКОРОСТЬ МАЛА» и «СКОРОСТЬ ВЕЛИКА» не работают.

В ГП сигнализация отклонения от заданной высоты (заданного эшелона) работает по факту превышения накопленной погрешностью ПВД допустимого порога.

Нарушение функции формирования ВП на всех этапах и скоростных режимах определяется и характеризуется условно фиксированными («зависшими») на момент полного закупоривания каналов ПВД или СВД показаниями $V_{пр}$, $N_{бар}$, числа M и отсутствием показаний $V_{уб}$ (табл. 3).

Таблица 3

Признаки закупоривания каналов полного и статического давления и срабатывание соответствующей сигнализации

ВП	Этап и режим полёта								
	Набор высоты			Горизонтальный полёт			Снижение		
	УР	Тормо- жение	Разгон	УР	Разгон	Тормо- жение	УР	Разгон	Тормо- жение
Показания средств отображения ВП									
Нбар	условно фиксированные («зависшие»)								
$V_{пр}$									
Число M									
$V_{уб}$	нулевое, что при выполнении набора высоты или снижения не соответствует реальным условиям полёта								
Срабатывание сигнализации о расхождении каналов формирования ВП									
Этап	Набор высоты			Горизонтальный полёт			Снижение		
Режим	УР	Разгон	Тормо- жение	УР	Разгон	Тормо- жение	УР	Разгон	Тормо- жение
$V_{пр}$	по факту	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»		по факту	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»		по факту	«СРАВНИ СКОРОСТЬ»	
Нбар	«СРАВНИ ВЫСОТУ»			по факту			«СРАВНИ ВЫСОТУ»		
Срабатывание сигнализации о выходе на эксплуатационные ограничения									
Этап	Набор высоты			Горизонтальный полёт			Снижение		
Режим	УР	Разгон	Тормо- жение	УР	Разгон	Тормо- жение	УР	Разгон	Тормо- жение
$V_{мин}$	сигнализация отсутствует								
$V_{макс}$	сигнализация отсутствует								
$\Delta N_{стаб}$	по факту								

Заключение

В результате проведённого определения характерных признаков закупоривания ПВД и пневмопроводов СВД можно отметить, что:

– закупоривание приёмных каналов ПВД или пережатие пневмопроводов СВД приводит к искажённым и недостоверным показаниям ВП или их условно фиксированному значению («зависанию»);

– закупоривание каналов полного давления ПВД или СВД не отражается на формировании и отображении барометрической высоты и вертикальной скорости;

– распознавание экипажем нарушения функции формирования ВП может осуществляться по характерным признакам: условно фиксированному значению («зависанию») показаний ВП, срабатыванию сигнализаций о расхождении каналов формирования ВП, заниженным или завышенным значениям скорости и/или высоты, отсутствию показаний вертикальной скорости в наборе высоты или снижении, ложным срабатываниям сигнализации о достижении эксплуатационных ограничений.

Представленные характерные признаки закупоривания каналов ПВД и СВД целесообразно использовать для дальнейшего изучения возможных нарушений функции обеспечения экипажа информацией об условиях полёта.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Бабич О. А. и др. Авиационные приборы и навигационные системы / Под общ. ред. О. А. Бабича. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1981. 648 с.
2. Шоманков Д. А. Анализ влияния неисправностей аэрометрических приборов и приёмников воздушных давлений на безопасность полётов // *Crede Experto*: транспорт, общество, образование, язык. 2018. № 4(19). С. 1–15.
3. Lv X., Guan J., Wang S., Zhang H., Xue S., Tang Q., He Y. Pitot tube-based icing detection: Effect of ice blocking on pressure. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2020, 1902053, 8 p. <https://doi.org/10.1155/2020/1902053>
4. Ayra E. S., Sanz Á. R., Valdés R. A., Comendador F. G., Cano J. Detection and warning of ice crystals clogging pitot probes from total air temperature anomalies. *Aerospace Science and Technology*, 2020, vol. 102, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105874>
5. Jackson David A. Concept of a Pitot tube able to detect blockage by ice, volcanic ash, sand and insects, and to clear the tube. *Photonic Sensors*, 2015, vol. 5, no. 4, pp. 298–303. <https://doi.org/10.1007/s13320-015-0272-x>
6. Sklenář F., Matějů J. Indicated airspeed error due to gradual blocking of pitot tube with drain hole. *Aviation*, 2022, 26(1), pp. 64–71. <https://doi.org/10.3846/aviation.2022.15963>
7. Jäckel R., Tapia F., Gutiérrez-Urueta G., Jiménez C. M. Design of an aeronautic pitot probe with a redundant heating system incorporating phase change materials. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2020, vol. 76, 101817. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101817>
8. Буков В. Н., Бронников А. М., Сельвесюк Н. И. Модель распространения отказов для канала высотно-скоростных параметров вертолёта // *Проблемы безопасности полётов*. 2010. № 10. С. 39–51.
9. Freeman P., Seiler P., Balas G. J. Robust fault detection for commercial transport air data probes. *IFAC Proceedings Volumes*, 2011, vol. 44, no. 1, pp. 13723–13728. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03750>

References

1. Babich O. A. et al. *Aircraft instruments and navigation systems*. Ed. O. A. Babich. VVIA named after prof. Zhukovsky, 1981, 646 p. (In Russ.)
2. Shomankov D. A. Analysis of the influence of aerometric instruments and pitot – static probes faults on flight safety. *Crede Experto: transport, society, education, language*, 2018, no. 4(19), pp. 1–15. (In Russ.)
3. Lv X., Guan J., Wang S., Zhang H., Xue S., Tang Q., He Y. Pitot tube-based icing detection: Effect of ice blocking on pressure. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2020, 1902053, 8 p. <https://doi.org/10.1155/2020/1902053>
4. Ayra E. S., Sanz Á. R., Valdés R. A., Comendador F. G., Cano J. Detection and warning of ice crystals clogging pitot probes from total air temperature anomalies. *Aerospace Science and Technology*, 2020, vol. 102, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105874>
5. Jackson David A. Concept of a Pitot tube able to detect blockage by ice, volcanic ash, sand and insects, and to clear the tube. *Photonic Sensors*, 2015, vol. 5, no. 4, pp. 298–303. <https://doi.org/10.1007/s13320-015-0272-x>
6. Sklenář F., Matějů J. Indicated airspeed error due to gradual blocking of pitot tube with drain hole. *Aviation*, 2022, 26(1), pp. 64–71. <https://doi.org/10.3846/aviation.2022.15963>
7. Jäckel R., Tapia F., Gutiérrez-Urueta G., Jiménez C. M. Design of an aeronautic pitot probe with a redundant heating system incorporating phase change materials. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2020, vol. 76, 101817. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101817>
8. Bukov V. N., Bronnikov A. M., Selvesyuk N. I. Failure spread ability model for altitude-velocity channel of helicopter. *Problems of flight safety*, 2010, no. 10, pp. 39–51. (In Russ.)
9. Freeman P., Seiler P., Balas G. J. Robust fault detection for commercial transport air data probes. *IFAC Proceedings Volumes*, 2011, vol. 44, no. 1, pp. 13723–13728. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03750>

Информация об авторах

Черных Олег Николаевич, ведущий инженер-эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, ON_Chernikh@gosniiga.ru

Мартиросян Нина Федоровна, ведущий инженер-эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, NF_Martirosyan@gosniiga.ru

Концевич Леся Валериевна, исполняющий обязанности заместителя начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, LV_Kontsevich@gosniiga.ru

Пonomarev Кирилл Алексеевич, исполняющий обязанности начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Ponomarev_KA@gosniiga.ru

Authors information

Chernykh Oleg N., Leading Engineer-Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, ON_Chernikh@gosniiga.ru

Martirosyan Nina F., Leading Engineer-Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, NF_Martirosyan@gosniiga.ru

Kontsevich Lesya V., Acting Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, LV_Kontsevich@gosniiga.ru

Ponomarev Kirill A., Acting Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Ponomarev_KA@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 28.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted 02.12.2024; approved after reviewing 28.01.2025; accepted for publication 05.02.2025.

Научная статья

УДК 519.87:629.735.017.1

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЁТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С УЧЁТОМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ

Ю. И. САМУЛЕНКОВ, А. Д. ГРУЗД, И. С. ТОИРОВ

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Эффективность деятельности любой авиационной организации нередко оценивается противоположными критериями: результативностью её работы и безопасностью полётов. В статье описан подход к построению имитационной математической модели системы поддержания лётной годности (ПЛГ) воздушных судов (ВС) с учётом управления безопасностью полётов авиационной организации. Уровень обеспечения безопасности полётов гражданских ВС во многом определяется эффективностью действующей системы обеспечения и поддержания их лётной годности (ЛГ). При оценке рисков в области безопасности полётов используются, как правило, вероятностно-статистические методы. Существует более сорока методов оценки неопределённостей и рисков возникновения случайных событий. Авторами выполнен анализ основных методов оценки рисков случайных событий в авиационных организациях. Предложены моделирующий алгоритм и математическая модель системы ПЛГ ВС с учётом безопасности полётов, и определены основные расчётные зависимости предложенной модели.

Ключевые слова: безопасность полётов, поддержание лётной годности, техническое обслуживание, имитационное моделирование, марковские процессы, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Самуленков Ю. И., Грузд А. Д., Тоиров И. С. Подход к построению математической модели системы поддержания лётной годности воздушных судов с учётом безопасности полётов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 55–66.

APPROACH TO CONSTRUCTING A MATHEMATICAL MODEL OF THE AIRCRAFT AIRWORTHINESS MAINTENANCE SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT FLIGHT SAFETY

YU. I. SAMULENKOV, A. D. GRUZD, I. S. TOIROV

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The efficiency of any aviation organization is often determined by opposite criteria: the effectiveness of its work and flight safety. The article proposes an approach to constructing a simulation mathematical model of the aircraft airworthiness maintenance system (AMS) taking into account the flight safety management of the aviation organization. It should be noted that the level of flight safety of civil aircraft is largely determined by the efficiency of the current system for ensuring and maintaining their airworthiness. When assessing flight safety risks, probabilistic statistical methods are usually used. There are more than forty methods for assessing uncertainties and risks of random events. The analysis of the main methods for assessing the risks of random events in aviation organizations is performed, a modeling algorithm and a mathematical

model of the AMS system taking into account flight safety are proposed, and the main calculation dependencies of the proposed model are determined.

Keywords: flight safety, continuing airworthiness, maintenance, simulation modeling, Markov processes, operation of aircraft

For citation: Samulenkov Yu. I., Gruzd A. D., Toirov I. S. Approach to constructing a mathematical model of the aircraft airworthiness maintenance system taking into account flight safety. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 55–66. (In Russ.)

Введение

Поддержание и обеспечение эксплуатационной безопасности ВС авиационными структурами воздушного транспорта является сложной, слабо формализуемой, многокритериальной задачей. Деятельность международных и национальных специализированных организаций направлена на учёт, классификацию, категоризацию процедур, факторов и рисков, создание методов и методологии нахождения оптимальных решений и в конечном итоге – на разработку предупреждающих и корректирующих воздействий на систему эксплуатации и ПЛГ ВС.

Для государств – членов ИКАО обязательно создание ведомства гражданской авиации (ВГА) по вопросам ЛГ^{1,2}, инженерного департамента ВГА. В отечественной практике функции ВГА выполняет Росавиация. Для выполнения указанных функций в её состав входят: Управление сертификации авиационной техники (УСАТ), которое выполняет сертификацию авиационной техники (АТ) и организаций – разработчиков и изготовителей АТ; Управление поддержания лётной годности (УПЛГ), которое сертифицирует эксплуатантов, организации по техническому обслуживанию (ТО) ВС (ведёт их учёт), доводит до авиационных организаций информацию по управлению ПЛГ ВС, организует разработку директив лётной годности (ДЛГ) по типам ВС, учитывает перечни бюллетеней по типам ВС и авиадвигателям, выдаёт и учитывает сертификаты лётной годности (СЛГ) экземпляров гражданских ВС, формирует перечень центров по сертификации, привлекаемых Росавиацией для работы по оценке соответствия экземпляров ВС.

Процедуры ПЛГ ВС с учётом БП

Система ПЛГ ВС на каждом этапе развития гражданской авиации реализуется в соответствии с положениями актуальной нормативной и технической документации, уровнем развития науки и техники.

В Приложениях к Конвенции о международной гражданской авиации^{3,4} определены процедуры сертификации и ПЛГ ВС, управление БП, в том числе для беспилотных авиационных систем (БАС).

Под ПЛГ понимают совокупность процессов, обеспечивающих соответствие БАС и (или) их элементов, гражданских ВС, авиационных двигателей (АвД), воздушных винтов (ВВ) требованиям к ЛГ и к охране окружающей среды (ФАП 21⁵). В целях ПЛГ гражданского ВС, АвД и ВВ при их эксплуатации осуществляется наземное обслуживание и ТО. Однако этим процедуры ПЛГ не ограничиваются. Федеральные авиационные правила (ФАП) устанавливают

¹ Doc 9760 ИКАО. Руководство по лётной годности. Изд. 4-е.

² Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. Лётная годности воздушных судов. 13-е изд.

³ Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолёты. 12-е изд.

⁴ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полётов. Изд. 2-е.

⁵ ФАП 21. Федеральные авиационные правила «Сертификация АТ, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21». Утверждены приказом Минтранса России от 17 июня 2019 года № 184.

организацию и подходы к сертификации АТ, процедуры контроля качества и управления БП, требования к структуре авиационной организации и перечень основных работ по ТО, количество цехов, отделов и подразделений организаций по ТО ВС (ФАП 145⁶, ФАП 519⁷).

Вместе с тем решение задач ПЛГ ВС требует научно обоснованного подхода, в том числе детального анализа факторов, влияющих на процессы и процедуры ПЛГ АТ (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, влияющие на ПЛГ ВС (БАС, авиационные двигатели, воздушные винты):
 МТО – материально-техническое обеспечение, ОТО – оперативное техническое обслуживание,
 ПТО – периодическое техническое обслуживание, РЭ – руководство по эксплуатации,
 ИПТО – информация для планирования технического обслуживания, РОТО – руководство по организации технического обслуживания

В Воздушном кодексе Российской Федерации в 2021 году появилась новая статья, в которой раскрывается понятие «Управление поддержанием лётной годности» и указывается, что этот комплекс мер осуществляется в соответствии с ФАП. Вместе с тем в ФАП 145 и ФАП 519 нет чётких указаний и требований к организации и проведению такой процедуры.

⁶ ФАП 145. Федеральные авиационные правила «Техническое обслуживание подлежащих обязательной сертификации беспилотных авиационных систем и (или) их элементов, гражданских воздушных судов, авиационных двигателей, воздушных винтов, за исключением лёгких, сверхлёгких гражданских воздушных судов, не осуществляющих коммерческих воздушных перевозок и авиационных работ. Часть 145». Утверждены приказом Минтранса России от 18.10.2024 № 367.

⁷ ФАП 519. Федеральные авиационные правила «Требования к лётной годности гражданских воздушных судов. Форма и порядок оформления сертификата лётной годности гражданского воздушного судна. Порядок приостановления действия и аннулирования сертификата лётной годности гражданского воздушного судна». Утверждены приказом Минтранса России от 27 ноября 2020 г. № 519.

Порядок сертификации АТ, организаций разработчиков и изготовителей АТ устанавливается ФАП 21, эксплуатантов и организаций по ТО ВС, поддержания ЛГ устанавливается ФАП 145 и ФАП 519 в зависимости от максимальной взлётной массы ВС и целей их использования (коммерческие воздушные перевозки, авиационные работы, полёты авиации общего назначения).

Моделирование исследуемой системы ПЛГ ВС с учётом БП

В настоящее время определение показателей эффективности ПЛГ ВС и БП заключается, прежде всего, в оценке и управлении вероятностными параметрами авиационной системы⁸, которые рассматриваются как вероятности перехода из состояния в состояние и оценки риска возникновения авиационных событий.

Концепция оценки рисков возникновения событий в общем случае включает в себя алеаторную, эпистемическую, лингвистическую и другие виды неопределённостей.

В ГОСТ Р 58771-2019⁹ выделяется более сорока законов возникновения случайных событий. К числу основных методов моделирования авиационных событий и состояний системы ПЛГ ВС относится марковский анализ и метод Монте-Карло.

Марковский анализ применим к процессам без последствия, когда любая сложная иерархическая система может быть представлена в виде дискретных состояний и переходов между ними, а текущее состояние системы не зависит от её состояния в прошлом [1–4]. При моделировании сложных эпоцентрических систем вероятностно-статистическими методами делается допущение о мгновенности переходов из состояния в состояние с определёнными интенсивностями и вероятностями. Один из вопросов, возникающих при моделировании с использованием марковских процессов – это накладываемые ограничения и допущения.

Моделирование сложных организационно-технических систем, в функционировании которых присутствуют случайные факторы, как правило, производится вероятностно-статистическими методами, в том числе с использованием метода Монте-Карло [5, 6]. Методу Монте-Карло не присуща высокая точность, он эффективен в случае, если достаточно решения задачи с точностью результата 5–10 %.

Зачастую в организациях по ТО ВС риски возникновения авиационных событий оцениваются матрицей рисков (табл. 1).

Таблица 1

Матрица рисков или тепловая карта

Вероятность (частота) наступления события	Серьёзность – характеристика возможных неблагоприятных воздействий				
	А	В	С	Д	Е
	Катастрофическая	Аварийная ситуация	Сложная ситуация	Усложнение условий полёта	Предпосылки к усложнённым условиям полёта
5 – часто	5А	5В	5С	5D	5Е-А, В
4 – периодически	4А	4В	4С	4D	4Е-А, В
3 – редко	3А	3В	3С	3D	3Е-А, В, С
2 – маловероятно	2А	2В	2С	2D	2Е-А, В, С
1 – ничтожная	1А	1В	1С	1D	1Е-А, В, С

⁸ Авиационная система – ВС, его экипаж, средства и персонал обеспечения полётов, организации воздушного движения, ТО и ремонта АТ (ГОСТ Р 56079-2014. Приложение Б).

⁹ ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска.

В табл. 1 обозначения в столбце Е означают события с малозначительными последствиями:

- события 5Е-А, 4Е-А, 3Е-А, 2Е-А, 1Е-А – требуется специальное ТО ВС, отмена или задержка вылета, повторный заход на посадку и т. п.;
- события 5Е-В, 4Е-В, 3Е-В, 2Е-В, 1Е-В включают превышение ограничений эксплуатации (перегрузка, превышение скорости и т. д.), повторяющиеся отказы АТ, отказы, связанные со срабатыванием сигнализации, но не повлёкшие отклонений от задания и т. п.;
- в события 3Е-С, 2Е-С, 1Е-С входят отказы АТ, связанные с ложным срабатыванием сигнализации или включённые в перечень минимального оборудования и т. п.

К ограничениям данного метода следует отнести сложность формализации. Метод «матрица рисков или тепловая карта» имеет тенденцию занижать риски с высокой степенью последствий (авиационные происшествия) и низкой вероятностью возникновения (крайне маловероятные события).

Для оценки эффективности системы ТО ВС производится выбор показателей, характеризующих процесс ТО: трудоёмкость (удельная трудоёмкость) ТО, продолжительность (удельная продолжительность) ТО, исправность парка ВС^{10, 11}.

При статистических подходах к построению модели системы ТО ВС производится агрегирование моделируемой системы и подсистемы, описывающей детерминированные и вероятностные входные параметры. В этом случае имитация стохастических входных параметров может быть выполнена при помощи генератора случайных чисел [3, 6].

Широкое распространение при исследовании характеристик системы ТО ВС получил марковский процесс с дискретными состояниями системы и непрерывным временем переходов из состояния в состояние системы [7]. Модель системы ПЛГ ВС с учётом системы управления безопасностью полётов (СУБП) представляется следующим образом: задаются состояния авиационной организации и ВС, находятся времена пребывания в состояниях со своими функциями распределения, что позволяет оценивать эффективность режимов системы (исправность, удельные продолжительность и трудоёмкость ТО, стоимость ТО. Окончание нахождения в одном из состояний системы характеризуется мгновенным переходом в иное состояние, причём переход в другое состояние можно описать определённой интенсивностью и вероятностью перехода [7]. Таким образом, осуществляется процесс моделирования системы ПЛГ ВС с учётом СУБП в целом. При этом статистический анализ ПЛГ с учётом СУБП выполняется в два этапа. На первом этапе исследуются состояния процесса, а на втором – вложенная цепь, которая образует процесс «моментов перехода». Считается, что вложенная цепь обладает марковскими свойствами, а на состояниях развиваются временные процессы, близкие по структуре к процессам восстановления [8].

Построение моделирующего алгоритма системы ПЛГ ВС с учётом БП

Факторы, определяющие ЛГ (проектирование, изготовление, сертификация АТ) и влияющие на неё (эксплуатация, ТО АТ, квалификация авиационного персонала, ожидаемые условия эксплуатации (ОУЭ)) оказывают решающее воздействие на вероятности нахождения системы ПЛГ ВС в различных состояниях.

Обобщённая блок-схема модели представлена на рис. 2. Данная модель имеет блочную структуру, состоящую из 5 взаимосвязанных субмоделей (блоков).

Классический подход при планировании численного эксперимента предусматривает разработку концепции создаваемой модели, описание математического аппарата и, наконец, создание прикладного программного обеспечения [9].

¹⁰ ГОСТ Р 53863-2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения.

¹¹ ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

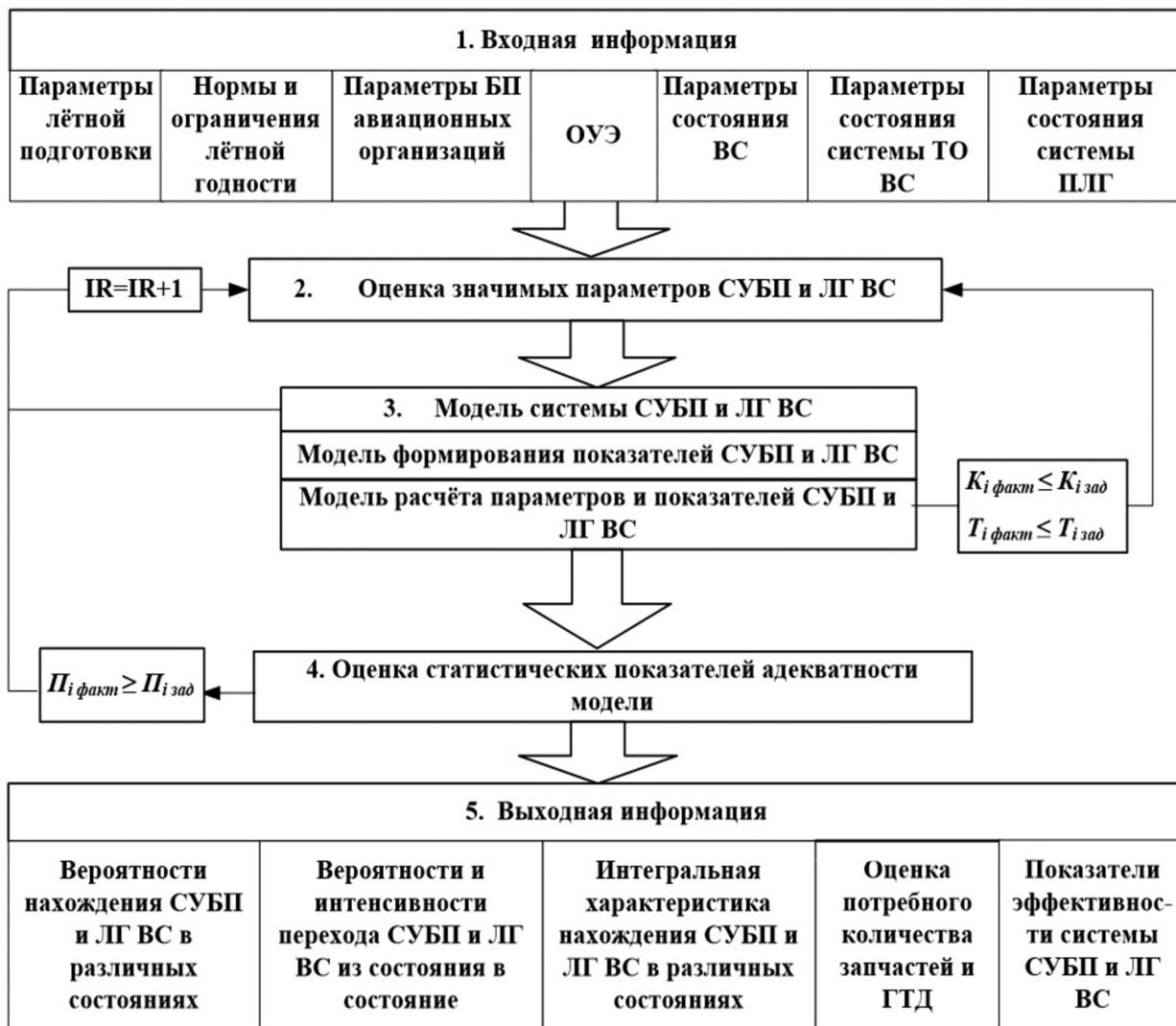


Рис. 2. Схема моделирующего алгоритма исследуемой СУБП и ПЛГ парка ВС: ГТД – газотурбинный двигатель; $\Pi_{i \text{ факт}}$ и $\Pi_{i \text{ зад}}$ – фактические и заданные показатели адекватности модели; $K_{i \text{ факт}}$ и $K_{i \text{ зад}}$ – фактические и заданные показатели СУБП, $T_{i \text{ факт}}$ и $T_{i \text{ зад}}$ – фактические и заданные показатели ЛГ ВС

Разработка топологической модели ПЛГ ВС с учётом БП

При моделировании сложных эргодических авиационных систем вероятностно-статистическими методами, как правило, разрабатывается агрегатная модель в виде графа состояний, в которых может находиться исследуемая структура в процессе функционирования (рис. 3) [3, 5, 7]. Такой подход позволяет установить взаимосвязи в системе, проследить в динамике последовательность и частоту попадания элементов, в нашем случае ВС, в выбранные состояния.

При рассмотрении влияния как можно большего количества вероятностных параметров на функционирование рассматриваемой системы удаётся добиться достаточной адекватности создаваемой модели.

Обозначим $a_{i,j}$ интенсивности, а $p_{i,j}$ – соответственно вероятности перехода из одного состояния (рис. 3) в другое. Переменные $P_i(t)$, $P_j(t)$, t_i и t_j означают вероятности и время нахождения исследуемой системы в состояниях i и j . Интенсивность перехода $a_{i,j}$ характеризует с какой

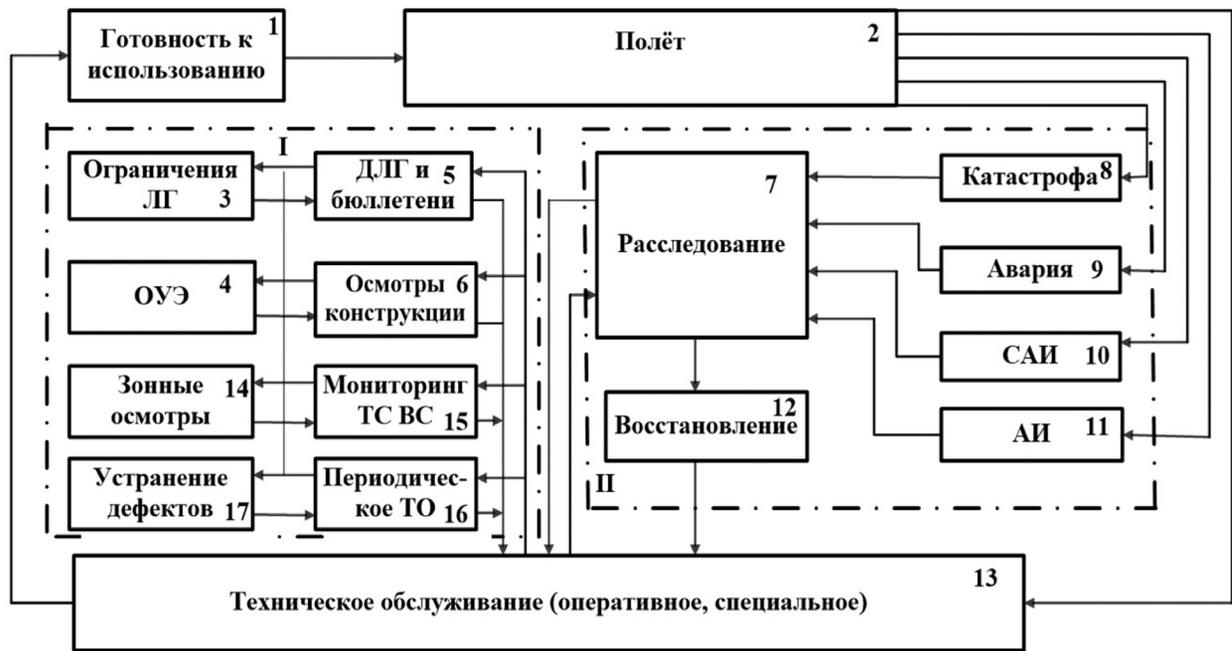


Рис. 3. Топологическая модель (граф состояний) системы ПЛГ ВС авиационной организации с учётом СУБП: I – блок ПЛГ ВС, II – блок СУБП, ТС ВС – техническое состояние ВС, САИ – серьёзный авиационный инцидент, АИ – авиационный инцидент

скоростью, а вероятность перехода p_{ij} – с какой вероятностью осуществляется переход из одного состояния в другое:

$$\begin{cases} a_{i,j} = \frac{1}{t_i}; \\ a_{j,i} = \frac{1}{t_j}; \end{cases}$$

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{j,i} p_{j,i} P_j(t) - \sum_{i=1}^n a_{i,j} p_{i,j} P_i(t) \quad (i, j=1, 2, \dots, n).$$

Для элементарных потоков событий, в том числе отказов и повреждений АТ, в многокомпонентных технических системах время нахождения в состояниях процесса технической эксплуатации (ПТЭ) и время перехода t между событиями распределяется, как правило, по экспоненциальному закону [7].

Стохастические величины ПТЭ (среднее время нахождения в состоянии, параметр потока отказов, налёт на отказ и повреждение и др.) для случайного ординарного потока без последствия уже не будут распределены по экспоненциальному закону. Вид этого распределения будет зависеть от времени наступления первого события и от переменной интенсивности потока $\lambda(t)$.

При решении узкого круга исследовательских задач (например, при наложении ограничений на объём и периодичность ТО ВС) можно сделать вполне правомерное допущение о сравнительно медленном изменении функции $\lambda(t)$, и тогда можно говорить об экспоненциальной зависимости для распределения времени в заданном диапазоне.

Для построения адекватной математической модели ПЛГ ВС авиационной организации с учётом СУБП необходимо знать законы распределения случайных величин (математического ожидания времени полёта, продолжительности и трудоёмкости периодического ТО, вероятностей попадания системы в различные состояния авиационных событий). Вероятности перехода из состояния «полёт» ($i=2$) в состояния «катастрофа» ($j=8$), «авария» ($j=9$), САИ ($j=10$), АИ ($j=11$)

для самолётов транспортной категории можно задать из норм лётной годности¹², либо воспользоваться алгоритмом, предложенным в [13]. В этом случае вероятности $p_{2.8} \leq 10^{-9}$, $p_{2.9} \leq 10^{-7}$, $p_{2.10} \leq 10^{-5}$, $p_{2.11} \leq 10^{-3}$.

К вероятностным параметрам исследуемой системы относятся количество самолётов авиационного парка компании, суточный налёт на одно ВС, продолжительность типового полёта, режимы ТО ВС, квалификация инженерно-технического персонала, показатели надёжности АТ. С использованием этих параметров на основе комплексного применения описанных выше математических методов моделирования возможно проектирование системы ТО ВС от концепции её создания до создания математической модели исследуемой сложной многокомпонентной системы [14].

Для реализации функционирования имитационной модели ПЛГ ВС с учётом СУБП, построенной на базе вышеописанной математической, в качестве источников информации необходимо использовать статистические данные эксплуатантов авиационной техники, организаций по ТО ВС.

Основные расчётные зависимости вероятностей и интенсивностей перехода представлены в табл. 2; индексы, указывающие состояния, показаны на рис. 3 (цифры в блоках, где состояние «1» – готовность к использованию, состояние «2» – полёт, состояние «3» - ограничения ЛГ и т. д.).

Таблица 2

Основные расчётные зависимости вероятностей и интенсивностей перехода

Вероятности перехода	Интенсивности перехода
$p_{2.8} \leq 10^{-9}$	$a_{2.8} = 1/t_{и}$
$p_{2.9} \leq 10^{-7}$	$a_{2.9} = 1/t_{и}$
$p_{2.10} \leq 10^{-5}$	$a_{2.10} = 1/t_{и}$
$p_{2.11} \leq 10^{-3}$	$a_{2.11} = 1/t_{и}$
$p_{2.13} = 1 - p_{2.8} - p_{2.9} - p_{2.10} - p_{2.11}$	$a_{2.13} = 1/t_{и}$
$p_{1.2} = 1$	$a_{1.2} = 1/t_{срс}$
$p_{13.16} = 1 - \exp(-t_{ОТО} / \tau_{ПТО})$	$a_{13.16} = 1/t_{ОТО}$
$p_{13.1} = 1 - p_{13.5} - p_{13.6} - p_{13.7} - p_{13.15} - p_{13.16}$	$a_{13.1} = 1/t_{ОТО}$

В табл. 2 элементы формул означают [7]: $t_{и}$ – время использования ВС по назначению (полёт), ч; $t_{срс}$ – среднее время нахождения в готовности к использованию ВС по назначению (полёту), ч; $t_{ОТО}$ – математическое ожидание технологической продолжительности на оперативном ТО; $\tau_{ПТО}$ – трудозатраты на выполнение периодического ТОЗ, чел.·ч.

Прежде чем приступить к построению модели для выявления законов распределения анализируются наблюдаемые значения, в частности, продолжительность полёта среднемагистральных самолётов отечественных авиакомпаний (рис. 4). Данные получены из открытых источников за второе полугодие 2023 г., объём выборки составил >1200 событий.

Диаграмма рис. 4 визуально скошена вправо, поэтому использовать нормальное или логарифмически нормальное распределения не вполне разумно. Более подходящим в данном

¹² Приказ Росавиации от 27.12.2022 № 961-П. Об утверждении Норм лётной годности самолётов транспортной категории (НЛГ 25).

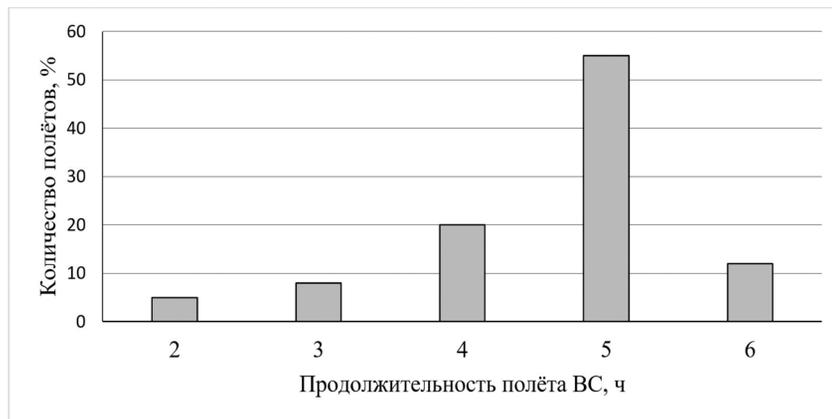


Рис. 4. Распределение средней продолжительности полёта магистральных самолётов российских авиакомпаний

случае является β -распределение случайной величины x , описываемое функцией с параметрами $(\alpha, \beta) > 0$:

$$f(\alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, \quad (1)$$

где $B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}$ – бета-функция Эйлера,

$$\Gamma(z) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!n^z}{z(z+1) \cdot \dots \cdot (z+n)},$$

где n – натуральное число; z – комплексное число, для натурального аргумента гамма-функция $\Gamma(n) = (n-1)!$.

Отношение параметров α, β играет важную роль, с его увеличением скошенность распределения стремится к правой границе и наоборот. Но этого недостаточно для генерации случайных чисел в определённом диапазоне, поэтому необходимы дальнейшие преобразования (1) с учётом ограниченной области определения $f(\alpha, \beta)$ с границами (A, B) к виду:

$$f(\alpha, \beta, A, B) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \frac{1}{B-A} \left(\frac{x-A}{B-A} \right)^{\alpha-1} \left(\frac{B-x}{B-A} \right)^{\beta-1}, \quad A \leq x \leq B. \quad (2)$$

В случае $\alpha=\beta=1$ $f(\alpha, \beta, A, B) = U(A, B)$, где U – случайное число в диапазоне (A, B) . В этом и есть отличительная особенность β -распределения. К тому же конкретные требования к границам (A, B) нет, по сути, они задаются в процессе исследования реальных характеристик моделируемого объекта.

Сложность нахождения границ определяемой функции (2) заключается в невозможности выражения её в элементарных зависимостях, поэтому пользуются численными методами. Математическое ожидание μ и стандартное отклонение σ оцениваются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= A + (B-A) \frac{\alpha}{\alpha+\beta}; \\ \sigma &= \frac{(B-A)^2 \alpha \beta}{(\alpha+\beta)^2 (\alpha+\beta+1)}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В конечном итоге модель распределения налёта может быть представлена в виде следующей гистограммы (рис. 5) с оценкой согласно (3), с параметрами распределения: $\mu=4,0, \sigma=0,707$.

Экспоненциальное (показательное) распределение, часто встречаемое в различных моделях отказов, в условиях представленной модели подходит для описания интенсивностей переходов

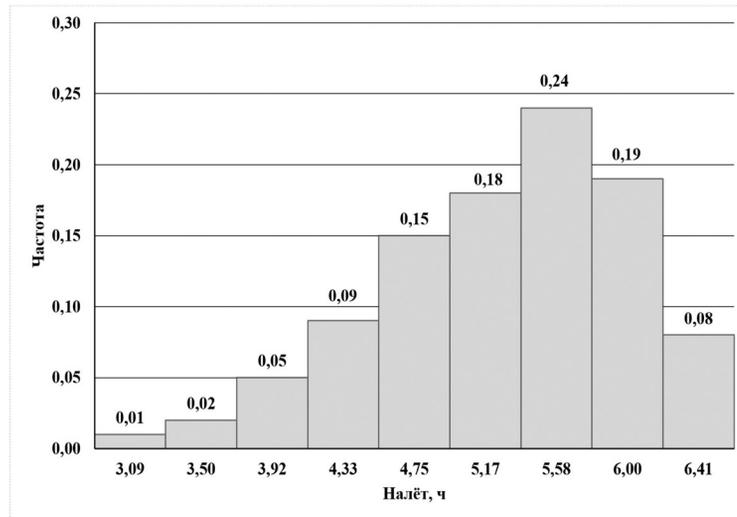


Рис. 5. Моделируемое распределение налёта

$p_{2,i}$ ($i=8...11$). Согласно ГОСТ 27.013-2019¹³ отказ технического объекта является случайным событием, а поток отказов в устоявшемся режиме эксплуатации обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия. Показательное распределение также можно использовать для расчёта продолжительности восстановления изделий АТ, времени между проверками технического состояния оборудования функциональных систем ВС и для других случаев.

Разработанная имитационная модель на основе марковских процессов, метода Монте-Карло, теории графов, логико-комбинаторного анализа, планирования эксперимента, многофакторного анализа способна давать прогнозную оценку ЛГ ВС и СУБП, оценивать выбранные показатели эффективности, определять режимы ТО.

Предлагаемая математическая модель отличается от существующих [7, 15] учётом состояний АТ «ДЛГ и бюллетени», «Ограничения лётной годности», «Зонные осмотры», «ОУЭ», оказывающих влияние на эффективность системы ПЛГ ВС и БП, обоснованием законов распределения неопределённостей системы технической эксплуатации. Вместе с тем теоретические вопросы оптимального управления полумарковскими процессами требуют дальнейшей проработки [16].

Заключение

В ходе исследования получены следующие результаты:

- определён подход к построению имитационной математической модели системы ПЛГ ВС с учётом управления безопасностью полётов авиационной организации;
- выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на ПЛГ и БП ВС;
- предложена концептуальная схема исследуемой системы ПЛГ ВС с СУБП, позволяющая построить моделирующий алгоритм;
- разработан граф состояний, позволяющий построить эффективную имитационную модель системы технической эксплуатации ВС с учётом ПЛГ и безопасности полётов с множеством стохастических входных параметров;
- на основе выборки статистических данных отечественных авиакомпаний обоснована гипотеза о β -распределении для состояния «использование по назначению»;
- предложены расчётные зависимости вероятностей и интенсивностей при переходе из состояния в состояние для построения математической модели функционирования системы ПЛГ авиационной организации.

¹³ ГОСТ Р 27.013-2019 (МЭК 62308:2006). Надёжность в технике. Методы оценки показателей безотказности.

Полученные результаты могут быть использованы ВГА, разработчиками и изготовителями АТ, эксплуатантами ВС, организациями по ТО ВС для разработки прикладного программного обеспечения при контроле и управлении ПЛГ ВС с учётом оценки рисков СУБП (при наличии соответствующих компетенций).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The Authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Ицкович А. А., Чинючин Ю. М., Смирнов Н. Н., Файнбург И. А. Оценка эффективности программ поддержания лётной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 197. С. 5–10.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1968. 356 с.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций. Москва: Советское радио, 1972. 552 с.
4. Карпов Д. В. Теория графов. Москва: МЦНМО, 2022. 550 с.
5. Кофман А. Методы и модели исследования операций. Москва: Мир, 1977. 432 с.
6. Герасимова Е. Д., Смирнов Н. Н., Ойдов Н. Влияние надёжности функциональных систем на эффективность технической эксплуатации ВС // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. № 1. С. 45–52
7. Самуленков Ю. И., Филатова Я. А., Грузд А. Д. Построение имитационной математической модели системы технического обслуживания воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2021. Т. 24. № 4. С. 38–49.
8. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. Москва: Сов. радио, 1977. 488 с.
9. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. Москва: Наука, 1981. 114 с.
10. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. Москва: Мир, 1971. 534 с.
11. Емелин Н. М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. Москва: Машиностроение, 1995. 128 с.
12. Жиглявский А. А., Жилинскас А. Г. Методы поиска глобального экстремума. Москва: Наука, 1991. 247 с.
13. Самуленков Ю. И., Кириллова Н. Б., Далецкий С. С., Рогозин Р. М. Организационно-технические аспекты обеспечения лётной годности беспилотных воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 39. С. 60–71.
14. Чинючин Ю. М. Лётная годность воздушных судов в системе управления безопасностью полётов: монография. Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 188 с.
15. Самуленков Ю. И., Богомолов Д. В., Тоиров И. С. Моделирование системы управления безопасностью полётов организаций разработчиков и изготовителей авиационной техники // Авиационный вестник. БГАА. 2023. № 9. С. 53–59.
16. Shnurkov P. V. Solution of the unconditional extremum problem for a linear-fractional integral functional on a set of probability measures and its applications in the theory of optimal control of semi-Markov processes. arXiv:2001.06424v1 [math. OC], 2020, 26 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.06424>

References

1. Itskovich A. A., Chinyuchin Yu. M., Smirnov N. N., Faynburg I. A. MRO centers aircraft continuing airworthiness programs effectiveness assessment. *Civil Aviation High Technologies*, 2013, no. 197, pp. 5–10. (In Russ.)
2. Buslenko N. P. *Modeling of complex systems*. Moscow, Nauka Publ., 1968, 356 p. (In Russ.)
3. Ventzel E. S. *Operations research*. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1972, 552 p. (In Russ.)
4. Karpov D. V. *Graph theory*. Moscow, MTSNMO Publ., 2022, 550 p. (In Russ.)

5. Kofman A. *Methods and models of operations research*. Moscow, Mir Publ., 1977, 432 p. (In Russ.)
6. Gerasimova E. D., Smirnov N. N., Oidov N. The effect of reliability of functional systems on the efficiency of the technical operation of the aircraft. *Civil Aviation High Technologies*, 2017, no. 1, pp. 45–52. (In Russ.)
7. Samulenkov Yu. I., Filatova Ya. A., Gruzd A. D. Aircraft maintenance system simulation mathematical model construction. *Civil Aviation High Technologies*, 2021, vol. 24, no. 4, pp. 38–49. (In Russ.)
8. Tikhonov V. I., Mironov M. A. *Markov processes*. Moscow, Sov. Radio Publ., 488 c. (In Russ.)
9. Sobol I. M., Statnikov R. B. *The choice of optimal parameters in problems with many criteria*. Moscow, Nauka Publ., 1981, 114 p. (In Russ.)
10. Akof R., Sasieni M. *Fundamentals of operations research*. Moscow, Mir Publ., 1971, 534 p. (In Russ.)
11. Emelin N. M. *Development of aircraft maintenance systems*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995, 128 p. (In Russ.)
12. Zhiglyavsky A. A., Zhilinskas A. G. *Methods of searching for a global extremum*. Moscow, Nauka Publ., 1991, 247 p. (In Russ.)
13. Samulenkov Yu. I., Kirillova N. B., Daletsky S. S., Rogozin R. M. Organizational and technical aspects of ensuring the airworthiness of unmanned aircraft. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 39, pp. 60–71. (In Russ.)
14. Chinyuchin Yu. M. *Airworthiness of aircraft in the flight safety management system: monograph*. Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2024, 188 p. (In Russ.)
15. Samuylenkov Yu., Bogomolov D., Toirov I. Modeling of the flight safety management system of Organizations of developers and manufacturers of aviation equipment. *The Aviation Herald. BGAA*, 2023, no. 9, pp. 53–59. (In Russ.)
16. Shnurkov P. V. *Solution of the unconditional extremum problem for a linear-fractional integral functional on a set of probability measures and its applications in the theory of optimal control of semi-Markov processes*. arXiv:2001.06424v1 [math.OC], 2020, 26 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.06424>

Информация об авторах

Самуленков Юрий Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, yu.samulenkov@mstuca.ru

Грузд Антон Дмитриевич, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, a.gryzd@mstuca.ru

Тоиров Илхом Сафарович, аспирант 3 курса, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, aviator-caatj@mail.ru

Authors information

Samulenkov Yuri I., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Aircraft and Engines, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, yu.samulenkov@mstuca.ru

Gruzd Anton D., Senior Lecturer at the Department of Technical Operation of Aircraft and Engines, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, a.gryzd@mstuca.ru

Toirov Ilhom S., 3rd year Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, aviator-caatj@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 25.03.2025; принята к публикации 01.04.2025.

The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 25.03.2025; accepted for publication 01.04.2025.

Обзорная статья
УДК 159.9:629.735

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВИАЦИОННОГО СПЕЦИАЛИСТА КАК КОМПОНЕНТ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ

И. Н. КОРМИЛИЦЫНА

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы негативного влияния человеческого фактора, а именно психофизиологических особенностей авиационного специалиста, на функционирование авиационной системы (АС) и причины возникновения этого влияния в контексте системы управления безопасностью полётов (СУБП). Как часть организационной культуры СУБП является способом выполнения должностных обязанностей через целеполагание, планирование и эффективность функционирования АС, в которой человеческий фактор представляет собой одно из центральных понятий, используемых при решении вопросов обеспечения безопасности полётов путём осуществления изменений и постоянного совершенствования СУБП. В любой системе с точки зрения функционирования человеческий фактор не однороден, а включает в себя три основных компонента: профессиональный, психологический и медицинский. Если учесть, что в АС к выполнению обязанностей допускаются подготовленные в профессиональном плане и проверенные в медицинском плане специалисты, то их ошибочные действия относятся, как правило, к психологическому компоненту человеческого фактора. Рассматриваемая тематика может быть положена в основу научно-исследовательских работ по психологическому обеспечению отбора, подготовки и профессиональной деятельности лётного и диспетчерского состава гражданской авиации (ГА) соответственно современным знаниям в области авиационной психологии. Сюда же относятся изучение признаков и причин развития утомления и оценка его влияния на работоспособность авиационного специалиста, а также работы по анализу достаточности используемых в отрасли методик для выявления личностных особенностей специалистов.

Ключевые слова: система управления безопасностью полётов, человеческий фактор, авиационный специалист, работоспособность, утомление, транспортные системы страны, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Кормилицына И. Н. Психофизиологические особенности авиационного специалиста как компонент человеческого фактора в системах управления безопасностью полётов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 67–76.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF AN AVIATION SPECIALIST AS A COMPONENT OF THE HUMAN FACTOR IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS

I. N. KORMILITSYNA

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

Abstract. The article examines the issues of the negative impact of the human factor, namely the psychophysiological characteristics of an aviation specialist, on the functioning of the aviation system (AS) and the

causes of this impact in the context of the flight safety management system (SMS). As part of the organizational culture, SMS is a way of fulfilling official duties through goal setting, planning and efficiency of the AS, in which the human factor is one of the central concepts used in solving flight safety issues through the implementation of changes and continuous improvement of SMS. In any system, from the point of view of functioning, the human factor is not homogeneous, but includes three main components: professional, psychological and medical. If we consider that professionally trained and medically proven specialists are allowed to perform their duties in the AS, then their erroneous actions usually relate to the psychological component of the human factor. The topic under consideration can be used as the basis for research on the psychological support of the selection, training and professional activities of flight and control personnel of civil aviation, according to modern knowledge in the field of aviation psychology. This also includes the study of the signs and causes of fatigue and an assessment of its impact on the performance of an aviation specialist, as well as work to analyze the adequacy of techniques used in the industry to identify the personal characteristics of specialists.

Keywords: safety management system, human factor, aviation specialist, professional performance, fatigue, transport systems of the country, operation of aircraft

For citation: Kormilitsyna I. N. Psychophysiological characteristics of an aviation specialist as a component of the human factor in safety management systems. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 67–76. (In Russ.)

Введение

Вопросы профессионального психологического отбора в ГА, психологического обеспечения деятельности предприятий и организаций отрасли, а также психологические аспекты человеческого фактора (ЧФ) при расследовании авиационных происшествий были рассмотрены на базе ФГУП ГосНИИ ГА 24 апреля 2024 года в рамках проведения круглого стола. Среди докладчиков и слушателей были представители профильных федеральных органов исполнительной власти, отраслевых организаций и предприятий.

Проведение круглого стола, рассмотренные на нём вопросы и выработанные предложения свидетельствуют о возросшем понимании авиационным сообществом важности возобновления научно-практических работ в области человеческого фактора, в том числе с целью разработки методических и нормативно-правовых документов по данному направлению. А тот факт, что на протяжении десятилетий доля человеческого фактора среди причин авиационных происшествий и инцидентов стабильно составляет 70–80 % от общего числа событий, подтверждает необходимость углублённого изучения влияния ЧФ на отрасль.

Направление исследования

Единство закономерно расположенных и находящихся во взаимосвязи частей организации передвижения по воздуху воздушных судов (ВС), людей, грузов и почты именуется авиационной системой (АС), каждый элемент которой включает и человеческие, и машинные звенья [1]. Эти звенья можно выделить в общие группы факторов, влияющих на надёжность функционирования АС.

Человеческий фактор – одно из центральных понятий, используемых при рассмотрении задачи обеспечения безопасности полётов, а аварии и катастрофы определили практическую необходимость в изучении надёжности действий именно человека, так как большинство авиационных происшествий и инцидентов являются результатом ошибок, совершаемых здоровыми и квалифицированными специалистами.

Анализ авиационных происшествий с учётом наиболее часто повторяющихся событий, проводимый по итогам расследований, нередко показывает, что в их основе лежит один общий фактор, который можно сформулировать как недостаточное понимание или полное непонимание

авиационным специалистом долго развивающейся ситуации: проявляются особенности поведения и пределы возможностей человека в обеспечении безопасности полётов, так как в одинаковых условиях АП и инциденты случаются при участии далеко не всех специалистов.

По определению Международной организации гражданской авиации (ИКАО) человеческий фактор – это наука о людях в той обстановке, в которой они живут и трудятся, об их взаимодействии с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также о взаимодействии людей между собой. Данное определение достаточно точно отражает системную суть человеческого фактора, но не акцентирует внимания на значимости учёта психофизиологических возможностей и ограничений людей, ведь человек ошибается тогда, когда условия (в широком смысле) деятельности не соответствуют его возможностям [2].

Психическая и физиологические системы человека далеки от совершенства, в силу своей биологической природы люди (в том числе авиационные специалисты) являются носителями психофизиологических опасных факторов (ПФОФ), которые могут стать непосредственной причиной ошибочного действия в процессе деятельности. ПФОФ – это проявление ограниченных возможностей или нарушения функционирования отдельных психических, физиологических систем и организма в целом при определённых условиях деятельности и жизни, в результате чего снижается эффективность и надёжность взаимодействия авиационного специалиста с авиационной техникой.

К ПФОФ, в частности, относятся:

- снижение мотивации на выполнение работы;
- неправильное распределение внимания;
- функциональная недостаточность органов чувств;
- нарушение взаимодействия в команде;
- потеря пространственной ориентации;
- утомление;
- заболевание;
- стресс;
- монотония;
- иллюзии;
- дремотное состояние;
- сумеречное и ночное зрение;
- низкая эмоциональная устойчивость [3].

Понимание первопричин ошибочных действий специалистов позволит разработать конструктивные и более эффективные меры по профилактике авиационных происшествий и инцидентов при эксплуатации авиационной техники в транспортных системах страны, а также обновить имеющиеся подходы по психологическому отбору, подготовке и поддержанию профессиональной деятельности специалистов отрасли.

Профессиональные нагрузки и работоспособность авиационного специалиста

Профессиональная работоспособность – это свойство специалиста, определяемое уровнем функционирования психической и физиологических систем и характеризующее его способность выполнять профессиональную деятельность с требуемым качеством в течение заданного времени. Её основу составляют специальные знания, умения, навыки, а также необходимые профессиональные, психологические и физиологические качества [4].

Уровень работоспособности принято оценивать по величине резервных возможностей организма, эффективности (продуктивности) работы и выраженности утомления.

В таблице представлены примеры признаков нарушения и потери профессиональной работоспособности.

Признаки нарушения и потери профессиональной работоспособности

Показатели	Способ получения информации	Критерии профессиональной работоспособности		
		оптимальная	нарушенная	потеря
Речь	СОК (средства объективного контроля)	характеристики показателей речи практически не отличаются от таковых, полученных на предыдущих этапах до возникновения особой ситуации	длительные периоды молчания на запросы; появление монотонных невнятных ответов; появление неадекватных докладов; увеличение времени передачи сообщений; нарушение дыхания, покашливание, сдавливание голоса	речь отсутствует
Управляющие движения (УД)	СОК	УД чёткие и адекватные; имеются УД по предотвращению столкновения с землёй	УД не соответствуют режиму полёта или этапу деятельности; УД замедленные или ускоренные (по скорости реакции) и не адекватны подаваемым командам; УД по предотвращению столкновения с землёй отсутствуют	УД прекращены; УД на подаваемые команды отсутствуют; УД по предотвращению столкновения с землёй отсутствуют
Действия с органами управления, системами ВС	СОК	действия, адекватные развивающейся ОСП, в том числе направленные на предотвращение столкновения с землёй	действия, неадекватные развивающейся ОСП	действия с органами управления системами ВС отсутствуют при необходимости их выполнения
Динамика параметров полёта	СОК, опрос очевидцев	точность выдерживания параметров полёта соответствует нормативным требованиям	имеются отклонения в точности выдерживания параметров полёта	нарастающие грубые нарушения параметров полёта; прекращение управления

Профессиональная работоспособность не является величиной постоянной, она носит динамический характер и изменяется в процессе деятельности, в течение суток, недели, года, а также подвержена влиянию разного рода факторов. Она зависит от эргономических, инженерно-психологических свойств объекта управления, гигиенических условий труда, а также от физиологических, психологических и других особенностей субъекта (специалиста) и организации деятельности.

«Кривая работы» отражает оперативную динамику работоспособности за непрерывный отрезок времени на разных стадиях и фазах её проявления. Определены следующие стадии и фазы работоспособности (рис. 1):

I – подготовительная – включает формирование установки на выполнение конкретной работы, формирование программы (плана) её выполнения, сбор (актуализацию) необходимой информации о содержании, условиях и организации конкретной работы, мобилизацию ресурсов организма и психики на обеспечение успешного выполнения работы, уточнение деталей производственного процесса.

II – вработывание или стадия нарастающей работоспособности. Постепенное вхождение человека в конкретную производственную работу происходит по той причине, что на него существенное влияние оказывают различные побочные факторы, которые имели место до начала рабочей смены, вахты. На этой стадии рабочие навыки неустойчивы, непрочны, инерционны, сопровождаются лишними действиями и операциями. Затем, вследствие упражнения в ходе работы, технико-экономические показатели работоспособности достигают номинального уровня.

III – фаза компенсации или стабильной работоспособности – устойчивая работоспособность на высоком профессиональном уровне, для неё характерны высокие технико-экономические показатели, снижение функциональной напряжённости, возникающей в первой стадии; рабочие реакции точны, соответствуют требуемому ритму, наблюдается устойчивая активация внимания, памяти, процессы переработки информации находятся в точном соответствии с требуемым алгоритмом решения задач, производительность труда и её эффективность максимальны.

IV – фаза развивающегося утомления. Уровень технико-экономических показателей работоспособности начинает снижаться, а функциональная напряжённость возрастает.

Стадии работоспособности отражают различные этапы, которые проходит человек в процессе трудовой деятельности:

- 1 – вработываемость;
- 2 – оптимальная работоспособность;
- 3 – полная компенсация;
- 4 – неустойчивая компенсация;
- 5 – конечный порыв;
- 6 – прогрессивное снижение продуктивности.

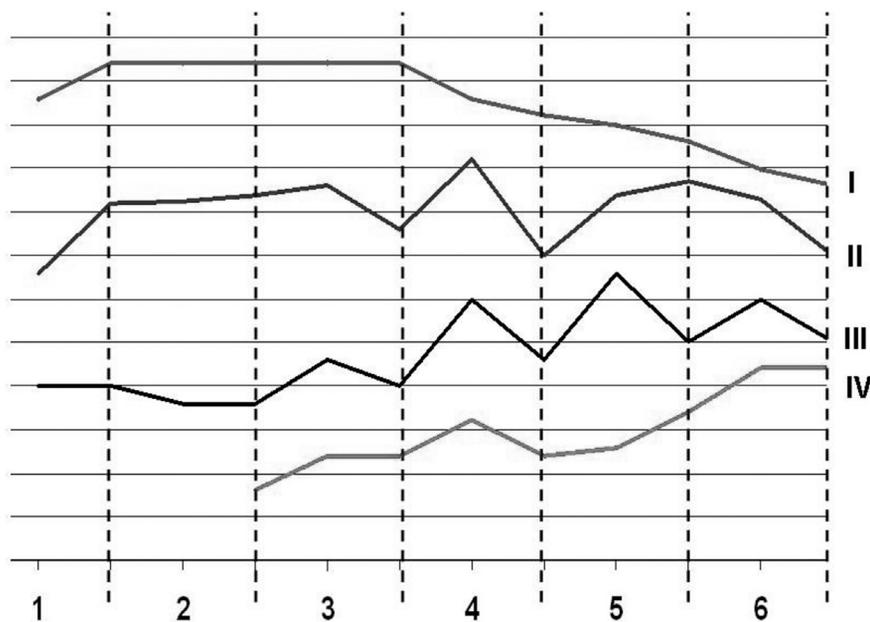


Рис. 1. Стадии и фазы динамики работоспособности

Длительность протекания отдельных фаз, выраженность характерных для них реакций и даже исключение некоторых из них могут варьироваться в значительных пределах в зависимости от вида деятельности, уровня профессиональной подготовленности специалиста, его индивидуальных особенностей, состояния здоровья и других факторов.

На рис. 2 приведена классификация ошибок, обусловленных влиянием человека, основанная 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. Внешние факторы – это непредвиденные ситуации, состояние рабочей среды (например, погодные условия, сильный шум), отвлекающие факторы, организация рабочего места [5].

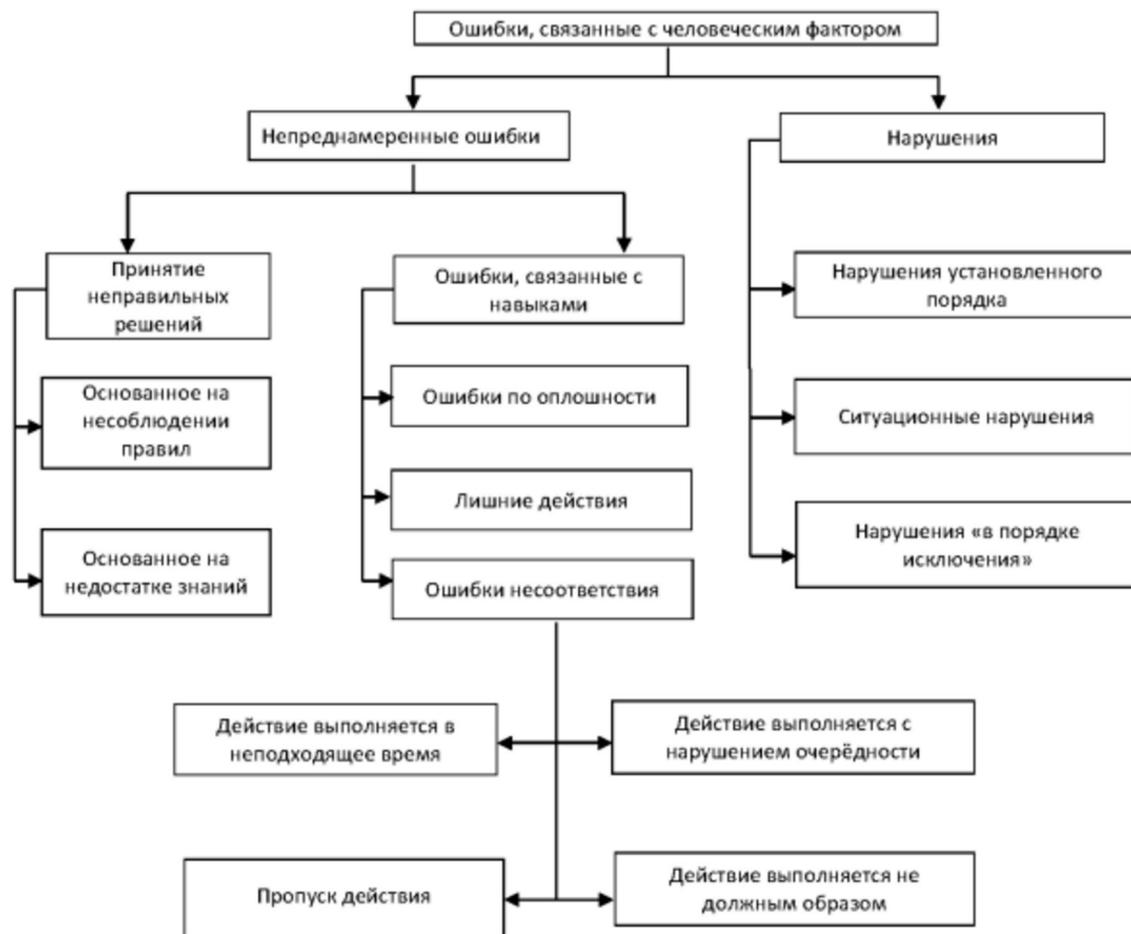


Рис. 2. Ошибки, связанные с человеческим фактором

Если учесть, что действия выполняются достаточно подготовленными в профессиональном плане и здоровыми в медицинском плане специалистами, то их ошибочные действия относятся в большей степени к психологическому компоненту человеческого фактора.

Психологический анализ первопричин ошибочных действий

При выявлении ошибочных действий авиационного специалиста целесообразно проводить углублённый психологический анализ первопричин их появления, т. к. человеческий фактор – это не просто некий специалист при выполнении им задачи. Это и то, что связывает его с машиной (эргономические условия), и то, что заставляет его выполнять те или иные действия из-за предписаний в нормативах и стандартах деятельности, и связь со средой, и взаимодействие с другими специалистами, а также то, что есть внутри самого человека: сформировавшиеся привычки, характер, темперамент, особенности жизни и здоровья. При анализе ошибки рассматриваются не только как следствие осложнения профессиональной деятельности и снижения профессиональных качеств, но и как следствие индивидуальных особенностей психических и физических функций, проявляющихся в конкретных условиях.

От методов и методологий отбора на обучение, качества профессиональной подготовки и способов мотивации на выполнение обязанностей зависит состояние безопасности полётов. Необходимо делать акцент на аспектах психологического отбора и приёма на работу, т. к. не каждый человек подходит для той или иной деятельности. Так реализуется проактивный подход к безопасности в СУБП, состоящий в выявлении факторов опасности и принятии мер по уменьшению риска до того, как произойдет какое-либо событие, которое окажет неблагоприятное влияние на состояние безопасности полётов [6].

В ходе работы круглого стола, упомянутого во введении настоящей статьи, говорилось, что сегодня молодые кадры – это те, кто воспитывался в рыночных социально-экономических условиях, когда имел место формальный подход к усвоению знаний и культивировались эгоцентрические ценности. Учёт этих обстоятельств мотивирует учёных, психологов и медицинских работников модифицировать методы психологического отбора, сопровождения и разрабатывать новые системы, направленные на выявление и предотвращение человеческих ошибок.

Утомляемость как фактор опасности

Среди функциональных состояний, профессионально значимых для деятельности авиационных специалистов, особое место с точки зрения частоты возникновения и влияния на работоспособность занимает утомляемость.

Согласно терминологии ИКАО, утомляемость определена как физиологическое состояние пониженной умственной или физической работоспособности в результате бессонницы или длительного бодрствования, фазы суточного ритма или рабочей нагрузки (умственной и/или физической деятельности), которое может ухудшить активность и способность безопасно управлять ВС или исполнять служебные обязанности [7].

Другое понимание утомляемости заключается в её определении как состояния, возникающего в результате дисбаланса между:

- физическим и умственным напряжением в результате всех видов деятельности, соответствующих состоянию бодрствования (помимо собственно выполнения служебных обязанностей);
- восстановлением после упомянутого напряжения, подразумевающим потребность во сне (за исключением восстановления после мышечного утомления).

Утомляемость может рассматриваться и как состояние, отражающее неадекватный отдых [8]. Работоспособность и утомляемость представляют собой взаимосвязанные понятия. Уровень работоспособности, характер и частота совершаемых ошибок обуславливаются отсутствием или наличием утомления, а при его наличии – степенью развития и выраженностью утомления.

В [9] представлена известная в авиационном сообществе модель SHELL – модель человеческого фактора, но в применении к утомляемости:

- элементы Liveware (L) рассмотрены с точки зрения личностных особенностей, состояния здоровья, образа жизни и отношения к усталости, а также выстраивания взаимоотношений в коллективе и семье;
- элемент Software (S) включает в себя качество стандартов, планирование полётов, режим труда и отдыха;
- элемент Hardware (H) отражает уровень автоматизации и эргономику рабочего места;
- элемент Environment (E) описывает воздействие шума, высоты, вибраций и циркадных ритмов.

В регламентирующих документах мало прослеживается учёт спектра показателей (коммуникация, уровень автоматизации, качество стандартов), влияющих на состояние утомления специалиста. Влияние этих показателей сильное и явное, но его не учитывают при оценке бдительности специалиста, выполняющего определённую задачу.

Понимание серьёзности проявления последствий утомляемости среди прочих ПФОФ послужило формированию концепции системы управления рисками, связанными с утомляемостью (СУРУ) на мировом уровне [6]. В СУРУ применяется многоуровневая стратегия обеспечения безопасности полётов, позволяющая управлять такими рисками вне зависимости от их источников. Компонентом стратегии является непрерывный адаптивный процесс, основанный на анализе фактических данных, позволяющий выявить риски, связанные с утомляемостью, а затем – разработать и внедрить методы управления и стратегии снижения данных рисков, а также произвести оценку их эффективности. Данный подход включает как организационные, так и индивидуальные стратегии снижения рисков.

Как и СУБП, СУРУ представляет нормативно-регламентирующий подход, основанный на специфике эксплуатации (в отличие от нормативно-регламентирующего подхода на основе нормирования полётного и служебного времени). По сути, это означает, что правилами СУРУ определяются требования к эксплуатантам по управлению рисками, связанными с утомляемостью, вместо установления норм, которые могут не соответствовать специфическим аспектам структуры организации или эксплуатационной среды.

С 01.09.2022 вступил в действие ФАП-10¹. В соответствии с п. 7 Заявители (эксплуатанты) должны разработать и внедрить СУБП, включающую СУРУ. Но эти требования не включают других специалистов отрасли: технический персонал, диспетчеров. Они также являются элементами системы, также имеют свои личностные особенности и подвержены влиянию утомления. Между тем в сети Интернет всё чаще появляются публикации на тему утомления диспетчеров (как правило, фиксируется сон во время выполнения должностных обязанностей). Помимо самого факта неисполнения своих должностных обязанностей, сон на рабочем месте – это шаг до совершения ошибки, которая может привести к катастрофическим последствиям в цепочке событий.

Заключение

С развитием СУБП в компаниях – поставщиках услуг продолжается совершенствование эксплуатационных процедур, направленных на управление рисками, в том числе и связанными с утомляемостью, с целью их снижения до приемлемого уровня. Наряду с этим продолжается совершенствование и развитие концепции утомляемости, которая включает оценку роли сна и суточных ритмов в деятельности пилотов, разрабатываются биоматематические модели для прогнозирования психофизиологического состояния членов экипажа [10]. Но по-прежнему есть значительное отставание в данном вопросе в части применимости к остальным категориям авиационных специалистов и, в частности, к диспетчерскому составу.

Учитывая значение человеческого фактора для обеспечения безопасности полётов и растущий в авиационном сообществе интерес к данной теме, прежде всего в части контроля над ошибками и нарушениями в деятельности авиационных специалистов ГА, представляется необходимым пересмотреть систему психологического отбора и сопровождения персонала в ходе производственной деятельности, сложившуюся к настоящему моменту в отечественной практике. Это будет возможно при возобновлении научно-практических работ в области человеческого фактора с учётом актуальных знаний в области авиационной психологии, в том числе по изучению признаков и причин развития утомления и оценки его влияния на работоспособность авиационных специалистов различных категорий.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. Author declares no conflict of interest.

¹ Приказ Минтранса России от 12.01.2022 № 10 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим коммерческие воздушные перевозки...».

Список источников

1. Гузий А. Г., Лушкин А. М., Майорова Ю. А. Теория и практика экспертного анализа в системах управления безопасностью полётов: монография. Москва: ИД Академии Жуковского, 2015. 128 с.
2. ИКАО Doc 9683-AN/950. Руководство по обучению в области человеческого фактора. Изд. 1., 1998. 368 с.
3. Авиационная медицина: руководство / Под ред. Н. М. Рудного, П. В. Васильева, С. А. Гозулова. Москва: Медицина, 1986. 580 с.
4. Майорова Ю. А., Гузий А. Г. Утомляемость пилотов как психофизиологический фактор риска безопасности авиационных полётов // Психология и Психотехника. 2015. № 7(82). С. 707–716. <https://doi.org/10.7256/2070-8955.2015.7.15222>
5. Хрестоматия человеческого фактора в авиации через призму безопасности полётов. В 2 т. / Под общ. ред. С. Д. Байнетова; сост. В. А. Пономаренко, Р. Н. Макаров. Москва, 2010. Т. 2. 551 с.
6. Лушкин А. М., Кормилицына И. Н. Утомление как фактор опасности для безопасности полётов // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20. № 3. С. 131–138.
7. ИКАО Doc 9966. Руководство по надзору за использованием механизмов контроля утомления. 2020. 238 с.
8. Гузий А. Г., Лушкин А. М., Майорова Ю. А. Риск, обусловленный утомлением членов экипажа // Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий. 2015. Выпуск 27. С. 114–125.
9. Сурина Э. И. Будут ли небеса обетованными. Ульяновск: ГК «Волга-Днепр», 2014, 140 с.
10. Городецкий И. Г., Якимович Н. В., Белоусова В. В. Разработка компьютерной обучающей программы, направленной на снижение роли «человеческого фактора» в авиационной аварийности // Материалы II межрегиональной научно-практической конференции «Прикладная психология как ресурс социально-психологического развития России в условиях преодоления глобального кризиса». Т. 2. Москва: МГУ, 2010. С. 59–61.

References

1. Guziy A. G., Lushkin A. M., Mayorova Yu. A. *Theory and practice of expert analysis for flight safety management systems*: monograph. Moscow, Zhukovsky Academy Publ., 2015, 128 p. (In Russ.)
2. ICAO Doc 9683-AN/950. Human Factors Training Manual. Ed. 1., 1998, 349 p.
3. *Aviation medicine: a guide*. Ed. N. M. Rudnoy, P. V. Vasiliev, S. A. Gozulov. Moscow, Meditsina Publ., 1986, 580 p. (In Russ.)
4. Mayorova Yu. A., Guziy A. G. Fatigue-ability of pilots as a psychophysiological factor for flight safety risk. *Psychology and Psychotecnik*, 2015, no. 7(82), pp. 707–716. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2070-8955.2015.7.15222>
5. *Chrestomathy of CRM in Aviation in terms of flight safety*, in 2 volumes. Ed. S. D. Baynetov, comp. V. A. Ponomarenko, R. N. Makarov. Moscow, 2010, vol. 2, 551 p. (In Russ.)
6. Lushkin A. M., Kormilitsyna I. N. Fatigue as a risk factor for flight safety. *Civil Aviation High Technologies*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 131–138. (In Russ.)
7. ICAO Doc 9966. Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches. 2020, 225 p.
8. Guziy A. G., Lushkin A. M., Mayorova Yu. A. Crew Fatigue Risks. *Works of Independent Accident Investigators Association*, 2015, vol. 27, pp. 114–125. (In Russ.)
9. Surina Eh. I. *Will heaven be promised*. Ulyanovsk, GK “Volga-Dnepr”, 2014, 140 p. (In Russ.)
10. Gorodetskiy I. G., Yakimovich N. V., Belousova V. V. Development of a computebased training program aimed at reducing the role of the “human factor” in aviation accidents. *Materials of the II interregional scientific-practical Conference “Applied psychology as a resource for socio-psychological development of Russia in overcoming the global crisis”*, vol. 2. Moscow, MGU Publ., 2010, pp. 59–61. (In Russ.)

Информация об авторе

Кормилицына Ирина Николаевна, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Kormilitsyna_IN@gosniiga.ru

Author information

Kormilitsyna Irina N., Leader Scientific Officer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Kormilitsyna_IN@gosniiga.ru

*Статья поступила в редакцию 23.11.2024; одобрена после рецензирования 07.02.2025; принята к публикации 14.02.2025.
The article was submitted 23.11.2024; approved after reviewing 07.02.2025; accepted for publication 14.02.2025.*

Научная статья
УДК 656.7.052(597)

ОЦЕНКА КОНФЛИКТНОСТИ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЙОННОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА ХОШИМИНА

(публикуется в рамках молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА)

В. Б. МАЛЫГИН¹, НГУЕН НГОК ХОАНГ КУАН^{1,2}, В. Н. НЕЧАЕВ¹, В. Г. РАЗОВ³

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

² *Вьетнамская авиационная академия, Хошимин, Вьетнам*

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

Аннотация. В настоящее время поток воздушных судов (ВС) в Юго-Восточной Азии увеличился, в связи с чем возникла необходимость совершенствования структуры воздушного пространства (ВП) стран региона, осуществляющих обслуживание воздушного движения (ОВД). В статье рассматривается ВП Вьетнама, которое является существенной частью ВП упомянутого региона – 16,04 % общего трафика (третье место в Юго-Восточной Азии). Первый этап совершенствования структуры ВП Вьетнама – проведение по поручению Авиационной администрации объективной оценки базовой структуры ВП Вьетнама на предмет обеспечения безопасности и эффективности ОВД. При оценке качества структуры ВП с точки зрения безопасности полётов (БП) управляющие воздействия со стороны органов управления воздушным движением (УВД) должны учитываться опосредованно через факторы риска для БП при проектировании ВП, проявляющиеся как области ВП со степенью конфликтности выше приемлемого риска. Как правило, это области пересечения маршрутов ОВД, области изменения эшелонов полёта. Оценка риска в этих областях проводилась независимо от местоположения конфликтующих ВС в конкретной потенциально конфликтной ситуации (ПКС) и рассматривалась как обобщённый максимальный риск при расхождении ВС. Оценка эффективности структуры ВП вычислялась на основании критериев топливной эффективности с учётом требований глобального аэронавигационного плана ИКАО. Для оценки качества структуры ВП в статье использованы модель структуры ВП районного диспетчерского центра (РДЦ) Хошимина, формализованная в виде связанного списка, и модель расписания для различной плотности потока ВС. Модели созданы авторами на языке программирования Python 3.10. В процессе моделирования использовалась только оперативная память процессора (без обращения к жёсткому диску), что позволило обеспечить максимальное быстродействие при вычислениях. В результате получена оценка существующей (базовой) структуры ВП Вьетнама, которая даёт возможность при изменении этой структуры объективно сравнивать результат изменений.

Ключевые слова: воздушный транспорт, воздушное судно, обслуживание воздушного движения, воздушное пространство, безопасность полётов, язык программирования Python, транспортные системы страны

Для цитирования: Малыгин В. Б., Нгуен Нгок Хоанг Куан, Нечаев В. Н., Разов В. Г. Оценка конфликтности структуры воздушного пространства при помощи моделирования районного диспетчерского центра Хошимина // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 77–87.

ASSESSMENT OF AIRSPACE STRUCTURE CONFLICT POTENTIAL USING MODELING OF THE HO CHI MINH AREA CONTROL CENTER

(Published as part of the implementation of the youth policy of the Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation)

V. B. MALYGIN¹, NGUYEN NGOC HOANG QUAN^{1,2}, V. N. NECHAEV¹, V. G. RAZOV³

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

² *Vietnam Aviation Academy, Ho Chi Minh City, VietNam*

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

Abstract. In recent years, the volume of air traffic in Southeast Asia has significantly increased, necessitating the enhancement of airspace structures within the region's countries responsible for air traffic services. The article considers the airspace of Vietnam, which is a significant part of the above-mentioned region and serves 16.04 % of the total traffic (the third place in Southeast Asia). At the first stage, it is necessary to conduct an objective assessment of the basic structure of the airspace of Vietnam, for the purpose of ensuring the safety and efficiency of service, for which the assessment criteria have been established. To assess the quality of the airspace structure from the point of view of flight safety, control actions by air traffic control authorities should be taken into account indirectly, i.e. through flight safety risk factors in the design of airspace, which are airspace areas with a degree of conflict above the acceptable risk. As a rule, these are areas of intersection of air traffic service routes, areas of change in flight levels. The risk assessment in these areas is carried out regardless of the location of the conflicting aircraft in a specific potential conflict situation, and is considered as a generalized maximum risk in the event of their divergence. The airspace structure efficiency is traditionally assessed using the fuel efficiency criterion, taking into account the requirements of the global air navigation plan. To assess the quality of the airspace structure, this paper uses a model of the airspace structure of the Ho Chi Minh regional control center formalized as a linked list and a schedule model for different aircraft flow densities in the Python 3.10 programming language. During the operation of the computing complex, both models use the heap memory, which ensures maximum performance. The value of the results obtained is in finding a starting point for improving the upper airspace structure of Vietnam.

Keywords: air transport, aircraft, air traffic services, airspace, flight safety, Python programming language, transport systems of the country

For citation: Malygin V. B., Nguyen Ngoc Hoang Quan, Nechaev V. N., Razov V. G. Assessment of airspace structure conflict potential using modeling of the Ho Chi Minh area control center. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 77–87. (In Russ.)

Введение

Проектирование структуры ВП для использования коммерческой авиацией в значительной степени связано с ограничениями, исходящими как от самих пользователей ВП, так и от органов контроля воздушного движения. Задача построения оптимальной структуры ВП сводится к совершенствованию показателей эффективности и безопасности относительно базового состояния структуры ВП, реализованной на практике в настоящий момент времени [1]. В качестве базовой в данной статье используется структура верхнего ВП РДЦ Хошимина (на эшелонах 340, 350, 360, 370), в котором в соответствии со сборником аэронавигационной информации (AIP) выполняются 21 из 36 международных рейсов и 21 из 35 внутренних рейсов во Вьетнаме. Кроме того, ВП Хошимина расположено на пересечении маршрутов ОВД стран региона ЮВА. Для получения характеристик безопасности и эффективности базовой структуры ВП необходимо определить принципы и условия построения её (структуры ВП) модели.

Базовая структура ВП Вьетнама обусловлена множеством преобразований, которые начались 8 декабря 1994 года. Для проведения оценки её конфликтности авторами создана модель

из 3 модулей, позволяющая отобразить процессы организации воздушного движения (ОрВД) с максимальным приближением к практической деятельности. Модуль формирования расписания движения создаёт поток ВС, имитационный модуль выполняет расчёт движения ВС по заданным маршрутам сектора ОВД, а оценочный модуль определяет характеристики безопасности сектора ОВД. В качестве результатов моделирования получается числовое значение, определяющее общую характеристику безопасности структуры ВП конкретного сектора ОВД. Адекватность модели оценивалась путём проверки результатов при разной интенсивности воздушного движения. Оценки степени безопасности структуры ВП сектора ОВД на основе анализа конфликтных ситуаций при этом не должны существенно отличаться, что и было установлено в результате сопоставления полученных оценок.

Алгоритм модели реализован в виде компьютерной программы на языке программирования Python 3.10 [2].

Конфликтная ситуация (КС) между ВС означает, что расстояние между ними меньше минимальных интервалов эшелонирования, указанных в правилах ИКАО. Снижение конфликтности при конструировании ВП является важнейшей задачей ОрВД. Для оценки конфликтности, как правило, используются вероятностные методы на основе нормального закона [3–5].

Оценка конфликтных ситуаций в структуре ВП сектора ОВД

Определение уровня БП основывается на вероятностных оценках. При моделировании структуры ВП вероятностная оценка производилась без учёта управляющего воздействия со стороны авиадиспетчера. Оценка степени опасности КС рассмотрена в исследованиях NASA [3, 6], Евроконтроля [7, 8] Ху Дж. и др. [9]. В процессе моделирования рассматривалось движение ВС на одном эшелоне. Назовём парой некоторые i -е и j -е ВС из множества всех активных судов в ВП. Пусть t_0 – время начала КС, T – время окончания КС между парой ВС i и j . КС наступает в том случае, если независимо от направления движения расстояние между парой ВС (l_{ij}) становится меньше безопасного ($L=20$ км), её длительность определяется как время от начала КС t_0^n до её окончания t_T^n , где n – номер КС. Одновременно в контролируемом ВП на разных эшелонах могут происходить несколько КС.

На воздушных трассах скорость движения ВС можно считать постоянной, поэтому при оценке КС скорость сближения $ВС_i$ и $ВС_j$ постоянна в течение всего времени КС:

$$W_{ij} = \frac{(l_{ij}^{t+\Delta t} - l_{ij}^t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где l_{ij}^t – расстояние между ВС в момент времени t ; $\Delta t = 1$ с – дискретность измерений (временной шкалы).

Для оценки каждой КС рассматривается случайная величина расстояния между парой ВС в каждый момент времени моделирования.

Чем меньше угол схождения маршрутов ВС, тем дольше длится КС _{n} . Для верхнего ВП принимаем максимальную скорость ВС $W_{\max} = 900$ км/ч (250 м/с), угол схождения маршрутов меньше 90° , т. к. в противном случае ВС будут находиться на разных эшелонах. Пересечение маршрутов под углом близким к 90° при W_{\max} предполагает скорость сближения 1272 км/ч. Максимальное время развития КС при наихудшем варианте составит 57 с. Если же маршруты ВС сходятся под углом 45° , для аналогичных условий развитие КС будет происходить в два раза дольше.

Чем меньше скорость сближения ВС, тем менее опасна КС, т. к. диспетчер располагает большим временем для её предотвращения. На рис. 1 изображена общая картина КС между двумя ВС, следующими по пересекающимся маршрутам на одном эшелоне без изменения направления полёта в точке расхождения маршрутов. Сокращение расстояния между ними происходит равномерно (1), то есть для любой КС _{k} в момент времени t $\Delta l_k^t = \text{const}$. Из рис. 1 видно,

что характеристики КС зависят только от величины Δl_k^t . При развитии КС интервал между парой ВС сокращается, а при затухании КС интервал между ВС увеличивается.

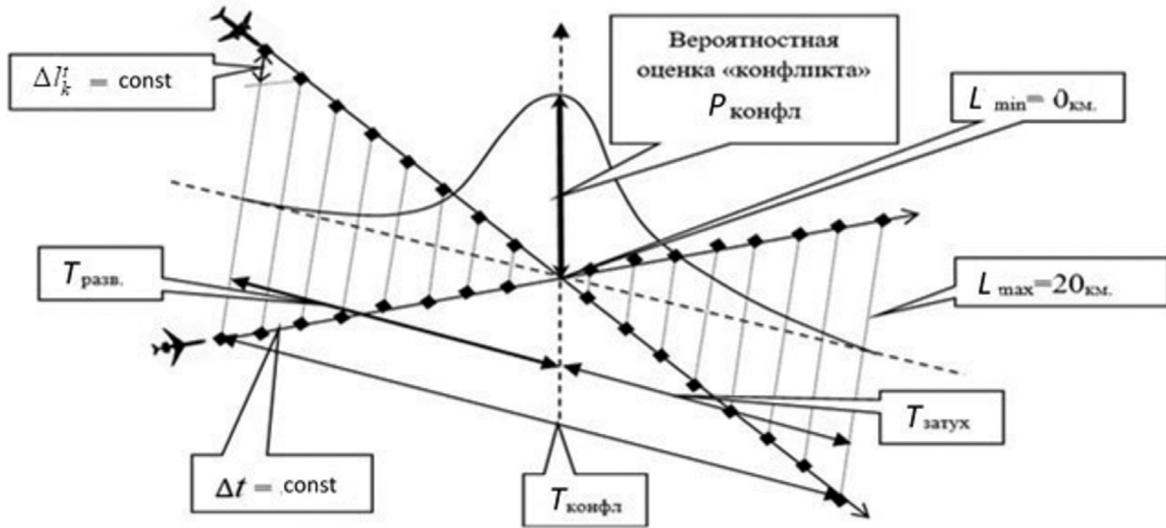


Рис. 1. Схема оценки риска между двумя ВС при $T_{\text{разв.}} = T_{\text{затух}}$

Для ситуации, приведённой на рис. 1, как для развития, так и для затухания КС определение степени опасности конфликта вычисляется по закону Гаусса. Параметр плотности распределения случайной величины l_{ij}^t определяется по правилу «трёх сигм» с учётом времён развития $T_{\text{разв}}$ и затухания $T_{\text{затух}}$ КС, скорости сближения ВС W_{ij} и расстояния в начале КС L_{max} .

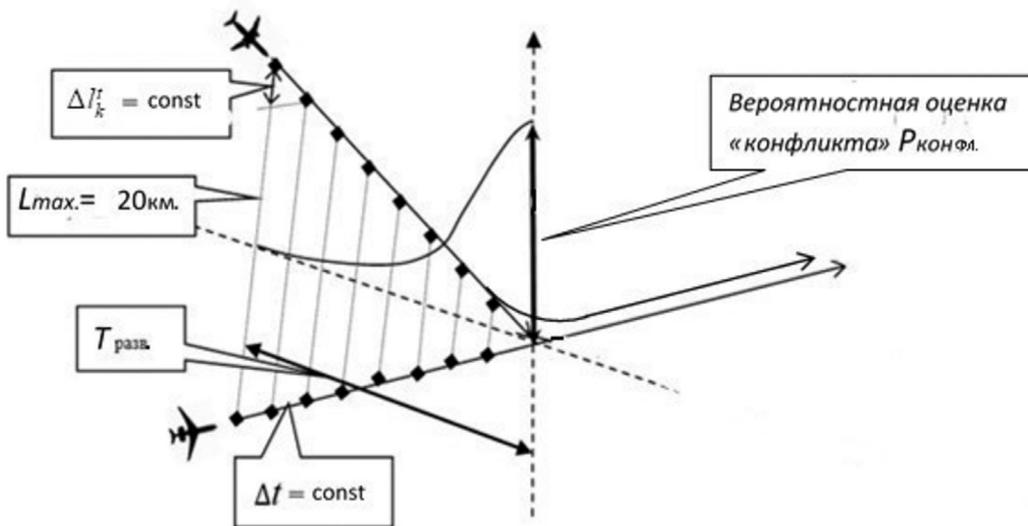


Рис. 2. Схема оценки риска между парой ВС при $T_{\text{затух}} \rightarrow \infty$

На рис. 2 представлена схема КС при следовании ВС на одном эшелоне по разным маршрутам, но в точке их пересечения первое ВС меняет направление движения и следует по маршруту второго ВС. Совпадение маршрутов движения обоих ВС после точки пересечения трасс исключает затухание КС и переводит время КС пары ВС в разряд бесконечного. В этой связи оценка конфликтности выполняется только при развитии КС.

Общая оценка сектора ОВД складывается из оценок вероятности возникновения КС между ВС на разных маршрутах.

Моделирование структуры ВП

Структура ВП Вьетнама состоит из 7 секторов ОВД. По ВП РДЦ Хошимина проходят 27 из 39 маршрутов ОВД, на которых основано конкретное расписание из 65 пунктов. На рис. 3 представлена общая структурная схема модели, позволяющей имитировать движение ВС по заявленным маршрутам.



Рис. 3. Структурная схема модели секторов ОВД

В целях имитации потока ВС в модуле 1 формируется расписание движения. В начале процесса моделирования происходит одновременное появление ВС на входе всех маршрутов (их 27 из 39). В дальнейшем ВС входят на маршруты через заданный интервал. Таким образом создаются «волны» расписания. Первая «волна» распределяет ВС по всем стартовым маршрутам. Кроме того, на вход одного и того же маршрута ОВД могут поступить два ВС одновременно на разных эшелонах. В этом случае создаются два рейса по одному и тому же маршруту ОВД одновременно на разных эшелонах. В качестве условия исключаем появление на входе в сектор ОВД одновременно 3 ВС по одной трассе на разных эшелонах.

На каждой «волне» расписания ϑ создается 41 рейс. Начальное время входа у всех ВС первой «волны» 0 с ($T_1^0 = 0$). Вторая и последующие «волны» образуются исходя из заданного в модели интервала (L_{ij}^{ϑ}) между поступающими на вход маршрута и предыдущими ВС и определяют интенсивность потока ВС.

Время t_{ij}^{ϑ} входа каждого i -го ВС «волны» ϑ на конкретный маршрут ОВД рассчитывается с учётом путевой скорости i -го ВС предыдущей «волны» $\vartheta - 1$ (за исключением первой), следующего впереди по этой же трассе. На рис. 3 в блоке 1.2 модуля 1 на основе L_{ij}^{ϑ} определяются характеристики потока движения ВС. На каждый из 27 стартовых маршрутов поступает по одному ВС на одном эшелоне с заданным интервалом (не меньше безопасного). Рейс для каждого ВС назначается автоматически при помощи блока 1.1 из перечня характерных для региона рейсов.

Интервал между «волнами» потока ВС можно увеличивать и таким образом получить в модели интенсивность потока движения ВС, соответствующую реальной. Для сглаживания перехода к большему расстоянию между «волнами» потока ВС расстояние между поступлениями ВС на «волне» в процессе их повторения увеличивается пошагово.

Блоки 2.1 и 2.2 (рис. 3) содержат координатные данные по 114 навигационным точкам и 39 маршрутам ОВД, взятым из АИР Вьетнама 2024. Блок 2.3 содержит лётно-технические характеристики (ЛТХ) ВС, которые преимущественно используют базовое ВП РДЦ Хошимина. В моделировании участвуют 7 типов ВС: ATR 72; Airbus A320, A330-200, A340-300; Boeing 747-400, 777-300ER, 787-800. Из них только ВС ATR 72 взлетают и садятся в местных аэропортах Кон Сон

(VVCS) и Рач Гиа (VVRG). Остальные типы ВС используются как транзитные. Для рейсов, выполняющих полёты на аэродромы Кон Сон и Рач Гиа, установлены градиент набора 4° и градиент снижения 3° . В блоке 2.4 (рис. 3) заложен перечень секторов ОВД с их горизонтальными и вертикальными границами.

Результаты исследования и их описание

В модели исследования минимальный безопасный интервал L установлен на уровне 20 км. При этом, начиная со второй «волны» и на каждой последующей «волне», для одного из 41 ВС устанавливается полуторный интервал (шаг смещения 10 км), что составляет 30 км. Таким способом сформирован план полётов для 2186 рейсов. На рис. 4 показан фрагмент расписания полётов первой «волны», полученный в результате работы модели. Представлены данные о времени входа, номере рейса, типе ВС, маршруте ОВД и эшелоне полёта.

N1|время(сек.)-0|рейс N55-Thailand - Japan/Korea/Philippines|тип ВС-B777-300ER|маршрут-G474|эш-350
 N2|время(сек.)-0|рейс N56-Japan/Korea/Philippines - Thailand|тип ВС-B777-300ER|маршрут-L628|эш-350
 N3|время(сек.)-0|рейс N3-VVTS - WMKK/WMKP|тип ВС-B777-300ER|маршрут-L637|эш-350
 N4|время(сек.)-0|рейс N6-WMKJ/WIII - VVTS|тип ВС-B777-300ER|маршрут-L644|эш-340
 N5|время(сек.)-0|рейс N53-Campuchia - VVCS|тип ВС-ATR72|маршрут-M510|эш-360
 N6|время(сек.)-0|рейс N31-Singapore - VVNB|тип ВС-A330-200|маршрут-M753|эш-350
 N7|время(сек.)-0|рейс N46-Singapore - Campuchia|тип ВС-B777-300ER|маршрут-M753|эш-370
 N8|время(сек.)-0|рейс N43-Campuchia - Malaysia|тип ВС-B777-300ER|маршрут-M755|эш-340
 N9|время(сек.)-0|рейс N45-Campuchia - Singapore|тип ВС-B777-300ER|маршрут-M755|эш-360
 N10|время(сек.)-0|рейс N4-WMKK/WMKP - VVTS|тип ВС-B777-300ER|маршрут-M765|эш-340
 N11|время(сек.)-0|рейс N9-Malaysia - Japan|тип ВС-B777-300ER|маршрут-M765|эш-360
 N12|время(сек.)-0|рейс N7-VVTS - RPLL|тип ВС-B777-300ER|маршрут-N500|эш-350
 N13|время(сек.)-0|рейс N8-RPLL - VVTS|тип ВС-B777-300ER|маршрут-N500|эш-370
 N14|время(сек.)-0|рейс N26-VVCR - China|тип ВС-B777-300ER|маршрут-Q15|эш-350
 N15|время(сек.)-0|рейс N61-Thailand/Campuchia - VVTS|тип ВС-A330-200|маршрут-R468|эш-350
 N16|время(сек.)-0|рейс N62-VVTS - Thailand/Campuchia|тип ВС-A330-200|маршрут-R468|эш-370
 N17|время(сек.)-0|рейс N28-VVTS - China|тип ВС-B777-300ER|маршрут-W1|эш-340

Рис. 4. Сегмент результатов расписания полётов

Для обеспечения точности выявления и оценки ПКС в установленной структуре ВП РДЦ Хошимина необходимо проводить контроль траекторий движения ВС во времени по маршрутам ОВД. Для выполнения этой задачи создан файл, описывающий движения ВС согласно всем 65 сгенерированным повторяющимся планам полёта. На рис. 5 показано движение 80 ВС по маршрутам ОВД: все рейсы выполнены в соответствии с установленными маршрутами ОВД согласно планам полёта, что подтверждают представленные условные линии движения ВС на момент выхода из зоны ОВД.

В ходе выполнения полёта моделированием предусмотрено автоматическое изменение эшелона полёта с набором высоты до ближайшего попутного эшелона при выработке топлива на 50 %. На рис. 6 изображена часть результатов оценки КС конкретных областей структуры ВП.

Результаты оценки КС базовой структуры представлены в табл. 1 и табл. 2. В табл. 1 приведены результаты при изменении значений интервалов между ВС на «волне» расписания с 20 до 50 км при сохранении неизменным значения шага смещения ВС на «волне» расписания 10 км. В табл. 2 приведены результаты при изменении значений шага смещения ВС на волне расписания для двух случаев 10 и 20 км при сохранении значения интервала между ВС на «волне» расписания 20 км.

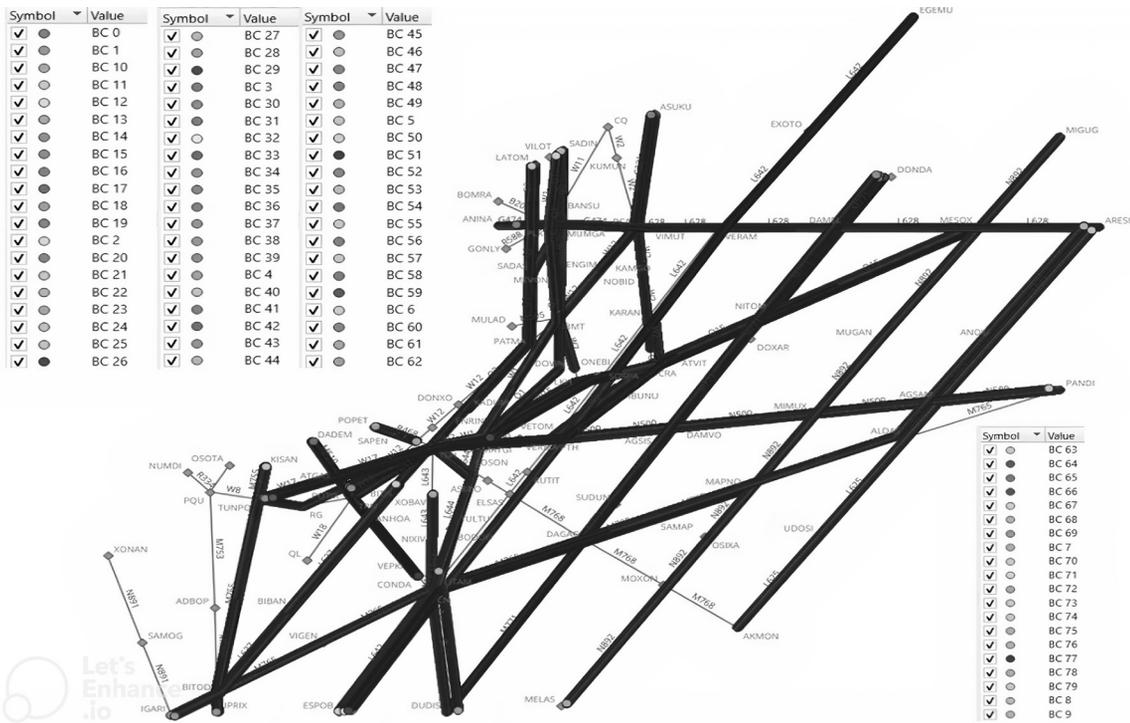


Рис. 5. Результаты показывают движение ВС (рейса) в момент окончания моделирования

Сектор-№ 1.1	BC1-38	BC2-39	Вероятностная оценка "конфликта"=0.266	"конфликт" затухает	
BC1	рейс-1	VVNB/VVPB/VVDN - VVTS	координаты СШ-1570.524	ВД-12026.903	высота BC1=10374м.
BC2	рейс-32	VVNB - Singapore	координаты СШ-1570.524	ВД-12026.903	высота BC2=10626м.
минимальный интервал dL=0км.	dH=253м.	время начала "конфликта"=415с.			
время завершения "конфликта"=1953с.	длительность "конфликта"=1538с.				

Сектор-№ 1.1	BC1-123	BC2-164	Вероятностная оценка "конфликта"=0.2699	"конфликт" затухает	
BC1	рейс-32	VVNB - Singapore	координаты СШ-1581.991	ВД-12027.103	высота BC1=11224м.
BC2	рейс-34	VVDN - VVPQ	координаты СШ-1577.678	ВД-12027.028	высота BC2=10972м.
минимальный интервал dL=4км.	dH=252м.	время начала "конфликта"=633с.			
время завершения "конфликта"=673с.	длительность "конфликта"=40с.				

Сектор-№ 1.1	BC1-207	BC2-252	Вероятностная оценка "конфликта"=0.2824	"конфликт" развивается	
BC1	рейс-32	VVNB - Singapore	координаты СШ-1571.035	ВД-12026.912	высота BC1=10653м.
BC2	рейс-55	Thailand - Japan/Korea/Philippines	координаты СШ-1556.85	ВД-12039.658	высота BC2=10661м.
минимальный интервал dL=19км.	dH=7м.	время начала "конфликта"=875с.			
время завершения "конфликта"=907с.	длительность "конфликта"=32с.				

Сектор-№ 1.1	BC1-207	BC2-290	Вероятностная оценка "конфликта"=0.2713	"конфликт" развивается	
BC1	рейс-32	VVNB - Singapore	координаты СШ-1324.409	ВД-12021.433	высота BC1=10357м.
BC2	рейс-1	VVNB/VVPB/VVDN - VVTS	координаты СШ-1327.527	ВД-12022.661	высота BC2=10349м.
минимальный интервал dL=3км.	dH=8м.	время начала "конфликта"=894с.			
время завершения "конфликта"=2445с.	длительность "конфликта"=1551с.				

Сектор-№ 1.1|BC1-19|BC2-186|Вероятностная оценка "конфликта"=0.2982| "конфликт" развивается |
BC1	рейс-22	VVDL - Korea	координаты СШ-1550.709	ВД-12123.216	высота BC1=8829м.
BC2	рейс-20	VVCR - Korea	координаты СШ-1553.973	ВД-12126.234	высота BC2=8837м.
минимальный интервал dL=4км.	dH=8м.	время начала "конфликта"=1060с.			
время завершения "конфликта"=1119с.	длительность "конфликта"=59с.				

Рис. 6. Сегмент файла результатов оценки средней вероятности конфликта по сектору ОВД

Таблица 1

Оценка базовой структуры ВП при дистанции смещения ВС на волне расписания 10 км

Интервал между ВС на «волне» расписания	№ сектора ОВД	Средняя оценка «конфликтности» структуры ВП	
		Всего конфликтов	Средняя оценка секторов ОВД
20 км Всего КС: 6375	1.1	1064	0,38516
	1.2	44	0,30003
	2	414	0,33418
	3	1784	0,38021
	4	972	0,33220
	5.1	2019	0,41184
	5.2	78	0,36745
30 км Всего КС: 4862	1.1	791	0,39585
	1.2	41	0,29869
	2	251	0,34525
	3	1235	0,38505
	4	749	0,34646
	5.1	1731	0,42141
	5.2	64	0,41947
40 км Всего КС: 3654	1.1	574	0,37722
	1.2	23	0,27981
	2	173	0,34461
	3	901	0,40785
	4	543	0,34406
	5.1	1393	0,42384
	5.2	47	0,42485
50 км Всего КС: 2617	1.1	350	0,39335
	1.2	14	0,29557
	2	108	0,36048
	3	737	0,39646
	4	399	0,33946
	5.1	963	0,43666
	5.2	46	0,38594

Табл. 1 показывает, что по мере увеличения интервала между ВС на «волне» расписания количество конфликтов уменьшается (при увеличении интервала на 10 км количество конфликтов уменьшается примерно на 25 %). Например, при увеличении этого значения с 20 до 30 км количество конфликтов уменьшается на 1513 (что составляет 23,73 %). Это соответствует тому, что по мере увеличения интервала между ВС на волне расписания появляются резервные возможности использования ВП, что подтверждается результатами табл. 1. При этом средняя оценка «конфликтности» секторов практически не меняется. Уменьшение количества конфликтов связано, как было показано выше, скорее с перераспределением воздушного трафика, чем с изменением «конфликтности» структуры ВП. Всё это подтверждает, что структура ВП играет

ключевую роль в возникновении конфликтов, а оценка «конфликтности» ВП лишь отражает характер распределения ВС в секторах ОВД.

В результате проведённого авторами моделирования наиболее конфликтными оказались сектора ОВД № 5.1 и № 3. Это обстоятельство указывает на необходимость совершенствования структуры ВП, особенно в секторах с высоким уровнем «конфликтности» [10].

Таблица 2

Оценка базовой структуры при интервале между ВС на волне расписания 20 км

Дистанция смещения ВС на волне расписания	№ сектора ОВД	Средняя оценка «конфликтности» структуры ВП	
		Всего конфликтов	Средняя оценка секторов ОВД
10 км Всего КС: 6375	1.1	1064	0,38516
	1.2	44	0,30003
	2	414	0,33418
	3	1784	0,38021
	4	972	0,33220
	5.1	2019	0,41184
	5.2	78	0,36745
20 км Всего КС: 6360	1.1	1026	0,39392
	1.2	48	0,29934
	2	382	0,33885
	3	1734	0,37832
	4	1015	0,33417
	5.1	2049	0,40871
	5.2	106	0,40117

На основе данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что при увеличении шага смещения ВС на волне расписания с 10 до 20 км наблюдается лишь незначительное снижение количества КС, всего на 15 случаев, что составляет примерно 0,24 %. Это указывает на то, что достигнут предел использования воздушного пространства, порядок и время появления рейсов не оказывают существенного влияния на общую конфликтность, а возникающие ситуации «перемещаются» из одного сектора в другой. Подобная динамика подчёркивает значимость анализа структуры ВП для правильного распределения нагрузки между секторами. Среднее значение вероятности конфликтов также изменяется незначительно, что подтверждает необходимость совершенствования структуры ВП.

Заключение

В ближайшие десятилетия ожидается неуклонный рост спроса на услуги воздушного транспорта по всему миру, что обуславливает необходимость постоянного совершенствования структуры ВП для повышения безопасности, эффективности и устойчивости воздушного движения. В условиях растущей нагрузки изменения в структуре ВП должны основываться на объективных данных, которые можно получить в результате применения методов моделирования. В этом контексте авторы стремятся внедрить инновационный метод моделирования, способный объективно оценивать максимальную пропускную способность конкретной структуры ВП.

В рамках данной статьи структура ВП РДЦ Хошимина используется в качестве иллюстративного примера для демонстрации возможностей и эффективности предложенного авторами алгоритма. На основе оценки характеристик существующей (базовой) структуры ВП могут быть предложены обоснованные изменения, которые в свою очередь также будут оцениваться тем же методом. Особенностью предлагаемого подхода является сохранение роли авиадиспетчера как ключевого участника ОВД. Вместо исключения человеческого фактора разработанная система направлена на усиление взаимодействия человека и технологий, обеспечивая поддержку в процессах обнаружения и разрешения ПКС, а также систематизацию действий по наблюдению и контролю.

В будущем созданная имитационная модель может не только совершенствоваться, но и масштабироваться для более широкого применения при ОрВД во Вьетнаме. Это позволит оптимизировать ОВД в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также достичь целей, поставленных в рамках стратегии развития транспортной инфраструктуры Вьетнама на период 2020–2030 гг. и в более долгосрочной перспективе.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Борсоев В. А., Лебедев Г. Н., Малыгин В. Б., Нечаев Е. Е., Никулин А. О., Тин Пхон Чжо. Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / Под ред. Е. Е. Нечаева. Москва: Радиотехника, 2018. С. 351–415.
2. Van Rossum G., Drake F. L. *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace, Scotts Valley, CA, USA, 2009.
3. Lee C. Yang, James K. Kuchar. Prototype conflict alerting system for free flight. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 1997, vol. 20, no. 4. <https://doi.org/10.2514/2.411>
4. Ribeiro M., Ellerbroek J., Hoekstra J. Review of conflict resolution methods for manned and unmanned aviation. *Aerospace*, 2020, vol. 7, no. 6. <https://doi.org/10.3390/aerospace7060079>
5. Ying H., Daniel D., Mohammed S. A probabilistic model based optimization for aircraft scheduling in terminal area under uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021, vol. 132, 103374. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103374>
6. Krozel J., Peters M. E., Hunter G. *Conflict detection and resolution for future air transportation management. TR97138-01*. NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, USA, 1997.
7. Blin K. Stochastic conflict detection for Air Traffic Management. *EEC Note No. 5/2000*, EUROCONTROL Experimental Centre, France, 2000.
8. Irvine R. A Simplified approach to conflict probability estimation. *EEC Note No. 11/2001*, EUROCONTROL Experimental Centre, France, 2001.
9. Hu J., Lygeros J., Prandini M., Sastry S. Aircraft conflict prediction and resolution using Brownian Motion. *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control*, Phoenix, AZ, 07–10 December 1999, vol. 3, pp. 2438–2443. <https://doi.org/10.1109/CDC.1999.831291>
10. Нгуен Нгок Хоанг Куан, Нечаев В. Н. Предложения по проектированию организации воздушного пространства секторов ОВД районного диспетчерского центра Хошимина с целью повышения его пропускной способности // Научный вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 27. № 3. С. 50–66. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66>

References

1. Borsoev V. A., Lebedev G. N., Malygin V. B., Nechaev E. E., Nikulin A. O., Tin Phon Kyaw. *Decision-making in air traffic control tasks. Methods and algorithms* / Ed. by E. E. Nechaev. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2018, pp. 351–415. (In Russ.)

2. Van Rossum G., Drake F. L. *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace, Scotts Valley, CA, USA, 2009.
3. Lee C. Yang, James K. Kuchar. Prototype conflict alerting system for free flight. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 1997, vol. 20, no. 4. <https://doi.org/10.2514/2.4111>
4. Ribeiro M., Ellerbroek J., Hoekstra J. Review of conflict resolution methods for manned and unmanned aviation. *Aerospace*, 2020, vol. 7, no. 6. <https://doi.org/10.3390/aerospace7060079>
5. Ying H., Daniel D., Mohammed S. A probabilistic model based optimization for aircraft scheduling in terminal area under uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021, vol. 132, 103374. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103374>
6. Krozel J., Peters M. E., Hunter G. *Conflict detection and resolution for future air transportation management. TR97138-01*. NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, USA, 1997.
7. Blin K. Stochastic conflict detection for Air Traffic Management. *EEC Note No. 5/2000*, EUROCONTROL Experimental Centre, France, 2000.
8. Irvine R. A Simplified approach to conflict probability estimation. *EEC Note No. 11/2001*, EUROCONTROL Experimental Centre, France, 2001.
9. Hu J., Lygeros J., Prandini M., Sastry S. Aircraft conflict prediction and resolution using Brownian Motion. *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control*, Phoenix, AZ, 07–10 December 1999, vol. 3, pp. 2438–2443. <https://doi.org/10.1109/CDC.1999.831291>
10. Nguyen Ngoc Hoang Quan, Nechaev V. N. Proposals for designing the airspace management of the ATM sectors of the Ho Chi Minh City Area Control Center to increase its capacity. *Civil Aviation High Technologies*, 2023, vol. 27, no. 3, pp. 50–66. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66>

Информация об авторах

Малыгин Вячеслав Борисович, начальник УТЦ кафедры УВД, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, mbv898@yandex.ru

Нгуен Нгок Хоанг Куан, магистр, заведующий кафедрой, помощник по процедурам FPL, полётный диспетчер, Центр подготовки авиационного персонала, Вьетнамская авиационная академия; аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, quannnh@mail.ru

Нечаев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой УВД, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, v.nechaev@mstuca.ru

Разов Владимир Георгиевич, кандидат технических наук, главный специалист, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, razovvg@gosniiga.ru

Authors information

Malygin Vyacheslav B., Head of the Training Center of the Air Traffic Management, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, mbv898@yandex.ru

Nguyen Ngoc Hoang Quan, Master, Head of Department, Assistant on the FPL Procedures, Flight Dispatcher, Aviation Staff Training Center, Vietnam Aviation Academy; Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, s.bokov@mstuca.aero quannnh@mail.ru

Nechaev Vladimir N., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Air Traffic Control, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, v.nechaev@mstuca.ru

Razov Vladimir G., Candidate of Sciences (Engineering), Chief Specialist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, razovvg@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 20.01.2025; одобрена после рецензирования 19.03.2025; принята к публикации 26.03.2025.
The article was submitted 20.01.2025; approved after reviewing 19.03.2025; accepted for publication 26.03.2025.

Обзорная статья
УДК: 656.078.12

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЯМЫХ СМЕШАННЫХ ПЕРЕВОЗОК

(публикуется в рамках молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА)

М. В. НУШТАЕВ, М. И. МАЛЫШЕВ, И. А. БАШМАКОВ, К. И. ЗАБАЛУЕВ

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия*

Аннотация. Целью данной статьи является обобщение и систематизация теоретических основ функционирования информационно-аналитических платформ в логистике, в частности, в области организации прямых смешанных перевозок (ПСП). Повышение эффективности планирования перевозок на основе информационно-аналитических платформ позволяет сократить затраты, повысить уровень обслуживания заказчиков и укрепить позиции компаний, предоставляющих услуги на рынке логистики. Даны описания основ планирования и управления ПСП на основе информационно-аналитической платформы, а также практических аспектов и возможностей цифровизации логистической сферы.

Ключевые слова: информационно-аналитическая платформа, организация перевозок, логистические процессы, прямые смешанные перевозки, цифровизация в логистике, транспортные системы страны

Для цитирования: Нуштаев М. В., Малышев М. И., Башмаков И. А., Забалуев К. И. Особенности информационно-аналитической платформы для организации прямых смешанных перевозок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 88–95.

FEATURES OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL PLATFORM FOR ORGANIZING DIRECT MIXED TRANSPORTATION

M. V. NUSHTAYEV, M. I. MALYSHEV, I. A. BASHMAKOV, K. I. ZABALUEV

(Published as part of the implementation of the youth policy of the Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation)

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Abstract. The research is devoted to the generalization and systematization of the theoretical foundations of the functioning of information and analytical platforms in logistics, in particular in the field of direct multimodal transport (DMT). Improving the efficiency of transportation planning based on information and analytical platforms allows you to reduce costs, increase the level of service and strengthen the company's position in the logistics market. The research focuses on the theoretical foundations of planning and management of DMT based on an information and analytical platform, as well as practical aspects and possibilities of digitalization of the logistics sector.

Keywords: information and analytical platform, organization of transportation, logistics processes, direct intermodal transportation, digitalization in logistics, transport systems of the country

For citation: Nushtayev M. V., Malyshev M. I., Bashmakov I. A., Zabaluev K. I. Features of the information and analytical platform for organizing direct mixed transportation. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 88–95. (In Russ.)

Введение

Глобальная цифровизация обусловила организационные изменения в бизнес-процессах, в том числе и в логистике. Современные логистические операторы работают уже не с отдельными операциями, а с цепями поставок, производят их формирование и профессионально управляют ими. Именно благодаря цифровой трансформации стало возможным внедрение в логистические процессы инновационных идей и технологий, поднимающих на новый уровень организацию логистики.

Предприятия-производители создают операционную сеть, используя физическую цепочку поставок, интеллектуальные процессы и финансовую систему в качестве основы бизнес-модели производства и распределения товаров. К интеллектуальным процессам относятся сбор, хранение, обработка, анализ, обмен и другие действия с данными, выполняемые с помощью компьютерных систем. Производственно-распределительная сеть организуется с использованием технологий ПСП.

Под ПСП понимается вид перевозки грузов, применяемый в случае технологической необходимости или экономической целесообразности использования нескольких видов транспорта в рамках одной доставки. Это перевозка грузов разными видами транспорта, организованная и выполняемая одним ответственным лицом на основании одного договора, по единому транспортному документу, оформленному на весь путь следования, и по единому сквозному тарифу. Если просто смешанная перевозка предполагает использование нескольких различных видов транспорта, то ПСП ещё и обеспечивается единым транспортным документом.

Информационно-аналитическая платформа – это специализированная система, которая объединяет в себе сбор, обработку и анализ данных. Основная цель использования информационно-аналитической платформы – контроль расходования ресурсов и оптимизация расходов на транспортировку грузов посредством выбора кратчайшего маршрута следования к местам переработки в рамках производства или реализации товаров, а также электронное сопровождение логистических процессов. Информационно-аналитическая платформа использует программно-аппаратные комплексы и средства телематики для обеспечения интеллектуальных процессов и сервисов, предоставляемых операторами потребителям транспортно-логистических услуг.

При современных уровнях развития интернета и корпоративных информационных технологий модель смешанных перевозок опирается на актуальные информационно-аналитические платформы, собирающие, интегрирующие и использующие информационные ресурсы для совмещения сетей с большими данными и информацией внутренних структурных подразделений, с клиентами, а также с государственными регулирующими ведомствами. Это требует соответствующих ресурсов, поэтому на информационные системы приходится от 10 % до 20 % всех логистических издержек [1].

Обзор ранее выполненных исследований

Информационные технологии используются во всех аспектах логистики и организации смешанных перевозок [2]. Информационно-аналитическая платформа, как система, объединяющая действия с большими данными, включает в себя компьютерные и сетевые технологии для классификации и кодирования информации, штрих-кодирование, радиочастотную идентификацию, электронный обмен данными. Это обеспечивает минимизацию издержек, связанных с перемещением товаров. Некоторые компании транспортной отрасли используют глобальные

навигационные спутниковые системы (ГЛОНАСС, GPS и др.), а также географическую информационную систему (ГИС).

Информационные технологии являются существенной составляющей модернизации системы смешанных перевозок и самой быстрорастущей составляющей логистики. Системы штрихового кодирования для сбора данных, Интернет, различное терминальное оборудование, аппаратное и компьютерное программное обеспечение интенсивно развиваются [3]. В то же время с непрерывным развитием логистических информационных технологий появился ряд новых концепций и методов управления смешанными перевозками, которые способствовали трансформации отрасли [4].

Успешные транспортные предприятия используют информационные технологии для поддержки своих бизнес-стратегий и выбора бизнес-операций [5], за счёт чего повышается эффективность и расширяются возможности принятия бизнес-решений по всей цепочке поставок. В [6] приводится состав информационно-аналитической платформы организации ПСП.

Отмечается роль штрих-кодов в информационно-аналитическом обеспечении процесса организации ПСП. Применение технологии штрих-кодирования может не только эффективно уменьшить ошибки ручного управления и повысить эффективность работы, но и снизить затраты на сортировку и способствовать повышению финансовых выгод [7]. Штрих-код является технической основой для реализации POS-систем, EDI (электронный обмен данными – обмен структурированными данными с помощью электронных средств с использованием стандартизированного формата и компьютерной сети), электронной коммерции и управления цепочками поставок.

RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) автоматически идентифицирует целевой объект с помощью радиочастотных сигналов для получения данных, соответствующих определенным требованиям. Идентификация не требует ручного вмешательства и может выполняться в самых разных условиях [6]. Радиочастотные устройства малого радиуса действия не боятся воздействий окружающей среды, таких как загрязнение пылью, и могут заменить штрих-коды, например, для отслеживания объектов на сборочных линиях заводов. Радиочастотные устройства дальнего действия в основном используются в дорожном движении, и расстояние идентификации может достигать десятков метров, например, для автоматического взимания платы за проезд или идентификации транспортных средств [8].

ГИС технологии основаны на геопространственных данных и используют методы анализа географических моделей для своевременного предоставления разнообразной пространственной и динамической географической информации. Основная функция ГИС заключается в преобразовании табличных данных (независимо от того, поступают ли они из базы данных, файла электронной таблицы или непосредственно вводятся в программу) в географическое графическое изображение для последующего анализа отображаемых результатов [9].

Глобальные навигационные системы, обеспечивающие всестороннюю трёхмерную навигацию в режиме реального времени и позиционирование в море, на суше и в воздухе [10], могут быть использованы в области организации ПСП для отслеживания и диспетчеризации, а также для управления железнодорожными перевозками и военной логистикой [11].

Развитие информационных технологий, увеличение объёмов товарооборота и рост конкурентной борьбы в логистической индустрии делают эффективное планирование и управление ПСП критически важными задачами для транспортных компаний [12], что требует отражения новых бизнес-моделей (рис. 1) в стандартах систем управления [13].

Важное значение для организации ПСП имеет анализ прогнозных данных, характеризующих развитие сегмента роботакси [14]. В ближайшем будущем ожидается активное внедрение инновационных транспортных средств в организацию смешанных перевозок (рис. 2).

Использование некоторых видов беспилотных летательных аппаратов при организации перевозок позволяет значительно оптимизировать (рис. 3) затрачиваемые при транспортировке груза ресурсы [15].



Рис. 1. Новые бизнес-модели в сфере управления смешанными перевозками

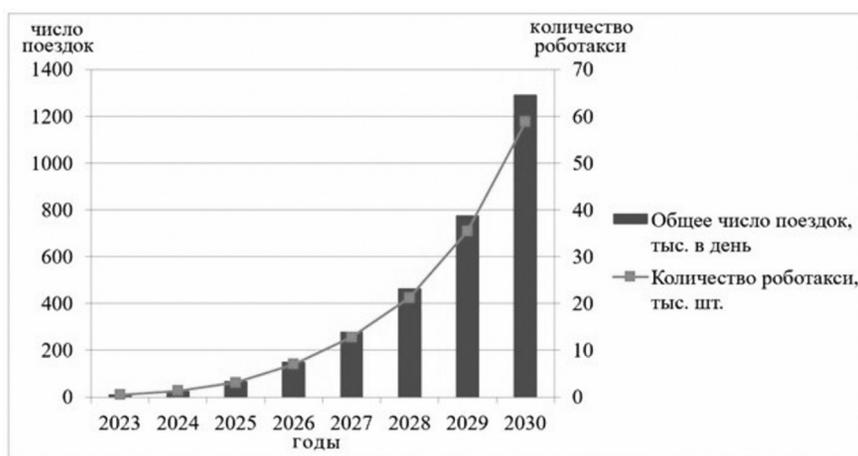


Рис. 2. Прогноз развития сегмента роботакси в России до 2030 г.

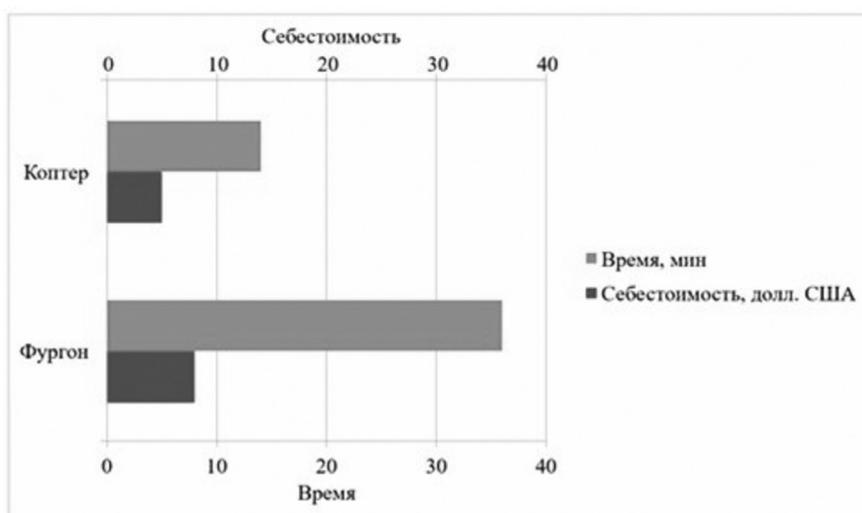


Рис. 3. Сравнительный анализ расходов при доставке посылки коптером и фургоном (без учёта первоначальных затрат)

В условиях рынка, где скорость и надёжность доставки имеют приоритетное значение для клиентов, транспортная компания сталкивается с необходимостью постоянного совершенствования планирования ПСП по таким направлениям, как: эффективное распределение ресурсов, оптимизация маршрутов, управление временными и финансовыми ресурсами, обеспечение приемлемого уровня обслуживания клиентов с помощью информационно-аналитических платформ [16].

Развитие технологий глобального спутникового позиционирования дало возможность использовать навигационные спутниковые системы при транспортировке и позиционировании товаров в рамках ПСП. Грузополучатели могут определять местоположение и запрашивать статус логистики товаров в режиме реального времени [17], а компания-перевозчик – следить за грузами на протяжении всего процесса ПСП, чтобы эффективно обеспечить безопасность операционной деятельности [18].

Многим транспортно-логистическим компаниям, в том числе их руководящим структурам, не хватает опыта управления информацией о смешанных перевозках. С развитием информационных технологий в транспортно-логистических компаниях применяется все больше технологий, использующих ГЛОНАСС и GPS, ГИС, EDI. Однако, согласно последним данным о применении технологий информационно-аналитических платформ транспортно-логистическими компаниями, опубликованным соответствующими департаментами, установлено, что в реальной деятельности применение GPS, EDI, других технологий в управлении построением и планированием ПСП составляет в России $\leq 25\%$, в то время как на международном уровне данный показатель достигает 60% [19].

Обсуждение результатов

Планирование и организация ПСП в рамках логистики относится к процессу определения целей развития логистической системы и разработки стратегий и действий для их достижения. Фактически – это план процессов при осуществлении перевозок.

При организации ПСП информационно-аналитическая платформа позволяет автоматизировать работу оборудования в логистических операциях, включая транспортировку, погрузку и разгрузку, автоматическую сортировку, идентификацию и другие операционные процессы [20]. Планирование и организация ПСП на основе информационно-аналитической платформы включает такие составляющие как: 1) цели обслуживания клиентов (уровень обслуживания, функциональное позиционирование); 2) логистическая сеть (расположение логистических узлов, их количество, функции и транспортные каналы); 3) внутренняя планировка логистических узлов; 4) система хранения данных; 5) управление перевозками; 6) операционное управление; 7) организация управления [21].

Для эффективного управления планированием и организацией ПСП на основе информационно-аналитических платформ требуются значительные инвестиции, которыми отечественные транспортно-логистические компании не располагают. Отечественные транспортно-логистические компании явно отстают от общих тенденций в сфере информационных технологий развитых стран Азии, Северной Америки и Европы. Доля инвестиций в информационное управление в России в современных условиях непропорциональна масштабам логистики, складирования и транспортировки.

Заключение

Рассмотрены направления применения при организации ПСП технологий штрих-кодов, RFID, EDI и ГИС, которые позволяют снизить риски и способствуют повышению надёжности и безопасности перевозок.

Информационные технологии, в частности, информационно-аналитические платформы, всё более широко используются в развитии логистической отрасли, организации перевозок,

а технологии CIS (Corporate informational system, Корпоративная информационная система) и штрих-кодов используются во всех бизнес-процессах.

Из приведённого обзора следует вывод о том, что реализация концепции информационного построения и активного внедрения информационно-аналитических платформ управления ПСП имеет стратегическое значение для будущего развития транспортно-логистических компаний.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Список источников

1. Волков В. Д., Герами В. Д. Системно-операционные основы логистики и управления цепями поставок // Интегрированная логистика. 2011. № 2. С. 6–10.
2. Романов А. С. Уточнение понятийного аппарата процессов взаимодействия различных видов транспорта при организации смешанных перевозок // Бюллетень результатов научных исследований. 2019. № 2. С. 99–107.
3. Мельников А. Р., Мельникова М. А., Мельникова И. П., Костюченко А. А. О роли оператора смешанной перевозки при организации смешанных перевозок грузов // International Journal of Advanced Studies. 2019. Т. 9. № 2. С. 59–70.
4. Гриневич Я. А., Хлусова О. С., Рзун И. Г. Оценка эффективности смешанных перевозок при организации работы транспортного узла // Естественно-гуманитарные исследования. 2019. № 26(4). С. 80–89.
5. Илюхина С. С. Информационные технологии в логистике транспортного узла // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. С. 256–263.
6. Анисифоров А. Б. Модель информационно-сервисной поддержки корпоративных логистических процессов в архитектуре предприятия // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2023. № 1. С. 54–61.
7. Бауэр А. В. Реализация единой информационно-логистической платформы в рамках взаимодействия видов транспорта с пользователями транспортных услуг // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2022. № 64. С. 4–12.
8. Бауэр А. В. Разработка единой информационной системы управления перевозочным процессом при взаимодействии видов транспорта // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2021. № 61. С. 48–57.
9. Boonuk T., Rungkarn I. Development of a traffic accident simulation system for main roads in Loei Province, Thailand: Application of a geographic information system and multiple logistic regression with clustering. *Indonesian Journal of Geography*, 2023, № 1. pp. 129–135.
10. Андреев О. П., Тамбовцев М. А. Снижение простоев подвижного состава автомобильного транспорта с использованием систем глобального позиционирования // Международный научный журнал. 2015. № 3. С. 74–76.
11. Кузьмина М. А., Надирян С. Л., Чернобривец Е. О. Основные концепции развития технологий мультимодальных перевозок // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2015. № 6. С. 68–72. <http://ntk.kubstu.ru/file/460>
12. Гольшкова И. Н., Лобачёв В. В., Метёлкин П. В. Развитие транспортного сектора экономики России в условиях глобализации // e-management. 2018. Т. 1. № 2. С. 20–29.
13. Захаров В. В., Баранов А. Ю., Соколов Б. В. Разработка и внедрение элементов информационно-аналитической платформы для решения транспортно-логистических задач // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2023. № 2. С. 118–125.
14. Mamatov S. Mechanisms of implementation of logistics information systems in the activities of enterprises. *Economics and education*, 2023, no. 4, pp. 307–313.

15. Андрианова Н. В. Информационные платформы в системе государственных и корпоративных закупок // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 14. С. 267–268.
16. Мельников А. Р., Мельникова М. А., Мельникова И. П., Костюченко А. А. О правовых нормах, регламентирующих ответственность перевозчика при перевозке груза // *International Journal of Advanced Studies*. 2020. Т. 10. № 3. С. 157–164.
17. Бафанов А. П. Структура и классификация комбинированных пассажирских перевозок // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022. № 11. С. 1–8.
18. Гаспарович Е. О., Готман И. В. Логистика персонала в условиях цифровизации // *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*. 2021. Т. 19. № 1. С. 42–50.
19. Еналеева-Бандура И. М., Давыдова А. Л. Логистико-математическая модель транспортно-технологического процесса поставки лесного сырья в условиях смешанных перевозок // *Хвойные бореальной зоны*. 2019. Т. XXXVII. № 2. С. 149–153.
20. Медникова О. В., Матвиевская Т. Б. Дигитализация рынка транспорта и логистики: интеграция информационных систем. Российский опыт внедрения цифровых технологий в организации логистических процессов // *Вестник Академии знаний*. 2021. № 45. С. 197–205.
21. Семенова А. А., Мамиствалов И. Ш. Внедрение цифровых и информационных технологий в сферу оказания логистических услуг // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 6. С. 148–156.

References

1. Volkov V. D., Gerami V. D. System and operational fundamentals of logistics and supply chain management. *Integrated logistics*, 2011, no. 2, pp. 6–10.
2. Romanov A. S. Refinement of the conceptual framework for interaction processes of different types of transport when providing multimodal transportation. *Bjulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij*, 2019, no. 2, pp. 99–107. (In Russ.)
3. Melnikov A. R., Melnikova M. A., Melnikova I. P., Kostyuchenko A. A. About the role of the operator of the mixed transportation at the organization of the mixed transportation of goods. *International Journal of Advanced Studies*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 59–70. (In Russ.)
4. Grinevich Ya. A., Khlusova O. S., Rzun I. G. Assessment of the efficiency of multimodal transport in the organization of the transport hub. *Natural-Humanitarian Studies*, 2019, no. 26(4), pp. 80–89. (In Russ.)
5. Ilyukhina S. S. Information technology in transport hub logistics. *Innovatsii i investitsii*, 2020, no. 2, pp. 256–263. (In Russ.)
6. Anisiforov A. B. Model of information and service support of corporate logistical process in an enterprise architecture. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*, 2023, no. 1, pp. 54–61. (In Russ.)
7. Bauer A. V. Implementation of a unified information and logistics platform in the framework of the interaction of modes of transport with users of transport services. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2022, no. 64, pp. 4–12. (In Russ.)
8. Bauer A. V. Development of a unified information system for managing the transportation process in interaction of types of transport. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2021, no. 61, pp. 48–57. (In Russ.)
9. Boonnuk T., Rungkarn I. Development of a traffic accident simulation system for main roads in Loei Province, Thailand: Application of a geographic information system and multiple logistic regression with clustering. *Indonesian Journal of Geography*, 2023, no. 1, pp. 129–135.
10. Andreev O. P., Tambovtsev M. A. Reducing downtime of rolling stock of road transport using global positioning systems. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*, 2015, no. 3, pp. 74–76. (In Russ.)
11. Kuzmina M. A., Nadiryan S. L., Chernobrivets E. O. The core concepts of technology development of multimodal transport. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*, 2015, no. 6, pp. 68–72. (In Russ.)

12. Golyshkova I. N., Lobachev V. V., Metelkin P. V. Development of the transport sector of the Russian economy in the context of globalization. *e-management*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 20–29. (In Russ.)
13. Zakharov V. V., Baranov A. Yu., Sokolov B. V. Development and implementation of elements of an information and analytical platform for solving transport and logistics problems. *Journal of Instrument Engineering*, 2023, no. 2. pp. 118–125. (In Russ.)
14. Mamatov S. Mechanisms of implementation of logistics information systems in the activities of enterprises. *Economics and education*, 2023, no. 4, pp. 307–313.
15. Andrianova N. V. Information platforms in the system of public and corporate procurement. *Innovation & Investment*, 2019, no. 9, pp. 267–268. (In Russ.)
16. Mel'nikov A. R., Mel'nikova M. A., Mel'nikova I. P., Kostyuchenko A. A. On legal norms regulating the carrier's liability in the transportation of goods. *International Journal of Advanced Studies*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 157–164. (In Russ.)
17. Bafanov A. P. Structure and classification of combined passenger traffic. *International Research Journal*, 2022, no. 11, pp. 1–8. (In Russ.)
18. Gasparovich E. O., Gotman I. V. Personnel logistics in the conditions of digitalization. *Herald of Omsk University. Series "Economics"*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 41–49. (In Russ.)
19. Enaleeva-Bandura I. M., Davydova A. L. Logistic-mathematical model of transport and technological process of forest raw material supply in conditions of mixed transport. *Conifers of the boreal area*, 2019, vol. XXXVII, no. 2, pp. 149–153. (In Russ.)
20. Mednikova O. V., Matvievskaya T. B. Digitalization of the transport and logistics market: integration of information systems. Russian experience in the implementation of digital technologies in the organization of logical processes. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2021, no. 45, pp. 197–205. (In Russ.)
21. Semenova A. A., Mamistvalov I. Sh. Introduction of digital and information technologies in the field of logistics services. *Innovation & Investment*, 2019, no. 6, pp. 148–156. (In Russ.)

Информация об авторах

Нуштаев Максим Владимирович, студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, maks.nushtaev@mail.ru

Мальшев Максим Игорьевич, кандидат технических наук, доцент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, dicorus@mail.ru

Башмаков Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, bashmakov-igor@rambler.ru

Забалуев Кирилл Игоревич, аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, Zabaluevkir@gmail.com

Authors information

Nushtayev Maksim V., Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, maks.nushtaev@mail.ru

Malyshev Maksim I., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, dicorus@mail.ru

Bashmakov Igor A., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, bashmakov-igor@rambler.ru

Zabaluev Kiril I., Graduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, zabaluevkir@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2025; принята к публикации 24.03.2025.
The article was submitted 04.12.2024; approved after reviewing 17.03.2025; accepted for publication 24.03.2025.

Научная статья
УДК 351.814.2:351.814.3

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ НАБЛЮДЕНИЯ

В. Б. СПРЫСКОВ, Е. В. ШУВАЛОВА, С. В. КУЗНЕЦОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы расширения моделей безопасности полётов ВС при организации воздушного движения с использованием информации наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД) путём добавления в них актуальных значений факторов рисков катастроф. Показано, что управление безопасностью может быть обеспечено не только путём традиционного подхода, основанного на выполнении требований безопасности по отношению к значениям факторов безопасности, но и на основе взаимной компенсации влияния факторов на риск катастроф. Особое внимание уделено факторам влияния отказов подсистем CNS/ATM на безопасность полётов при организации воздушного движения.

Ключевые слова: обслуживание воздушного движения, система наблюдения, безопасность полётов, факторы безопасности, требования безопасности, риск катастроф, транспортные системы страны

Для цитирования: Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В. Управление безопасностью полётов при организации воздушного движения с использованием информации наблюдения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 96–103.

FLIGHT SAFETY MANAGEMENT IN AIR TRAFFIC MANAGEMENT USING SURVEILLANCE INFORMATION

V. B. SPRYSKOV, E. V. SHUVALOVA, S. V. KUZNETSOV

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

Abstract. The issues of equipping aircraft safety models when organizing air traffic using air traffic services surveillance information with current values of accident risk factors are considered. It is shown that safety management can be ensured not only through the traditional approach associated with meeting safety requirements in relation to the values of safety factors, but also on the basis of mutual compensation of the influence of factors on the risk of disasters. Particular attention is paid to the factors influencing the failure of CNS/ATM subsystems on flight safety during air traffic management.

Keywords: air traffic service, surveillance system, flight safety, safety factors, safety requirements, disaster risk, transport systems of the country

For citation: Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V. Flight safety management in air traffic management using surveillance information. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 96–103. (In Russ.)

Введение

Под безопасностью полётов при организации воздушного движения (ОрВД) в транспортных системах страны будем понимать такое состояние планирования воздушного пространства, потоков воздушного движения, управления воздушным движением (англ. air traffic management, ATM), технического оснащения подсистем связи, навигации и наблюдения (CNS), при котором безопасность воздушного движения находится на уровне, который удовлетворяет целевым значениям, принятым в отечественной практике.

Факторы рисков подсистем CNS/ATM, участвующие в формировании оценок технического и полного рисков катастроф при ОрВД, рассмотрены в работах [1–6]. Там же показано, что в отдельных случаях может происходить взаимная компенсация факторов, оказывающих влияние на значения технического и полного риска безопасности. Поэтому для обеспечения безопасности на практике возможны варианты, когда отдельные профильные требования для компонент подсистем CNS/ATM не выполнены, но за счёт фактических значений других факторов рисков уровни технического и полного рисков удовлетворяют целевым значениям.

Такой подход к обеспечению безопасности полётов при ОрВД предполагает наличие надёжной и всеобъемлющей оценки значений факторов безопасности, к которым следует отнести:

1. Факторы, относящиеся к системе наблюдения ОВД:

- точность наблюдения (определения горизонтальных координат ВС) (rms_S [км]);
- интервал времени обновления информации наблюдения (T_0 [с]);
- вероятности обновления информации наблюдения в течение T_0 (P_0, P_1, P_2, P_3);
- частота использования системы наблюдения для обеспечения горизонтального эшелонирования ВС F [1/лётн.ч].

2. Факторы воздушного движения:

- минимальный интервал горизонтального эшелонирования (S_{min} [км]);
- средние линейные размеры ВС в воздушном движении (l_γ [м]);
- средняя путевая скорость ВС (W [км/ч]);
- весовые доли w_γ типов движения ВС друг относительно друга с разными углами пересечения направлений движения γ ($w_{\gamma=0^\circ}, w_{\gamma=180^\circ}, w_{0^\circ < \gamma < 90^\circ}, w_{90^\circ < \gamma < 180^\circ}$);
- точность выдерживания ВС линии заданного пути (навигации) (rms_N [км]);

3. Факторы надёжности подсистем CNS/ATM:

- эксплуатационная готовность системы CNS/ATM;
- эксплуатационная непрерывность связи ($Cont_C$);
- эксплуатационная непрерывность наблюдения ($Cont_S$);
- эксплуатационная непрерывность диспетчеров службы ОВД, специалистов служб других подсистем полной системы ($Cont_{ATM}$).

Далее покажем, как обеспечить надёжную и всеобъемлющую оценку значений факторов безопасности воздушного движения с целью управления безопасностью полётов.

Оценка значений факторов состояния системы наблюдения на основе анализа информации наблюдения ОВД

Важнейшим фактором системы наблюдения является точность определения горизонтальных координат ВС (rms_S [км]). Эту традиционную задачу ОВД решают на постоянной основе, а в [7] показаны новые подходы к её решению, в том числе без использования самолёта-лаборатории.

Частота F использования информации наблюдения ОВД является важнейшим фактором безопасности для обеспечения горизонтального эшелонирования ВС. Фактор F характеризует ОрВД в целом, и привязка его к подсистеме наблюдения условная, однако объективная оценка F возможна на основе формального анализа информации наблюдения, что доказывают следующие соображения.

Величину F оценивают подсчётом случаев близости ВС как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Само состояние близости определяют так: в горизонтальной плоскости ВС находятся на контролируемой системой наблюдения дистанции меньшей чем $1,5S_{\min}$, и при этом вертикальное разделение ВС находится в интервале ± 500 фут, что указывает на отсутствие вертикального эшелонирования.

Если существует набор фактических данных об обслуженных ВС в некотором воздушном пространстве с единым установленным минимумом горизонтального эшелонирования S_{\min} , то следующий алгоритм позволяет определить величину F :

Пусть $f=0$.

Для каждой пары ВС из набора данных выполняем следующее:

- вычисляем минимальное вертикальное разделение пары ВС z ;
- вычисляем минимальное горизонтальное разделение пары ВС hor .

Если $|z| \leq 500$ фут и $hor \leq 1,5S_{\min}$, то $f=f+1$.

Далее для каждого ВС из рассматриваемого набора данных вычисляем его общее полётное время t_{Σ} . Введём сумматор $T=0$. Просуммируем время по всем рассматриваемым ВС: $T=T+t_{\Sigma}$. Определим F как

$$F = \frac{f}{T} \left[\frac{1}{\text{лётн.ч}} \right].$$

Интервал времени обновления информации наблюдения T_0 [с] вычисляем следующим образом. Для каждого ВС из рассматриваемого набора данных определяем число измерений координат ВС n_{Σ} за время t_{Σ} . T_0 рассчитаем как

$$T_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} [\text{с}].$$

Вероятности обновления информации наблюдения в течение интервала T_0 : P_0 – вероятность обновления информации наблюдения или 0 (ноль) пропусков обновления; P_1, P_2, P_3 – вероятности 1 (одного), 2 (двух), 3 (трёх) пропусков информации наблюдения соответственно за интервал времени T_0 .

Пусть рассматриваемый набор обслуженных ВС состоит из N экземпляров. Рассмотрим интервалы времени обновления информации наблюдения для каждого i -го ($i=1, \overline{N}$) обслуженного ВС. Обозначим t_j^i – время поступления информации j -го наблюдения от i -го обслуженного ВС из рассматриваемого набора данных, n_i – общее число фиксаций положений i -го ВС. Используем счётчики; изначально $sch_i^0 = sch_i^1 = sch_i^2 = sch_i^3 = 0$, далее для $j=1, n_i-1$ правила счёта следующие:

$$\begin{aligned} &\text{если } \left(T_0 - \frac{T_0}{10} \right) \leq (t_{j+1}^i - t_j^i) \leq \left(T_0 + \frac{T_0}{10} \right), \text{ то } sch_i^0 = sch_i^0 + 1; \\ &\text{если } \left(2T_0 - \frac{2T_0}{20} \right) \leq (t_{j+1}^i - t_j^i) \leq \left(2T_0 + \frac{2T_0}{20} \right), \text{ то } sch_i^1 = sch_i^1 + 1; \\ &\text{если } \left(3T_0 - \frac{3T_0}{30} \right) \leq (t_{j+1}^i - t_j^i) \leq \left(3T_0 + \frac{3T_0}{30} \right), \text{ то } sch_i^2 = sch_i^2 + 1; \\ &\text{если } \left(4T_0 - \frac{4T_0}{40} \right) \leq (t_{j+1}^i - t_j^i) \leq \left(4T_0 + \frac{4T_0}{40} \right), \text{ то } sch_i^3 = sch_i^3 + 1. \end{aligned}$$

Вероятности обновления информации наблюдения:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^N sch_i^0}{\sum_{i=1}^N n_i}; \quad P_1 = \frac{\sum_{i=1}^N sch_i^1}{\sum_{i=1}^N n_i}; \quad P_2 = \frac{\sum_{i=1}^N sch_i^2}{\sum_{i=1}^N n_i}; \quad P_3 = \frac{\sum_{i=1}^N sch_i^3}{\sum_{i=1}^N n_i}.$$

Оценка значений факторов воздушного движения на основе анализа информации системы наблюдений ОВД

Оценку значений факторов воздушного движения будем выполнять, как и в предыдущем случае, применительно к некоторому реально существующему набору данных системы наблюдения ОВД, относящихся к обслуживаемым ВС в воздушном пространстве с единым установленным минимумом горизонтального эшелонирования S_{\min} . Значения факторов воздушного движения, такие, как l_γ , W , γ и навигационные характеристики ВС (rms_N) будут зависеть от величины применяемого минимума S_{\min} .

Одним из основных условий осуществления воздушного движения является точность навигации rms_N .

Для оценки линейного размера усреднённого ВС l_γ по рассматриваемому набору обслуживаемых ВС поступают традиционно:

- разделяют весь набор на типы обслуживаемых ВС с выделением вероятностной доли по отдельным типам;
- определяют средний размер ВС по длине и ширине с учётом вычисленных долей типов ВС;
- величину l_γ приравнивают к максимальному значению из двух средневзвешенных размеров.

Для средней путевой скорости ВС по рассматриваемому набору обслуживаемых ВС поступают следующим образом:

- для каждого i -го ВС из рассматриваемого набора данных вычисляют время полёта t_i и оценивают пройденный путь l_i ;
- вычисляют среднюю скорость как $W_i = l_i / t_i$;
- вычисляют среднюю скорость по всей совокупности ВС $i = \overline{1, N}$.

Для вычисления весовых долей типов относительного движения ВС в горизонтальной плоскости w_γ используем счётчики для углов γ :

- изначально $sch_{\gamma=0^\circ} = sch_{\gamma=180^\circ} = sch_{0^\circ < \gamma \leq 90^\circ} = sch_{90^\circ < \gamma < 180^\circ} = 0$, далее правила счёта следующие:
- выделяем в наборе обслуживаемых ВС пары, для которых горизонтальные и вертикальные интервалы ≤ 10 соответствующих минимальных интервалов;
- вычисляем угол γ между направлениями движения (ортодромиями) рассматриваемой пары ВС;
- добавляем единицу в соответствующий счётчик;
- искомые весовые доли типов относительного движения ВС в горизонтальной плоскости оцениваем как отношения

$$w_{\gamma=0^\circ} = \frac{sch_{\gamma=0^\circ}}{M}; \quad w_{\gamma=180^\circ} = \frac{sch_{\gamma=180^\circ}}{M}; \quad w_{0^\circ < \gamma \leq 90^\circ} = \frac{sch_{0^\circ < \gamma \leq 90^\circ}}{M}; \quad w_{90^\circ < \gamma < 180^\circ} = \frac{sch_{90^\circ < \gamma < 180^\circ}}{M},$$

где M – общее количество оценок путевых углов ВС для рассматриваемого набора данных системы наблюдения по обслуживаемым ВС с единым минимумом горизонтального эшелонирования S_{\min} .

Оценка значений факторов надёжности и непрерывности элементов системы CNS/ATM, влияющих на безопасность полётов при ОрВД

В [1] обоснована модель так называемого технического риска катастроф $N_a^{\text{tech}}(S_{\min})$, характеризующего безопасность полётов при ОрВД для безотказно функционирующей (готовой) системы CNS/ATM. Риск катастроф в этом случае возникает исключительно вследствие технических ошибок и особенностей функционирования составных частей полной системы. Значения факторов наблюдения и воздушного движения оцениваются посредством обработки информации наблюдения с единым значением S_{\min} .

Логическая схема надёжности составных частей CNS/ATM при оценивании $N_a^{\text{tech}}(S_{\min})$ представляет собой основное (последовательное) соединение.

Если готовность подсистемы связи системы ОрВД равна A_C , готовность подсистемы наблюдения равна A_S , готовность подсистемы ATM системы ОрВД равна A_{ATM} , то готовность полной системы $A_{\text{CNS/ATM}} = A_C A_S A_{\text{ATM}}$.

Для существующих значений готовностей подсистем CNS/ATM полной системы $A_{\text{CNS/ATM}}$ практически равна 1. Например, при $A_C = A_S = A_{\text{ATM}} = 0,997$ значение $A_{\text{CNS/ATM}} = 0,991$.

На рис. 1 представлена логическая схема соединения надёжностей подсистем при исправно работающей системе CNS/ATM.

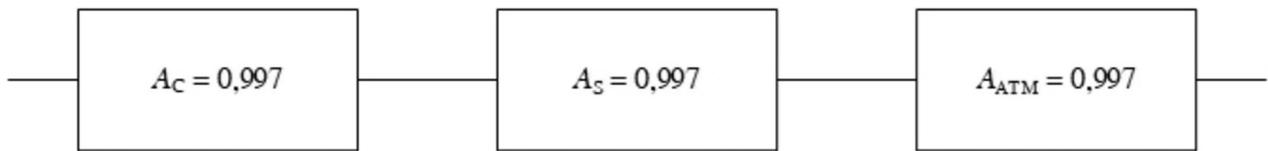


Рис 1. Логическая схема соединения надёжностей подсистем при исправно работающей системе CNS/ATM

В [4] обоснована полная (total) модель безопасности воздушного движения, включающая как риски при исправно работающих основных частях системы, так и риски при отказах ОрВД или связи, или наблюдения:

$$N_a^{\text{total}}(S_{\min}) = A_{\text{CNS/ATM}} N_a^{\text{tech}}(S_{\min}) + (Cont_C + Cont_S + Cont_{\text{ATM}}) N_{a_{\text{failure}}} (S_{\min}). \quad (1)$$

Там же приведены целевые уровни рисков катастроф

$$TLS_{\text{CNS/ATM}}^{\text{tech}} = 5 \cdot 10^{-10} \left[\frac{1}{\text{лётн.ч}} \right]; \quad TLS_{\text{CNS/ATM}}^{\text{total}} = 5 \cdot 10^{-9} \left[\frac{1}{\text{лётн.ч}} \right]$$

и математическая модель риска $N_{a_{\text{failure}}}(S_{\min})$.

При расчёте значения риска в случаях отказов подсистем CNS/ATM необходимо использовать фактические значения F , S_{\min} и характеристик навигации (rms_N [км]), способы оценивания которых изложены ранее в настоящей статье.

Рассмотрим правую часть модели (1). Значения $A_{\text{CNS/ATM}} N_a^{\text{tech}}(S_{\min})$ имеют порядок $5 \cdot 10^{-10} (\text{лётн.ч})^{-1}$. При реально достигнутых значениях частоты применения процедуры горизонтального эшелонирования (F), используемого минимума горизонтального эшелонирования (S_{\min}) и точности навигации rms_N в существующих системах CNS/ATM $N_{a_{\text{failure}}}(S_{\min})$ имеет уровень значений порядка 10^{-4} . Следовательно, суммарная непрерывность CNS/ATM обязана иметь значения в районе $4,5 \cdot 10^{-5}$, что даёт примерно $1,5 \cdot 10^{-5}$ на одну подсистему CNS/ATM.

Технически и организационно такого уровня надёжности достичь без резервирования невозможно. Поэтому безопасная система CNS/ATM должна иметь как минимум по две подсистемы наблюдения ОВД и авиационной электросвязи и двух или трёх диспетчеров ОВД на канале управления.

На рис. 2 представлена простейшая логическая схема соединения подсистем CNS/ATM, обеспечивающая приемлемый полный риск катастроф при отказах связи или наблюдения или ATM.

Пусть в результате мониторинга значений факторов надёжности получены оценки эксплуатационных готовностей A_{C1} и A_{C2} , A_{S1} и A_{S2} , A_{ATM1} и A_{ATM2} . Тогда непрерывность ($Cont$) и готовность (A) подсистем авиационной электросвязи, наблюдения и ATM следует оценивать как:

$$Cont_C = (1 - A_{C1})(1 - A_{C2}); \quad A_C = 1 - Cont_C;$$

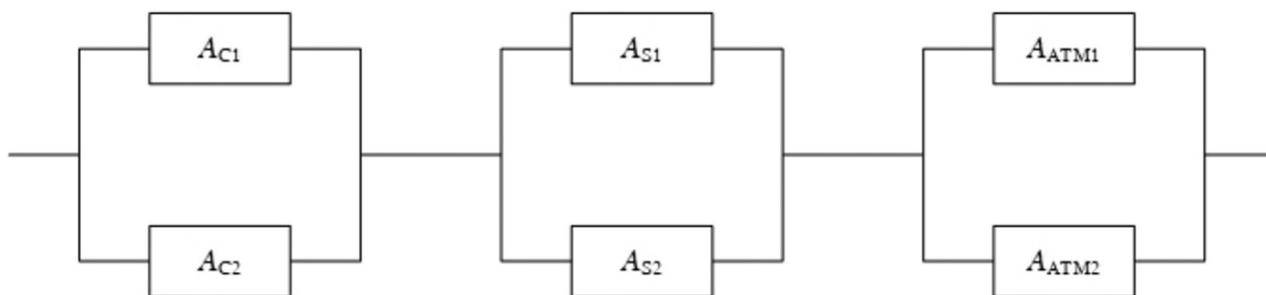


Рис 2. Простейшая логическая схема резервирования подсистем CNS/ATM

$$Cont_S = (1 - A_{S1})(1 - A_{S2}); A_S = 1 - Cont_S;$$

$$Cont_{ATM} = (1 - A_{ATM1})(1 - A_{ATM2}); A_{ATM} = 1 - Cont_{ATM}.$$

Пусть $A_{C1} = A_{C2} = 0,997$; $A_{S1} = A_{S2} = 0,0997$; $A_{ATM1} = A_{ATM2} = 0,997$. Рассчитаем значения параметров готовности и непрерывности для системы:

$$Cont_C = 9 \cdot 10^{-6}; Cont_S = 9 \cdot 10^{-6}; Cont_{ATM} = 9 \cdot 10^{-6};$$

$$A_C = 0,999991; A_S = 0,999991; A_{ATM} = 0,999991;$$

$$A_{CNS/ATM} = A_C A_S A_{ATM} = 0,999973; Cont_{CNS/ATM} = 1 - A_{CNS/ATM} = 0,000027;$$

$$Cont_C + Cont_S + Cont_{ATM} = 27 \cdot 10^{-6} = 2,7 \cdot 10^{-5}.$$

Значение $2,7 \cdot 10^{-5}$ удовлетворяет величине $TLS_{CNS/ATM}^{total} = 4,5 \cdot 10^{-9}$.

Факторы надёжности (готовности) и отказов (непрерывности) подсистем системы CNS/ATM необходимо оценивать на постоянной основе в процессе управления и обеспечения безопасности полётов при ОрВД. При этом оценивании особенно важен подход к расчёту текущих значений и формированию заданных значений факторов A_{ATM} и $Cont_{ATM}$, так как эти факторы связаны с диспетчерами ОВД и специалистами технических подсистем ОрВД. Управление факторами A_{ATM} и $Cont_{ATM}$ предпочтительно выполнять силами специалистов дирекции безопасности предприятий ОрВД.

Заключение

Рассмотрена концепция управления безопасностью полётов при ОрВД на основе анализа факторов риска катастроф ВС. Обоснованы процедуры оценки значений факторов подсистемы наблюдения, факторов воздушного движения и факторов надёжности подсистем CNS/ATM системы ОрВД.

Факторы готовности и непрерывности подсистем CNS/ATM не могут быть оценены исключительно с применением технических процедур из-за специфики, связанной с влиянием на значения этих факторов уровня профессиональной подготовки диспетчеров службы УВД и специалистов других служб ОрВД. Поэтому оценку влияния на безопасность полётов факторов готовности и непрерывности системы следует выполнять силами специалистов дирекции безопасности предприятия по ОрВД.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

Для обеспечения безопасности полётов при ОрВД не требуется обязательного доведения до заранее установленных значений всех факторов безопасности на том основании, что их реальные значения могут взаимно компенсировать своё влияние на риск катастроф и система будет обладать состоянием безопасности. При этом для гарантии безопасности требуется достоверная оценка значений всех факторов риска катастроф.

Достаточным условием оценки факторов технического риска катастроф $N_{aCNS/ATM}^{tech}(S_{min})$ является доступ к набору данных об уже обслуженном объёме полётов ВС с единым минимумом горизонтального эшелонирования S_{min} .

Рассмотрение полного риска катастроф при отказах связи или наблюдения или АТМ показало, что без использования избыточности этих средств обеспечить целевой уровень полного риска катастроф невозможно. Безопасная система CNS/АТМ должна включать в себя как минимум две подсистемы авиационной электросвязи, две подсистемы наблюдения ОВД. Должны быть подготовлены обоснованные и проверенные на практике процедуры переключения основных подсистем на резервные. Система АТМ должна иметь надёжный алгоритм резервирования личного состава служб ОВД для обеспечения требуемой непрерывности на уровне 10^{-5} ч⁻¹.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declares no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Doc 9689 AN/953 ICAO. Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования. Изд. первое с поправкой № 1. ИКАО, 2002. 266 с.
2. *Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for the ADS-B Non-Radar-Airspace (NRA) Application*. RTCA/DO-303, Washington, RTCA, 2006, 316 p.
3. *Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Areas Using ADS-B Surveillance (ADS-B-RAD)*. RTCA/DO-318, Washington, RTCA, 2009, 582 p.
4. Nagaoka S., Amai O., Estimation accuracy of close approach probability for establishing a radar separation minimum. *Journal of the Institute of Navigation*, 1991, vol. 44, no. 1, pp. 121–126.
5. *Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance* (vol. 1 and 2). Brussels, Eurocontrol, Ed. 1.1, 2015, 85 p.
6. Методика оценки безопасности полётов в воздушном пространстве с сокращённым интервалом вертикального эшелонирования Российской Федерации. Росавиация, 2015. 17 с.
7. Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В. Оценка точности определения горизонтальных координат воздушных судов системой наблюдения обслуживания воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2024. № 48. С. 146–153.

References

1. Doc 9689 AN/953 ICAO. Guidelines for Airspace Planning Techniques for Determining Layering Minimums, ed. 1, 2002, 266 p.
2. *Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for the ADS-B Non-Radar-Airspace (NRA) Application*. RTCA/DO-303, Washington, RTCA, 2006, 316 p.
3. *Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Areas Using ADS-B Surveillance (ADS-B-RAD)*. RTCA/DO-318, Washington, RTCA, 2009, 582 p.
4. Nagaoka S., Amai O., Estimation accuracy of close approach probability for establishing a radar separation minimum, *Journal of the Institute of Navigation*, 1991, vol. 44, no. 1, pp. 121–126.
5. *Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance* (vol. 1 and 2). Brussels, Eurocontrol, Ed. 1.1, 2015, 85 p.
6. Methodology for assessing the safety of flights in airspace with a reduced interval of vertical separation of the Russian Federation. Rosaviatsia Publ., 2015, 17 p. (In Russ.)
7. Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznecov S. V. Assessment of the accuracy of determination of horizontal coordinates of aircraft by surveillance system air traffic service. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2024, no. 48, pp. 146–153. (In Russ.)

Информация об авторах

Спрысков Владимир Борисович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, spryskov@atminst.ru

Шувалова Екатерина Викторовна, заместитель генерального директора по аэронавигации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, shuvalovaev@gosniiga.ru

Кузнецов Сергей Вадимович, начальник отдела – директор ЦСТО, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, kuznetsov_sv@gosniiga.ru

Authors information

Spryskov Vladimir B., Doctor of Sciences (Engineering), Chief Scientific Officer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, spryskov@atminst.ru

Shuvalova Ekaterina V., Deputy General Director for Air Navigation, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, shuvalovaev@gosniiga.ru

Kuznetsov Sergei V., Head of Department – Director of CAET, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, kuznetsov_sv@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 20.11.2024; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 08.04.2025.

The article was submitted 20.11.2024; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 08.04.2025.

Научная статья
УДК 004.8:656.7.052

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И АЛГОРИТМА A-STAR В СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЁТА

(публикуется в рамках реализации молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА)

НГУЕН ТХИ ЛИНЬ ФЫОНГ^{1,2}

¹ *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия*

² *Вьетнамская авиационная академия, Хошимин, Вьетнам*

Аннотация. Разработан алгоритм совместного использования искусственного интеллекта (ИИ) и эвристического алгоритма A-star (алгоритм A*) для оптимизации траектории полёта воздушных судов (ВС) в стратегической стадии планирования с учётом сложных метеоусловий (СМУ), запретных зон (ЗЗ) и движения других ВС в воздушном пространстве. При этом предпочитаемая пользователем траектория, полученная в результате обучения моделей многослойной нейронной сети (multilayer neural network – MNN) будет использована как эвристика в целевой функции алгоритма A* при конструировании оптимальной траектории полёта в горизонтальной плоскости. Оценки работоспособности предлагаемого алгоритма были сделаны через имитационное моделирование процесса планирования полёта в регионе полётной информации (РПИ) Хошимин Вьетнама с помощью разработанного авторами в среде MathLab программного средства. Результаты моделирования показывают, что предлагаемый алгоритм способен конструировать оптимальные траектории полёта, соответствующие различным условиям и требованиям участников сообщества организации воздушного движения (авиакомпания, поставщики аэронавигационных услуг, регулирующие органы, операторы аэропортов и другие заинтересованные стороны) к эксплуатационной эффективности и безопасности полётов.

Ключевые слова: воздушный транспорт, воздушное судно, алгоритм A*, искусственный интеллект, многослойная нейронная сеть, оптимизация траектории полёта, автоматическое зависимое наблюдение-вещание, интеллектуальные транспортные системы

Для цитирования: Нгуен Тхи Линь Фыонг. Применение искусственного интеллекта и алгоритма A-star в стратегическом планировании траектории полёта // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 104–114.

USING THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND A-STAR ALGORITHM IN STRATEGIC FLIGHT TRAJECTORY PLANNING

(Published as part of the implementation of the youth policy of the Scientific Bulletin of The State
Scientific Research Institute of Civil Aviation)

NGUYEN THI LINH PHUONG^{1,2}

¹ *Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

² Vietnam Aviation Academy, Ho Chi Minh City, Vietnam

Abstract. In this work developed a combined algorithm to optimize the aircraft flight trajectory in the strategic planning stage using artificial intelligence (AI) and heuristic A-star (A*) algorithm, taking into account bad weather conditions, no-fly zones and other aircrafts in the airspace. At the same time, the user's preferred trajectory, obtained as a result of training multilayer neural network models based on the AI method, will be used as a heuristic in the cost function of the A-star algorithm when constructing the optimal flight trajectory in the horizontal plane. The performance of the proposed algorithm was checked through simulation of the flight planning process in the Ho Chi Minh City Flight Information Region of Vietnam using a software tool developed in MathLab. Simulation results show that the proposed algorithm has the ability to construct optimal flight trajectories that meet various requirements of stakeholders (airlines, air navigation service providers, regulators, airport operators and others) for operational efficiency and flight safety.

Keywords: A-star algorithm, artificial intelligence, multilayer neural network, flight trajectory optimization, automatic dependent surveillance-broadcast, intelligent transport systems

For citation: Nguyen Thi Linh Phuong. Using the artificial intelligence and A-star algorithm in strategic flight trajectory planning. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 104–114. (In Russ.)

Введение

В статье основное внимание уделяется оптимизации траектории полёта на крейсерском этапе в рамках операций, основанных на траектории (trajectory-based operations – ТВО). На этом этапе движение ВС максимально соответствует предпочтениям пользователя¹ воздушного пространства благодаря совместному принятию решений участниками сообщества организации воздушного движения (ОрВД). В ТВО информация о траекториях полётов циркулирует между заинтересованными сторонами (пилотами, диспетчерами воздушного движения, авиакомпаниями и другими эксплуатантами траекторий) для планирования полётов, стратегического управления операциями, регулирования потоков воздушного движения, выдерживания заданных интервалов эшелонирования ВС и т. д. Таким образом, решение задачи оптимизации траектории полёта имеет решающее значение в перспективной системе ОрВД для улучшения планирования и выполнения эффективных полётов, что означает уменьшение числа потенциальных конфликтов, повышение предсказуемости и заблаговременное устранение нарушения баланса между спросом и пропускной способностью для системы в целом.

Для решения задач оптимизации траектории полёта в исследованиях часто применялись методы оптимального управления и/или методы, основанные на теории графов [1–13]. При использовании методов оптимального управления необходимо обеспечить адекватность используемых математических моделей, описывающих движение ВС на воздушном участке, что на практике является достаточно сложной задачей, а в методах, основанных на теории графов, как правило, не учитывается точность выдерживания полёта по конструируемой траектории [3].

Существующие методы конструирования траектории полёта можно разделить на группы, такие как:

- *Физические методы:* используется кинематика и динамические уравнения для конструирования траектории полёта на различных этапах (набор высоты, крейсерский полёт и снижение) в рамках ограничений динамики полёта и лётно-технических характеристик ВС. К сожалению,

¹ «Пользователями воздушного пространства являются граждане и юридические лица, наделённые в установленном порядке правом на осуществление деятельности по использованию воздушного пространства». Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.97 № 60-ФЗ, ст.11.

физические методы имеют ряд ограничений, таких как трудности учёта внешних факторов, высокая вычислительная сложность, чувствительность к исходным данным и зависимость от упрощённых моделей, что ведёт к недостаточной точности конструирования траектории полёта в сложных условиях.

- *Методы на основе фильтров*: задача конструирования траектории полёта рассматривается как задача оценки состояния и используются методы оценки, такие как фильтр Калмана и скрытые модели Маркова, для прогнозирования будущей траектории. Однако внезапные и значительные изменения параметров движения ВС (такие как резкие манёвры, турбулентность, неожиданные изменения высоты, скорости или курса), а также влияние внешних факторов (например, погодных условий или необходимости уклонения от препятствий) в ходе выполнения полётов значительно затрудняют точное прогнозирование переходов между состояниями движения ВС.

- *Методы на основе ИИ*: эти непараметрические методы используют большое количество исторических данных о траекториях ВС, связанных с обучением моделей ВС, которые не используют аэродинамические параметры ВС.

Методы, основанные на ИИ, приобрели особую популярность в последнее время, показывая многообещающие результаты и открывая для разработчиков и пользователей авиационных систем новые возможности для создания более точных и адаптивных решений, обеспечивающих высокую степень соответствия реальной ситуации и способных подстраиваться под изменения условий с использованием исторических данных. Этому требует, прежде всего, стохастический характер воздушной среды и полёта в ней.

В данной работе представлен новый подход к решению задачи оптимизации траектории полёта на стратегической стадии планирования, основанный на применении ИИ и теории графов с учётом лётно-технических характеристик ВС, неопределённости метеоусловий, а также требований по обеспечению безопасности полётов в различных режимах маршрутизации.

Материалы и методы

В предлагаемом подходе процедура оптимизации траектории полёта, представленная в структурной схеме на рис. 1, осуществляется в два этапа: 1) конструирование траектории полёта на основе искусственного интеллекта (далее назовём её ИИ-траекторией); 2) конструирование оптимальной траектории с помощью алгоритма A^* и сглаживание путём полиномиальной интерполяции.

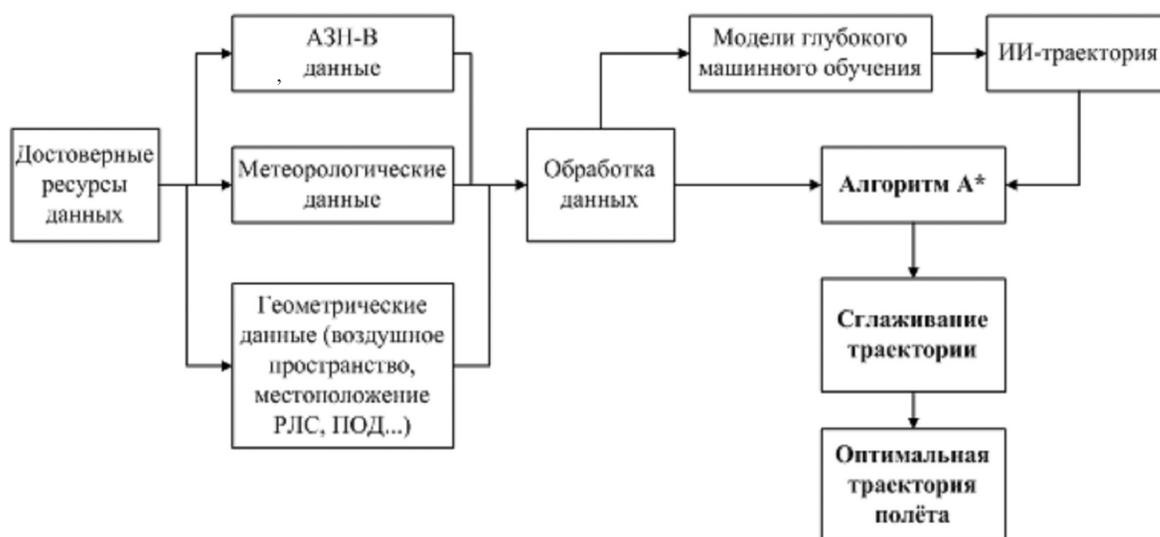


Рис. 1. Структурная схема предлагаемого алгоритма

Первый этап – конструирование ИИ-траектории

ИИ может помогать пилотам и диспетчерам принимать решения, давая советы по рутинным задачам (например, по оптимизации профиля полёта) и предоставляя расширенные рекомендации по вопросам управления ВС и тактики полёта, особенно в условиях высокой рабочей нагрузки (например, при разрешении конфликтов, уходе на второй круг, отклонении от курса). В результате пилоты и диспетчеры смогут сосредоточиться на важных для безопасности полётов задачах².

Для решения задачи конструирования ИИ-траектории авторами был разработан предиктор траектории – программный модуль, предназначенный для прогнозирования будущего положения ВС с использованием глубокого обучения на основе моделей MNN. Обучение проводилось на наборе данных автоматического зависимого наблюдения-вещания (АЗН-В) о 350 реализованных траекториях полётов по маршруту из Хошимина в Дананг (Вьетнам) за 14 дней (с 12 по 26 ноября 2021 года). При этом предиктор учитывает текущие метеоусловия, что позволяет более точно предсказывать траекторию и адаптироваться к изменяющимся факторам воздушной среды. Общий алгоритм глубокого обучения показан на рис. 2.

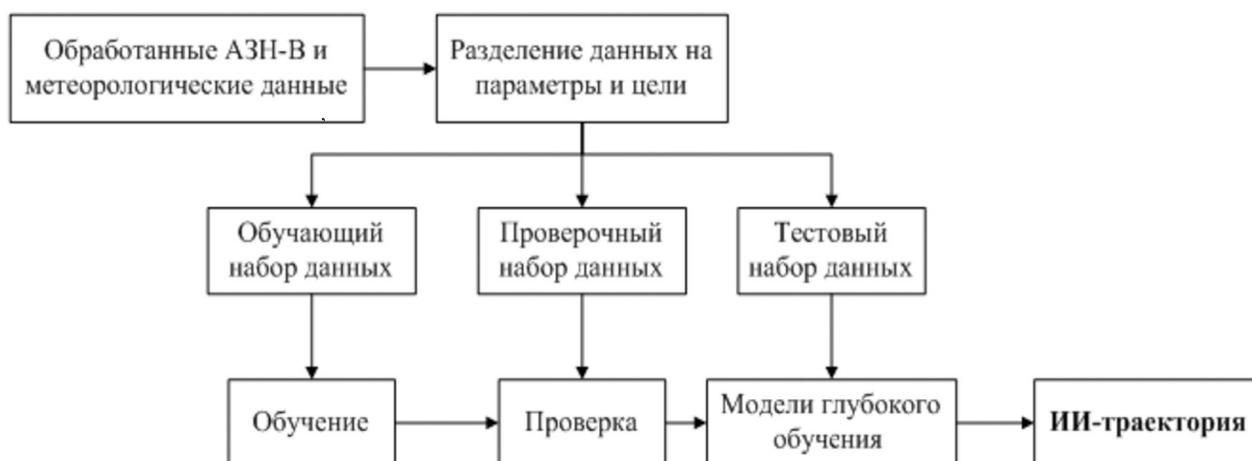


Рис. 2. Алгоритм глубокого обучения

Данные АЗН-В передаются между ВС и наземными станциями при помощи средств спутниковой навигации (СН) GPS/ГЛОНАСС, содержат информацию о местоположении ВС, его высоте, скорости, направлении и бортовом номере и т. п. Использование набора данных АЗН-В, являющихся выходными данными процесса управления и эксплуатации ВС, позволяет учитывать содержащиеся в этих данных аэродинамические характеристики ВС в текущих метеоусловиях.

Для работы авторами использованы:

Набор данных АЗН-В: фактические исторические данные о рейсе по маршруту из Хошимина в Дананг (SGN-DAN) за 14 дней (12–26 ноября 2021 года), полученные на сайте <https://flightaware.com>, содержат информацию об идентификации ВС, его типе, пунктах отправления и назначения, местоположении ВС по времени, его скорости и курсе.

Набор метеорологических данных: реальные метеорологические данные, полученные на сайте <https://api.meteomatics.com>, синхронизированные по времени с каждой точкой на каждой реализованной траектории рейса SGN-DAN, предоставляют информацию о скорости ветра, направлении ветра, температуре воздуха, давлении воздуха и символе погоды (ясное небо, дождь, туман, морось, гроза, песчаная буря, снег, турбулентность, обледенение) вдоль контрольных точек маршрута.

² EASA Artificial Intelligence Roadmap, Version 1.0, February 2020.

Обработка данных была реализована путём удаления дублирующихся и неполных данных, а также входных параметров, имеющих слабую корреляцию с выходными параметрами, с целью устранения их негативного влияния на процесс глубокого обучения. Совмещённый набор данных АЗН-В и метеорологических данных после обработки разделён на два поднабора данных по высоте полёта ниже и выше 10000 фут (высота перехода на аэродромах во Вьетнаме).

Модели MNN, состоящие из нескольких скрытых полностью связанных слоёв (рис. 3), обучают поднабор 1 (с высотой <10000 фут) и поднабор 2 (с высотой ≥ 10000 фут), используя алгоритм оптимизации Adam, функцию активации ReLU (Rectified Linear Unit) в скрытых слоях и функцию линейной активации на выходном слое.

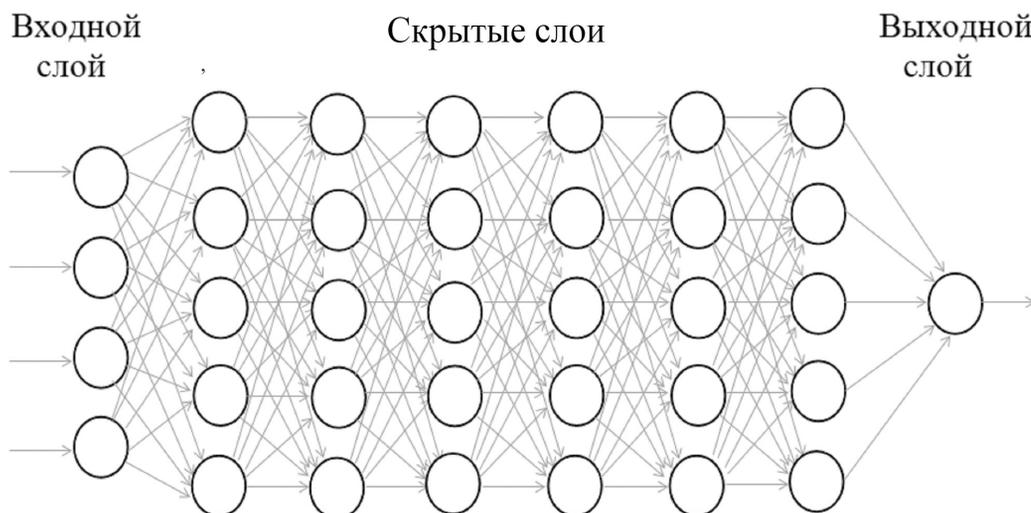


Рис. 3. Модель многослойной нейронной сети

Модели MNN разработаны на основе фреймворка глубокого обучения TensorFlow версии 2.1.0, загруженного с сайта <https://www.tensorflow.org/install>. Экспериментальные модели построены на языке Python и все обучены на вычислительном компьютере с графическим процессором GTX 3090, оперативной памятью 48 ГБ, процессором i7.

Второй этап – конструирование и сглаживание оптимальной траектории

При использовании алгоритма A^* для решения задачи оптимизации траектории полёта в стратегической стадии достаточно создавать координатную сетку в горизонтальной плоскости, а в вертикальной плоскости соблюдать указанный в плане полёта эшелон.

Для обеспечения безопасности полёта конструируемая траектория должна находиться в зоне действия средств связи, навигации и наблюдения на протяжении всего маршрута. Координатная сетка должна покрывать координаты всех средств/систем радионавигации (Nav aids) и путевые контрольные точки (waypoints – WP), размещённые на рассматриваемой траектории. Координаты всех Nav aids и WP во Вьетнаме собраны из официальной публикации аэронавигационной информации [14] и располагаются как узлы в координатной сетке для реализации алгоритма A^* .

Чтобы увеличить скорость вычислений разрабатываемого алгоритма и его способность обходить 33, авторы использовали неравномерную координатную сетку (рис. 4), на каждой линии которой находится по крайней мере один Nav aids или WP. В результате количество узлов в неравномерной сетке уменьшилось по сравнению с классической равномерной сеткой, что привело к ускорению работы алгоритма A^* .

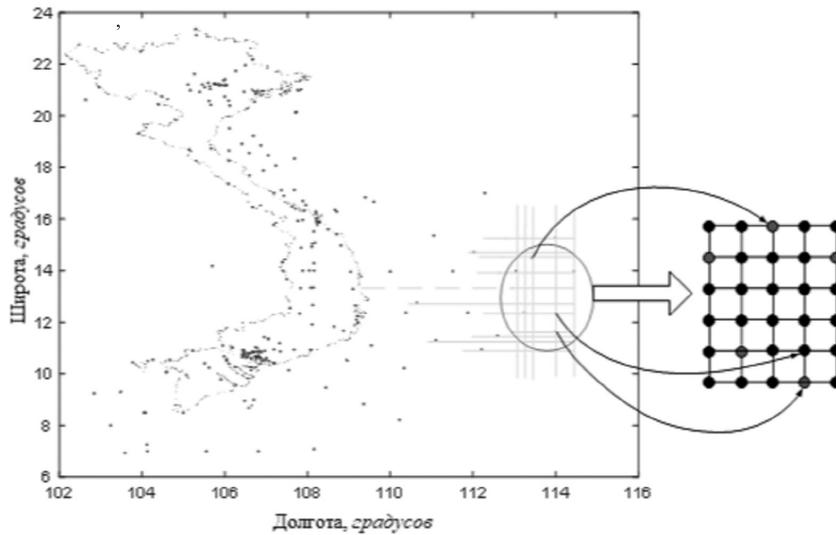


Рис. 4. Неравномерная координатная сетка

Предлагаемый алгоритм

Алгоритм A^* для нахождения кратчайшего пути состоит в нахождении минимума критерия:

$$J = \sum_{i=1}^N f(s_{i-1}, s_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где N – количество точек траектории; s_i – i -я точка траектории; f – функция, зависящая от расстояния между любыми двумя точками.

Целевая функция предлагаемого алгоритма имеет вид:

$$\begin{aligned} f(s_{i-1}, s_i) &= d_{s_{i-1}s_i} + \Delta d_{WP} + \Delta d_{AI}; \\ \Delta d_{WP} &= k_{WP} d_{s_{i-1}s_i}; \quad \Delta d_{AI} = k_{AI} \Delta \lambda d_{s_{i-1}s_i}; \quad \Delta \lambda = \lambda_i^* - \lambda_i; \\ d_{s_{i-1}s_i} &\approx 111,2 \arccos(\sin \varphi_i \sin \varphi_{i-1} + \cos \varphi_i \cos \varphi_{i-1} \cos(\lambda_i - \lambda_{i-1})), \end{aligned} \quad (2)$$

где $d_{s_{i-1}s_i}$ – расстояние от точки s_{i-1} до точки s_i , км; Δd_{WP} – функция, зависящая от расстояния от точки s_i до NavAids/WP, км; Δd_{AI} – функция, зависящая от расстояния от точки s_i до ИИ-траектории, км; $k_{WP} \geq 0$, $k_{AI} \leq 1$ – коэффициенты (чем больше значения k_{WP} и k_{AI} , тем ближе соответственно к NavAids/WP и ИИ-траектории алгоритм A^* найдёт траекторию); φ_{i-1} , φ_i – широта точек s_{i-1} и s_i , градусов; λ_{i-1} , λ_i – долгота точек s_{i-1} и s_i , градусов; λ_i^* – долгота точки, лежащей на ИИ-траектории и имеющей ту же широту, что и s_i , градусов.

Критерии оптимизации траектории полёта формулируются в виде:

- 1) минимизация протяжённости конструируемой траектории полёта;
- 2) минимизация отклонения конструируемой траектории полёта от ИИ-траектории;
- 3) минимизация расстояния от ВС до NavAids/WP.

Результаты и дискуссия

Результат глубокого обучения. Использованные в данной работе модели глубокого обучения имеют хорошую обучаемость на вышеуказанных наборах данных, обеспечивая высокие оценки производительности R^2 в диапазоне от 0,8110 до 0,9425 при всех сеансах тестирования, большую скорость обучения (табл. 1) и быструю сходимость ошибок моделей нейронной сети (рис. 5).

Таблица 1

Время обучения моделей нейронной сети (секунды)

Выходные цели	При обучении первого поднабора данных (<10000 фут)	При обучении второго поднабора данных (≥10000 фут)
Широта	30,599	37,932
Долгота	6,075	36,794
Высота	7,596	38,227

Полученные в результате глубокого обучения координаты ИИ-траектории сохраняются в файле AI.txt и далее используются на втором этапе при решении задачи оптимизации траектории полёта.

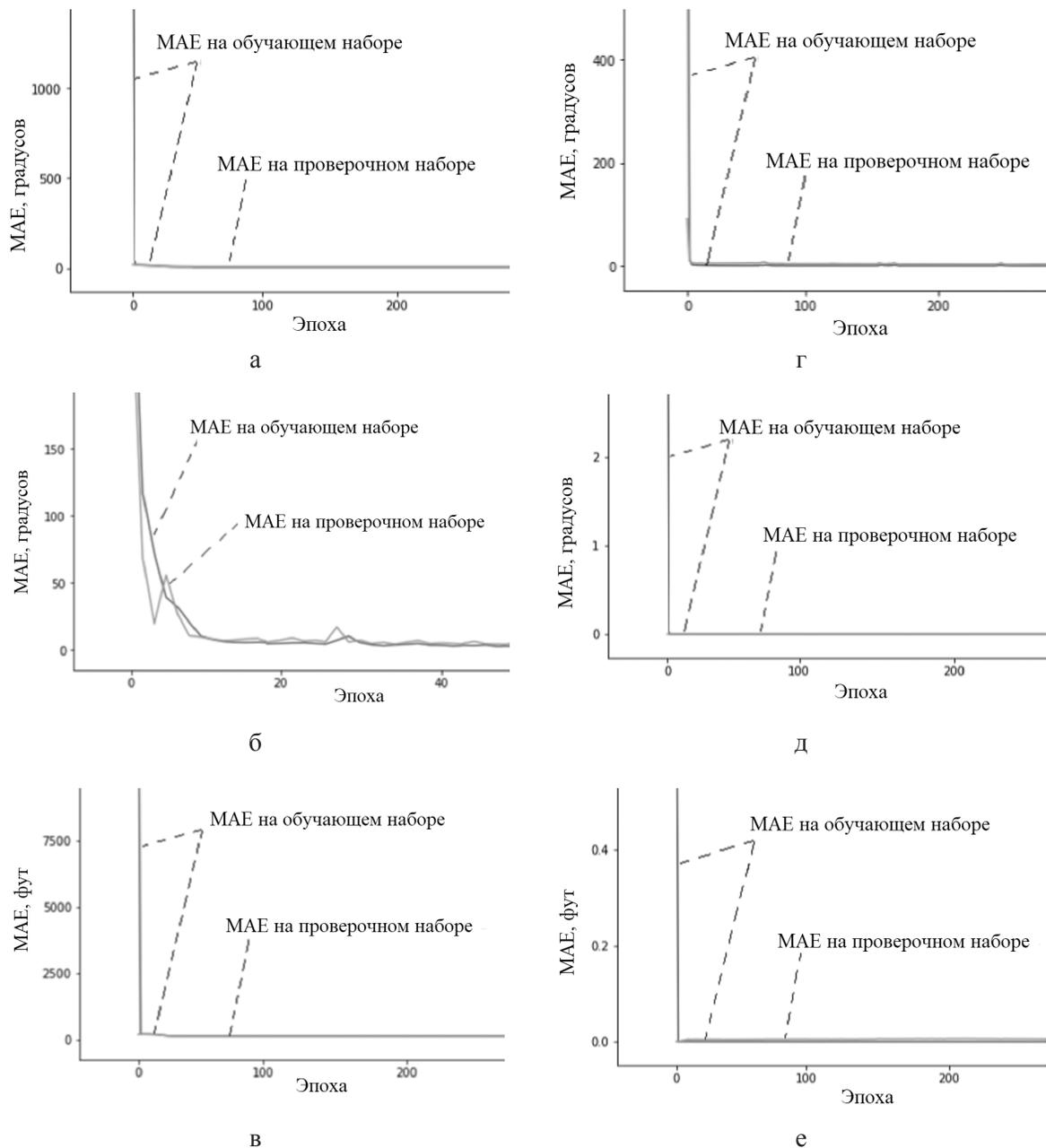


Рис. 5. Сходимость ошибок модели нейронной сети по широте, долготе, высоте: на поднаборе данных 1 – а, б, в; на поднаборе данных 2 – г, д, е; MAE (mean absolute error) – средняя абсолютная ошибка

Результат вычислений предлагаемого алгоритма. Результаты моделирования на рис. 6 показывают, что предлагаемый алгоритм способен формировать различные оптимальные траектории полёта. Это достигается путём регулирования соотношения между коэффициентами k_{WP} и k_{AI} целевой функции (2). Оптимальные траектории формируются в зависимости от выбранного режима маршрутизации:

- $k_{AI}=0, k_{WP}=1$ – маршрутизация по путевым точкам;
- $0 < k_{AI} < 1, 0 < k_{WP} < 1$ – компромиссная маршрутизация;
- $k_{AI}=1, k_{WP}=0$ – маршрутизация с учётом запланированной траектории (при её наличии);
- $k_{AI}=0, k_{WP}=0$ – свободная маршрутизация.

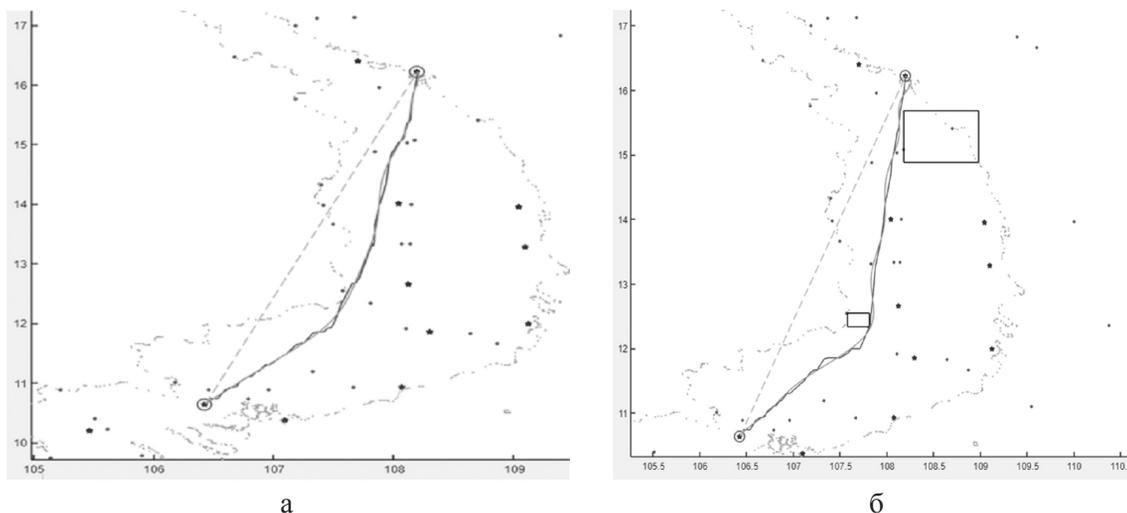


Рис. 6. Оптимальные маршруты при различных значениях k_{WP} и k_{AI} : без запретных зон – а; с запретными зонами – б

Результаты в табл. 2 показывают следующее:

1. В режиме свободной маршрутизации ($k_{AI}=0, k_{WP}=0$) формируемая оптимальная траектория имеет наименьшую протяжённость, что соответствует критерию оптимизации «минимизация по протяжённости».
2. В режиме маршрутизации по путевым точкам ($k_{AI}=0, k_{WP}=1$) конструируемая оптимальная траектория имеет наибольшую протяжённость, но наименьшее расстояние до контрольных точек, что соответствует критерию оптимизации «минимизация расстояния от ВС до NavAids/WP».
3. В режиме компромиссной маршрутизации ($0 < k_{AI} < 1, 0 < k_{WP} < 1$) оптимальная траектория может быть построена путём одновременного регулирования значений k_{WP} и k_{AI} с соблюдением приемлемого уровня безопасности полётов.

Таблица 2

Длина оптимальных траекторий в различных режимах маршрутизации

Режим маршрутизации	Коэффициенты	Длина оптимальных траекторий до сглаживания, км		Длина сглаженных оптимальных траекторий, км	
		без 33	с 33	без 33	с 33
Маршрутизация по путевым точкам	$k_{AI}=0, k_{WP}=1$	706,5	746,6	667,6	697,2
Компромиссная маршрутизация	$0 < k_{AI} < 1, 0 < k_{WP} < 1$	[692,9; 706,8]	[709; 747,6]	[668,1; 669,4]	[681,2; 697,4]

Окончание таблицы 2

Режим маршрутизации	Коэффициенты	Длина оптимальных траекторий до сглаживания, км		Длина сглаженных оптимальных траекторий, км	
		без ЗЗ	с ЗЗ	без ЗЗ	с ЗЗ
Маршрутизация с учётом запланированной траектории (при её наличии)	$k_{AI}=1, k_{WP}=0$	694,9	721,4	668,7	687,4
Свободная маршрутизация	$k_{AI}=0, k_{WP}=0$	692	704,1	667,0	680,2

Заключение

Скорость вычислений предлагаемого алгоритма увеличена благодаря меньшему количеству анализируемых узлов на неравномерной координатной сетке (от 10 с до 45 с на различных режимах маршрутизации для маршрута SGN-DAN на персональном компьютере с графическим процессором GTX 3090, оперативной памятью 48 ГБ и процессором i7).

Найдены различные варианты оптимальных траекторий полёта регулированием соотношения между коэффициентами k_{WP} и k_{AI} в целевой функции (2) в соответствии с нынешними используемыми и предложенными на будущее режимами маршрутизации.

Подход, основанный на данных с применением ИИ, помогает найти оптимальную траекторию полёта, отвечающую требованиям заинтересованных сторон к операционной эффективности и безопасности.

Данный алгоритм может быть использован в наземных системах для планирования маршрутов ВС и обеспечения обслуживания воздушного движения, а также на борту ВС, оснащённых авионикой нового поколения, для коррекции запланированного маршрута при возникновении новых требований и обстоятельств.

Данная работа получает финансовую поддержку Вьетнамской авиационной академии по контракту № 55 / HD-HVHK-KHCN от 17 марта 2022 года.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Список источников

1. Будков А. С. Разработка системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации в гражданской авиации: дис. канд. тех. наук. Москва: МАИ, 2021. 168 с.
2. Ерохин В. В. Многокритериальная оптимизация траектории воздушного судна в зоне функционального дополнения спутниковой системы навигации // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: https://mai.ru/upload/iblock/941/Erokhin_rus.pdf (дата обращения: 25.02.2025).
3. Скрыпник О. Н., Арефьева Н. Г., Арефьев Р. О. Оптимизация траектории полёта воздушного судна в динамичном поле точности ГЛОНАСС // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21. № 5. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-5-56-66>
4. Fett Garret D. Aircraft route optimization using the A-star algorithm. *Theses and Dissertations*. 2014, 672. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/277527908.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).
5. Hamy Antoine, Murrieta Mendoza, Alejandro, Botez Ruxandra. Flight trajectory optimization to reduce fuel burn and polluting emissions using a performance database and ant colony optimization algorithm. *Conference AEGATS '16 Advanced Aircraft Efficiency in a Global Air Transport System*, Paris, France, 2016. URL: <https://www.researchgate.net/publication/301809193> (дата обращения: 25.02.2025).

6. Harada A., Miyazawa Y. Dynamic programming applications to flight trajectory optimization. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, vol. 46, no. 19, pp. 441–446.
<https://doi.org/10.3182/20130902-5-de-2040.00145>
7. Kumakshev S. A., Shmatkov A. M. Flight trajectory optimization without decomposition into separate stages. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 468, 012033.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/468/1/012033>
8. Murrieta-Mendoza A., Ruiz H., Mihaela Botez R. Horizontal flight trajectory optimization considering RTA constraints. *MATEC Web of Conferences*, vol. 2020, 314, 02002.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/202031402002>
9. Pierre Bonami, Alberto Olivares, Manuel Soler, and Ernesto Staffetti. Multiphase mixed-integer optimal control approach to aircraft trajectory optimization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2013, vol. 36, iss. 5, 1267–1277. <https://doi.org/10.2514/1.60492>
10. Raghuvveer Devulapalli. An efficient algorithm for commercial aircraft trajectory optimization in the air traffic system: thesis degree of master of science submitted to the university of Minnesota. 2012, 74 p.
11. Sridhar Banavar, Ng Hok, Chen Neil. Aircraft trajectory optimization and contrails avoidance in the presence of winds. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2011, vol. 34, no. 5, 1577–1584.
<https://doi.org/10.2514/1.53378>
12. Suzuki S. Flight trajectory optimization by goal programming with fuzzy objectives. In: Tamiz M. (eds) *Multi-Objective Programming and Goal Programming. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 1996, vol. 432, pp. 309–330. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87561-8_21
13. Wang S., Cao X., Li H., Li Q., Hang X., Wang Y. Air route network optimization in fragmented airspace based on cellular automata. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2017, vol. 30, iss. 3, 1184–1195.
<https://doi.org/10.1016/j.cja.2017.04.002>
14. *Aeronautical Information Publication Viet Nam*. Civil Aviation Authority of Viet Nam, 2020, 1334 p.

References

1. Budkov A. S. Development of a decision support system for the problem of four-dimensional navigation in civil aviation. Dis. Cand. Techn. Sci. Moscow, MAI, 2021, 168 p. (In Russ.)
2. Erokhin V. V., Multicriteria optimization of the aircraft trajectory in the functional complement zone of the satellite navigation system. *Proceedings of MAI*, 2017, no. 96, 20 p. (In Russ.)
3. Skrypnik O. N., Arefyeva N. G., Arefyev R. O. Optimization of an aircraft flight trajectory in the GLONASS dynamic accuracy field. *Civil Aviation High Technologies*. 2018, vol. 21, no 05.
<https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-5-56-66> (In Russ.)
4. Fett Garret D. Aircraft route optimization using the A-star algorithm. *Theses and Dissertations*. 2014, 672, available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/277527908.pdf> (accessed: 25.02.2025).
5. Hamy Antoine, Murrieta Mendoza, Alejandro, Botez Ruxandra. Flight trajectory optimization to reduce fuel burn and polluting emissions using a performance database and ant colony optimization algorithm. *Conference AEGATS '16 Advanced Aircraft Efficiency in a Global Air Transport System*, Paris, France, 2016, available at: URL: <https://www.researchgate.net/publication/301809193> (accessed: 25.02.2025).
6. Harada A., Miyazawa Y. Dynamic programming applications to flight trajectory optimization. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, vol. 46, no. 19, pp. 441–446.
<https://doi.org/10.3182/20130902-5-de-2040.00145>
7. Kumakshev S. A., Shmatkov A. M. Flight trajectory optimization without decomposition into separate stages. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 468, 012033.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/468/1/012033>
8. Murrieta-Mendoza A., Ruiz H., Mihaela Botez R. Horizontal flight trajectory optimization considering RTA constraints. *MATEC Web of Conferences*, 2020, vol. 314, 02002.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/202031402002>

9. Pierre Bonami, Alberto Olivares, Manuel Soler, and Ernesto Staffetti. Multiphase mixed-integer optimal control approach to aircraft trajectory optimization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2013, vol. 36, iss. 5, 1267–1277. <https://doi.org/10.2514/1.60492>
10. Raghuvеer Devulapalli. An efficient algorithm for commercial aircraft trajectory optimization in the air traffic system: thesis degree of master of science submitted to the university of Minnesota. 2012, 74 p.
11. Sridhar Banavar, Ng Hok, Chen Neil. Aircraft trajectory optimization and contrails avoidance in the presence of winds. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 2011, vol. 34, no. 5, 1577–1584. <https://doi.org/10.2514/1.53378>
12. Suzuki S. Flight trajectory optimization by goal programming with fuzzy objectives. In: Tamiz M. (eds) Multi-Objective Programming and Goal Programming. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 1996, vol. 432, pp. 309–330. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87561-8_21
13. Wang S., Cao X., Li H., Li Q., Hang X., & Wang Y. Air route network optimization in fragmented airspace based on cellular automata. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2017, vol. 30, iss. 3, 1184–1195. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2017.04.002>
14. *Aeronautical Information Publication Viet Nam*. Civil Aviation Authority of Viet Nam, 2020, 1334 p.

Информация об авторе

Нгуен Тхи Линь Фьонг, аспирант, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия; преподаватель-исследователь, Вьетнамская Авиационная Академия, Хошимин, Вьетнам, phuongntlp@vaa.edu.vn

Author information

Nguyen Thi Linh Phuong, Postgraduate, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia; Teacher-Researcher, Vietnam Aviation Academy, Ho Chi Minh City, Vietnam, phuongntlp@vaa.edu.vn

Статья поступила в редакцию 02.12.2024; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 28.02.2025.
The article was submitted 02.12.2024; approved after reviewing 20.02.2025; accepted for publication 28.02.2025.

Научная статья

УДК 351.814.2:351.814.32

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА КАТАСТРОФ ПРИ ЭШЕЛОНИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Е. В. ШУВАЛОВА, С. В. КУЗНЕЦОВ, В. Б. СПРЫСКОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены основные факторы риска катастроф воздушных судов (ВС) при горизонтальном эшелонировании и выполнен анализ влияния этих факторов на безопасность полётов. Предложена обобщённая модель полного риска катастроф при горизонтальном эшелонировании ВС, основанная на использовании информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД). Анализ факторов показал разнонаправленное влияние их на уровень безопасности полётов при организации воздушного движения (ОрВД). Сделан вывод, что принимать решение об обеспечении приемлемого уровня безопасности можно не только на основе сравнения фактических значений факторов риска с требованиями безопасности Евроконтроля, но и на основе оценок риска, рассчитанных с использованием фактических значений факторов риска катастроф и сравнения рассчитанных рисков с приемлемыми значениями.

Ключевые слова: аэронавигация, воздушное судно, обслуживание воздушного движения, горизонтальное эшелонирование, организация воздушного движения, система наблюдения, точность определения координат, фактор риска, интеллектуальные транспортные системы

Для цитирования: Шувалова Е. В., Кузнецов С. В., Спрысков В. Б. Анализ влияния факторов риска катастроф при эшелонировании воздушных судов и основные направления обеспечения безопасности полётов при организации воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 115–121.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF DISASTER RISK FACTORS DURING AIRCRAFT SEPARATION AND THE MAIN DIRECTIONS OF FLIGHT SAFETY IN THE ORGANIZATION OF AIR TRAFFIC

E. V. SHUVALOVA, S. V. KUZNETSOV, V. B. SPRYSKOV

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

Abstract. The article examines the main risk factors for aircraft disasters during horizontal separation and analyzes the impact of these factors on flight safety. A generalized model of the total disaster risk during horizontal separation of aircraft is presented, based on data from the air traffic surveillance system. The analysis of the factors revealed their multidirectional influence on the level of flight safety in air traffic management. It is concluded that decisions on ensuring an acceptable level of safety can be made not only by comparing actual risk factor values with Eurocontrol safety requirements but also based on risk assessments calculated using actual disaster risk factor values and comparing the computed risks with acceptable thresholds.

Keywords: air navigation, aircraft, air traffic service, horizontal separation, surveillance system, air traffic control, air traffic management, aircraft position accuracy, risk factor, air traffic management, intelligent transport systems

For citation: Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V., Spryskov V. B. Analysis of the impact of disaster risk factors during aircraft separation and the main directions of flight safety in the organization of air traffic. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 115–121. (In Russ.)

Введение

Информация системы наблюдения используется во многих процедурах и для решения многих задач ОВД, в том числе для решения задачи горизонтального эшелонирования ВС. Эшелонирование ВС вообще, и в частности с использованием информации системы наблюдения ОВД, применяется для предотвращения возможного столкновения ВС, но полностью исключить риск столкновения не представляется возможным из-за фактических характеристик информации наблюдения, ошибок диспетчеров и экипажей ВС и непредвиденных обстоятельств. Одним из факторов этого риска является неточность определения горизонтальных координат ВС системой наблюдения. Поэтому оценка точности является традиционной задачей при создании и эксплуатации системы наблюдения.

Выявление факторов риска безопасности воздушного движения на лётном поле и в воздухе

Математическая модель риска катастроф ВС при горизонтальном эшелонировании в воздухе на основе информации системы наблюдения ОВД описана в [1, 2]. При этом в [1] описана математическая модель технического риска, а в [2] – математическая модель полного риска катастроф.

В настоящее время в отечественной практике принято приемлемое целевое значение технического риска (TLS_{tech}) $5,0 \cdot 10^{-10}$ /лётн. ч¹. По отношению к полному риску принято целевое значение (TLS_{total}) $5,0 \cdot 10^{-9}$ /лётн. ч [3, 4].

Уровень $5,0 \cdot 10^{-9}$ /лётн. ч соответствует рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО), а величина $5,0 \cdot 10^{-10}$ /лётн. ч соответствует рекомендации Евроконтроля для моделирования риска при горизонтальном эшелонировании ВС в воздухе [5].

В рамках решения задачи выявления факторов (аргументов функций моделей) риска катастроф при эшелонировании ВС в воздухе на основе информации системы наблюдения ОВД получены [1, 2] следующие обобщённые модели технического и полного рисков:

$$R_{tech} = Risk_{tech}(S_{min}, T_0, P_0, P_1, P_2, P_3, rms_S, F, P_{z\gamma}, W, w_\gamma, l_\gamma); \quad (1)$$

$$R_{total} = Risk_{total}(S_{min}, T_0, P_0, P_1, P_2, P_3, rms_S, F, P_{z\gamma}, W, w_\gamma, l_\gamma, rms_N, Cont_S, Cont_C, Cont_{ATM}). \quad (2)$$

В моделях (1) и (2) аргументы означают следующее:

S_{min} – минимальный безопасный интервал между ВС, при котором R_{tech} и R_{total} удовлетворяют целевым значениям;

T_0 – период (интервал) обновления информации наблюдения;

¹ Методика оценки безопасности полётов в воздушном пространстве с сокращённым интервалом вертикального эшелонирования Российской Федерации. Утверждена заместителем Руководителя Росавиации 06 февраля 2015 г.

P_0, P_1, P_2, P_3 – вероятности обновления информации наблюдения за время T_0 ;
 P_0 – вероятность обновления за интервал T_0 ;
 P_1 – вероятность пропуска одного обновления;
 P_2 – вероятность пропуска двух подряд обновлений;
 P_3 – вероятность пропуска трёх подряд обновлений информации наблюдения;
 rms_S – точность измерения координат ВС (объектов эшелонирования) системой наблюдения [м];
 F – частота применения информации наблюдения при эшелонировании ВС в воздухе [(лётн. ч)⁻¹];
 P_{γ} – вероятность вертикального перекрытия ВС в зависимости от горизонтального угла пересечения траекторий эшелонируемых ВС в воздухе;
 W – путевые скорости эшелонируемых ВС;
 w_{γ} – доли (веса) вероятности, приходящиеся на типы взаимного движения двух ВС с разными горизонтальными углами между направлениями их движения γ ;
 l_{γ} – линейный размер ВС [м];
 rms_N – навигационные свойства движения ВС в воздухе или объекта на поле маневрирования, характеризующие точность выдерживания плановой траектории [км];
 $Cont_S, Cont_C, Cont_{ATM}$ – характеристики системы ОВД, относящиеся к эксплуатационной непрерывности наблюдения (S), связи (C) и автоматизации управления воздушным движением (УВД), обеспечивающие функциональную возможность выполнить процедуры эшелонирования ВС в воздухе с соблюдением технологии работы.

Анализ влияния факторов воздушного движения при горизонтальном эшелонировании в воздухе и на поле маневрирования

Значимыми факторами безопасности воздушного движения являются применяемый минимум эшелонирования S_{min} и частота использования информации системы наблюдения для решения задач горизонтального эшелонирования F . В настоящей публикации их влияние не рассматривается. Влияние других факторов рассмотрим на конкретных примерах использования моделей (1) и (2). Сами примеры обобщены в табл. 1 и табл. 2. При составлении таблиц использовались типовые скорости W , веса относительных движений w_{γ} , типовые размеры ВС l_{γ} , типовые значения P_{γ} , типовые значения rms_N при эшелонировании ВС в воздухе для S_{min} 10 км и 5 км.

Аргументы функций (1) и (2) $S_{min}, F, W, w_{\gamma}, l_{\gamma}, P_{\gamma}, rms_N, Cont_S, Cont_C, Cont_{ATM}$ были зафиксированы, а анализу подверглись аргументы функции $T_0, P_0, P_2, P_3, rms_S$.

Наиболее значимое влияние на безопасность полётов из перечисленных аргументов оказывает точность rms_S определения координат ВС посредством системы наблюдения. Меньше влияние вероятностей P_0, P_1, P_2, P_3 обновления/необновления информации наблюдения на интервале T_0 , ещё меньше – величины самого интервала обновления T_0 .

Обеспечение требуемых значений $Cont_S, Cont_C, Cont_{ATM}$ по стоимости является самым дорогим обеспечением любой системы ОВД, так как это связано с резервированием наблюдения, связи и автоматизации УВД. Для выполнения расчётов значения этих параметров приняты одинаковыми и равными 10^{-5} ч⁻¹.

Для табл. 1 $S_{min}=10$ км, значения остальных параметров следующие: $W=820$ [км/ч], $F=0,05$ (лётн. ч)⁻¹, $l_{\gamma}=0,04146$ [км], $Cont_S=Cont_C=Cont_{ATM}=10^{-5}$, $rms_N=4,3714$ [км]; $w_{\gamma=60^{\circ}}=0,05$; $w_{\gamma=180^{\circ}}=10^{-10}$; $P_{z(\gamma=60^{\circ})}=0,4$.

Для табл. 2 $S_{min}=5$ км, значения остальных параметров следующие: $W=400$ [км/ч], $F=0,05$ (лётн. ч)⁻¹, $l_{\gamma}=0,04146$ [км], $Cont_S=Cont_C=Cont_{ATM}=10^{-5}$, $rms_N=0,8743$ [км]; $w_{\gamma=60^{\circ}}=0,05$; $w_{\gamma=180^{\circ}}=10^{-10}$; $P_{z(\gamma=60^{\circ})}=0,11$.

Таблица 1

Зависимость R_{tech} и R_{total} от T_0 и точности определения координат ВС rms_S при разных вероятностях пропусков обновления информации

T_0 [с]	rms_S [М]	$P_0=0,980; P_1=0,02; P_2=P_3=0$		$P_0=0,970; P_1=0,0225; P_2=P_3=0$		$P_0=0,970; P_1=0,018; P_2=0,007; P_3=0,005$	
		$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$	$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$	$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$
8	400	0,00915	3,0009	0,0387	3,0039	0,4550	3,0455
	450	0,11690	3,0117	0,2589	3,0259	1,7546	3,1755
	500	0,76660	3,0767	1,2785	3,1278	5,3714	3,5371
9	400	0,01090	3,0011	0,0728	3,0073	1,4885	3,1489
	450	0,12780	3,0128	0,4053	3,0405	4,6969	3,4697
	500	0,80910	3,0809	1,7665	3,1767	11,7930	3,1793
10	400	0,13600	3,0014	0,1446	3,0145	4,8206	3,4821
	450	0,14280	3,0143	0,6954	3,0695	12,2870	4,2287
	500	0,86620	3,0866	2,6658	3,2666	22,6350	5,5635

Таблица 2

Зависимость R_{tech} и R_{total} от T_0 и точности определения координат ВС rms_S при разных вероятностях пропусков обновления информации

T_0 [с]	rms_S [М]	$P_0=0,980; P_1=0,02; P_2=P_3=0$		$P_0=0,970; P_1=0,0225; P_2=0,0075; P_3=0$		$P_0=0,970; P_1=0,018; P_2=0,007; P_3=0,005$	
		$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$	$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$	$R_{tech} \cdot 10^{-10}$	$R_{total} \cdot 10^{-9}$
3	210	0,0359	1,6536	0,0380	1,6538	0,0421	1,6542
	240	0,5809	1,7081	0,5987	1,7099	0,6281	1,7128
	270	3,9689	2,0469	4,0496	2,0550	4,1777	2,0678
4	210	0,0368	1,6537	0,0416	1,6542	0,0369	1,6554
	240	0,5890	1,7089	0,6261	1,7126	0,7025	1,7202
	270	4,0061	2,0506	4,1704	2,0670	4,4918	2,0992
5	210	0,0382	1,6538	0,4814	1,6548	0,0817	1,6582
	240	0,6005	1,7101	0,6711	1,7171	0,8610	1,7661
	270	4,0579	2,0558	4,3640	2,0864	5,1319	2,1632

Обеспечение безопасности полётов при горизонтальном эшелонировании ВС в воздухе при использовании наблюдения ОВД

Для расчёта фактического уровня безопасности необходимо оценить реальные значения факторов рисков, рассмотренных при описании моделей (1) и (2).

Факторы частоты использования информации системы наблюдения для эшелонирования ВС (F), интервал времени обновления информации наблюдения (T_0), вероятность обновления информации наблюдения в течение интервала (P_0), пропуск информации наблюдения за время обновления (P_1), вероятность пропуска двух подряд обновлений (P_2), вероятность пропуска трёх подряд обновлений (P_3), точность наблюдения (rms_S), точность навигации (rms_N) оцениваются на основе информации наблюдения ОВД. Значения F следует оценивать для различных высот

полётов, так как чем ниже рассматриваемая высота, тем, как правило, ниже точность измерения координат ВС системой наблюдения, но и интенсивность полётов ниже эшелона полёта 290 резко снижается и, как следствие, снижается величина F . Дополнительно к оценкам rms_s и F для различных высот необходимо измерять долю налёта для корректного оценивания суммарного риска как взвешенной суммы рисков по высотам.

Риск безопасности R_{total} чувствителен к фактическим значениям P_0, P_1, P_2 и P_3 . Евроконтроль в [5] указывает ограничение на величину P_3 . Модели (1) и (2) также учитывают вероятность трёх подряд пропусков обновления информации наблюдения.

Скорости полёта эшелонируемых ВС (W), весовые доли потоков ВС с разными углами пересечения траекторий w_j , линейные размеры самолётов l_j и вероятности вертикального перекрытия эшелонируемых ВС также следует оценивать на основе анализа информации системы наблюдения ОВД отдельно по высотам. Для оценивания эксплуатационной непрерывности наблюдения, связи и УВД необходимо учитывать резервирование указанных систем, состав бригады диспетчеров на канале управления и фактические оценки коэффициентов эксплуатационной готовности.

Реальные значения факторов безопасности позволяют рассчитать риски на основе моделей (1) и (2) и сравнить их значения с целевыми уровнями. Если риски больше целевых значений, необходимо находить такие возможности функционирования системы ОВД, которые приведут к изменению значений критических для безопасности факторов, будут экономически приемлемыми. На протяжении всего времени, которое потребуется на регулицию критических факторов, система ОВД должна функционировать в особом режиме, например, с увеличенными значениями минимальных интервалов при горизонтальном эшелонировании. На возможность использования увеличенных минимальных интервалов прямо указывает Циркуляр ИКАО Cir326 AN/188, пункт 4.11 [6].

Предложения по основным направлениям обеспечения безопасности полётов при ОрВД

Главным подходом к обеспечению безопасности воздушного движения в настоящее время считается выполнение требований безопасности для некоторого перечня параметров системы ОВД, влияющих на риск. При этом расчёты значений рисков не проводятся. Нормальной считалась ситуация, при которой значения всех параметров из этого перечня удовлетворяют требованиям безопасности [5].

Такой подход не учитывает взаимное влияние различных факторов на обеспечение безопасности полётов и требует значительных финансовых ресурсов. В ситуации, когда финансовые ресурсы лимитированы или отсутствуют, следует принимать решение на основе сравнения оценок R_{tech} или R_{total} с соответствующими целевыми уровнями TLS_{tech} или TLS_{total} .

Оценки R_{tech} или R_{total} следует получать на основе одобренных регулятором деятельности по ОрВД комплексных моделей (1) и (2) с использованием фактических величин факторов безопасности. При этом часть параметров может иметь фактические значения хуже, чем действующие требования. Например, можно допустить невыполнение требований по точности определения координат ВС при низких значениях частоты F или высоком темпе обновления информации наблюдения (малых значениях T_0).

Заключение

В новом подходе необходимо гарантированно обеспечить функциональную достаточность системы ОВД, а влияние факторов безопасности на конечный результат необходимо оценивать комплексно с использованием одобренных моделей. При этом подходе наиболее ответственным этапом становится определение фактических величин факторов безопасности, что предполагает привлечение специалистов в процессе обеспечения безопасности полётов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В. Модель оценки технического риска катастроф при эшелонировании воздушных судов в горизонтальной плоскости на основе информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 40. С. 111–123.
2. Шувалова Е. В., Спрысков В. Б., Кузнецов С. В. Формула полного риска катастроф при эшелонировании воздушных судов в горизонтальной плоскости на основе информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 44. С. 120–127.
3. Разработка единых критериев определения оптимального уровня оснащённости средствами связи, навигации, наблюдения и автоматизации аэродромов и маршрутов ОВД Российской Федерации (этап 3): отчёт о НИР, Книга 1. Москва: ГосНИИ ГА, 2021, 322 с.
4. Разработка единых критериев определения оптимального уровня оснащённости средствами связи, навигации, наблюдения и автоматизации аэродромов и маршрутов ОВД Российской Федерации (этап 3): отчёт о НИР, Книга 2, Москва: ГосНИИ ГА, 2021, 261 с.
5. EUROCONTROL SPEC-0147. *Specification for ATM Surveillance System Performance*. Vol. 2, Brussels, Ed. 1.1, 2015, 117 p.
6. Циркуляр Cir 326 AN/188 ИКАО. Оценка наблюдения с использованием систем АЗН-В и мультilaterации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. ИКАО, 2012. 46 с.

References

1. Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V. Model for estimating technical risk of accident when separation aircraft in the horizontal plane based on air traffic service surveillance system. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 40, pp. 111–123. (In Russ.)
2. Shuvalova E. V., Spryskov V. B., Kuznetsov S. V. Formula of total risk of accidents when separation aircraft in the horizontal plane based on air traffic service surveillance system. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2023, no. 44, pp. 120–127. (In Russ.)
3. Development of uniform criteria for determining the optimal level of equipment with means of communication, navigation, observation and automation of airfields and routes of the ATS of the Russian Federation (stage 3), Research report, Book 1. Moscow, GosNII GA, 2021, 322 p. (In Russ.)
4. Development of uniform criteria for determining the optimal level of equipment with means of communication, navigation, observation and automation of airfields and routes of the ATS of the Russian Federation (stage 3), Research report, Book 2. Moscow, GosNII GA, 2021, 261 p. (In Russ.)
5. EUROCONTROL SPEC-0147. *Specification for ATM Surveillance System Performance*. Vol. 2, Brussels, Ed. 1.1, 2015, 117 p.
6. Cir 326 AN/188 ICAO. Assessment of ADS-B and Multilateration Surveillance to Support Air Traffic Services and Guidelines for Implementation. ICAO, 2012, 42 p.

Информация об авторах

Шувалова Екатерина Викторовна, заместитель генерального директора по аэронавигации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, shuvalovaev@gosniiga.ru

Кузнецов Сергей Вадимович, начальник отдела – директор ЦСТО, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, kuznetsov_sv@gosniiga.ru

Спрысков Владимир Борисович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, spryskov@atminst.ru

Authors information

Shuvalova Ekaterina V., Deputy General Director for Air Navigation, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, shuvalovaev@gosniiga.ru

Kuznetsov Sergei V., Head of Department – Director of CAET, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, kuznetsov_sv@gosniiga.ru

Spryskov Vladimir B., Doctor of Sciences (Engineering), Chief Scientific Officer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, spryskov@atminst.ru

*Статья поступила в редакцию 20.11.2024; одобрена после рецензирования 26.03.2025; принята к публикации 04.04.2025.
The article was submitted 20.11.2024; approved after reviewing 26.03.2025; accepted for publication 04.04.2025.*

Обзорная статья
УДК 656.7.052

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕЗЕРВИРОВАНИЮ ОБЪЕКТОВ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

А. В. СЕВЕРИН

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается один из аспектов резервирования объектов Единой системы (ЕС) организации воздушного движения (ОрВД) – организационные мероприятия по восстановлению работоспособности объектов обслуживания воздушного движения (ОВД) после воздействия на систему ОрВД внешних разрушающих сил масштабного характера, способных вывести из штатного функционирования объект ОВД целиком. Определены концептуальные подходы к обеспечению работоспособности объектов ОВД на основе резервирования. Рассмотрены задачи по планированию действий органов ОрВД на случаи вывода из штатного функционирования объектов ОВД при воздействии внешних разрушающих сил.

Ключевые слова: гражданская авиация, воздушное судно, аэронавигация, управление воздушным движением, ИКАО, резервирование объектов, обслуживание воздушного движения, интеллектуальные транспортные системы

Для цитирования: Северин А. В. Организационные подходы к резервированию объектов Единой системы организации воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 122–130.

ORGANIZATIONAL APPROACHES TO RESERVATION OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT OBJECTS

A. V. SEVERIN

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

Abstract. The article considers one of the aspects of reservation of objects of the Joint Air Traffic Management System (Joint ATM System) – organizational measures to restore performance when external destructive forces of a large-scale nature affect the ATM system, which can remove the entire air traffic service object (ATS) from normal operation. Conceptual approaches to ensuring the operability of ATS objects based on reservation are determined. Tasks on planning the actions of air traffic management bodies in cases of withdrawal from the normal functioning of ATM facilities under the influence of external destructive forces are considered.

Keywords: civil aviation, aircraft, air navigation, air traffic control, ICAO, object reservation, air traffic service, intelligent transport systems

For citation: Severin A. V. Organizational approaches to reservation of air traffic management objects. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 122–130. (In Russ.)

Введение

Резервирование является одним из основных инструментов повышения отказоустойчивости современных технических систем. Резервирование позволяет строить надёжные системы, не прибегая к сложным методам повышения отказоустойчивости на основе дополнительных аппаратных и программных средств, а лишь путём дублирования основных элементов и функций. Задача резервирования определяется как обеспечение безотказной работы систем, состоящих из неидеальных по надёжности элементов, путём своевременного включения в работу взамен неисправного элемента его дубликата, осуществляющего те же функции. В терминах гражданской авиации (ГА) первоочередная задача резервирования объектов ОВД – обеспечение непрерывности процесса управления воздушными судами (ВС) ГА на всех этапах полёта путём передачи функций отказавшего объекта на резервирующий объект (или распределения на несколько объектов).

В связи с возрастающей геополитической напряжённостью повышается значимость обеспечения защищённости объектов транспортной инфраструктуры, в том числе объектов ОрВД. Региональные центры ЕС ОрВД, с учётом их стратегического значения для обороноспособности страны, могут стать приоритетными целями для военного поражения.

Международные и отечественные документы в области резервирования ОВД

Объекты ОВД являются сосредоточением множества сложных аппаратных и программных элементов с многоуровневыми перекрёстными связями. Подходы к резервированию таких сложных объектов можно разделить на два вида: поэлементное и общее резервирование. Поэлементное резервирование широко применяется в настоящее время во всех системах и средствах ОВД. Требования Федеральных авиационных правил¹, например, предусматривают различные варианты поэлементного резервирования средств радиотехнического обеспечения полётов (РТОП) и связи, а на случаи возникновения чрезвычайных ситуаций – резервирование рабочих мест диспетчерского персонала. Однако общее резервирование объектов почти не применяется, что создаёт уязвимости для функционирования таких объектов и ЕС в целом при масштабных разрушительных воздействиях.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) давно занимается вопросами обеспечения безопасности ОВД при возникновении непредвиденных обстоятельств, влияющих на ОВД в глобальном масштабе [1]. В 1984 году, после проведения исследования Аэронавигационной комиссией и консультаций с государствами и заинтересованными международными организациями, ИКАО были утверждены рекомендации в отношении мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств, связанных с нарушением ОВД и соответствующего вспомогательного обслуживания. Впоследствии эти рекомендации были изменены с учётом накопленного опыта применения чрезвычайных мер в различных частях мира и в различных обстоятельствах. Цель этих рекомендаций заключается в обеспечении безопасного и упорядоченного потока международных авиаперевозок в случае нарушения ОВД, соответствующего вспомогательного обслуживания и сохранении в таких обстоятельствах возможности использования основных международных воздушных трасс в рамках глобальной авиатранспортной системы. В рекомендациях устанавливается распределение ответственности между государствами и ИКАО по планированию мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств и меры, рассматриваемые при планировании, применении и прекращении применения таких планов.

Международный опыт, на котором базируются рекомендации ИКАО, свидетельствует, что последствия нарушения обслуживания в конкретном районе воздушного пространства могут

¹ Федеральные авиационные правила. Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации: Приказ Минтранса России от 20.10.2014 № 297.

существенно сказываться и на обслуживании в соседних районах, что обуславливает необходимость международной координации.

Так, например, «Руководство по безопасности системы организации воздушного движения» ИКАО [2] прямо указывает на милитаризированные угрозы по отношению к объектам ОрВД и меры по их предотвращению: «Нападения на объекты системы ОрВД могут совершаться как с внешней стороны с использованием обычного оружия, такого как реактивные гранаты или стрелковое оружие, так и изнутри в результате вторжения. Отрицательные последствия для функционирования объектов может также иметь нарушение электроснабжения». В документе отмечается, что эти виды угроз должны учитываться на этапе проектирования с тем, чтобы исключить возможность вывода из строя объектов такими способами.

В документах ИКАО также отмечается [3], что в любой кризисной ситуации, возникающей за рамками стабильного повседневного функционирования глобальной системы ОрВД, требуется повышенный уровень координации действий гражданских и военных полномочных органов ОрВД в целях обеспечения максимально возможных объёмов гражданского воздушного движения при сохранении оперативной свободы действий военной авиации.

Любые изменения процедур ОрВД, принимаемые с учётом существующей обстановки, целесообразно вводить постепенно. Однако при определённых обстоятельствах изменения должны производиться незамедлительно. В результате нештатной ситуации могут возникнуть нестандартные потоки воздушного движения в пространстве государств независимо от того, вовлечены ли они в кризисную ситуацию непосредственно или нет.

В документе ИКАО Doc 9854 [1] подчёркивается необходимость участия провайдера аэронавигационных услуг (в нашей стране – ФГУП «Госкорпорация по ОрВД») в обеспечении безопасности и защите системы ОрВД от широкого диапазона угроз. Под авиационной безопасностью в [1] понимается защита от опасностей, которые несут с собой преднамеренные (например, террористические) или непреднамеренные (например, ошибка человека, природные бедствия) внешние действия, затрагивающие ВС, людей или объекты авиационной инфраструктуры на земле. Система ОрВД должна быть защищена от подобных угроз.

Ещё один аспект, относящийся к обеспечению безопасности в кризисной для ОрВД ситуации и отмеченный в международных документах – это время передачи всему авиационному сообществу информации о нештатной ситуации. Важнейшими факторами в чрезвычайной ситуации являются скорость обнаружения аварии и время, необходимое для принятия решения о переходе в аварийный режим или на резерв. Провайдер аэронавигационных услуг должен обеспечить передачу всем участникам воздушного движения информации о сбоях в максимально короткое время с учётом приоритетности сообщений. В Приложении 11 (Дополнение С) [4] об этом говорится следующее: «При планировании мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств с целью устранения опасности для аэронавигации особое значение имеет время. Своевременное принятие мер в случае непредвиденных обстоятельств требует решительных действий, что также предполагает составление и согласование планов с заинтересованными сторонами, по возможности до событий, требующих принятия надлежащих действий, включая способ и сроки опубликования таких мер».

В Приложениях к Конвенции о Международной гражданской авиации [4, 5] отмечается важная роль заблаговременной подготовки и профилактики мероприятий по предотвращению пагубных последствий чрезвычайных ситуаций. Исходя из рекомендаций ИКАО, в такие подготовительные мероприятия, как минимум, следует включать:

- подготовку общих планов мероприятий на случай предсказуемых событий, влияющих на предоставление ОВД и/или вспомогательного обслуживания;
- разработку специальных планов на случай непредвиденных обстоятельств, например таких, как военные конфликты или акты незаконного вмешательства в деятельность ГА, а также оценку риска их влияния на использование воздушного пространства для полётов гражданских ВС и/или предоставление ОВД и вспомогательного обслуживания;

- оценку вероятных и возможных последствий стихийных бедствий или чрезвычайных ситуаций для деятельности ГА во взаимосвязи со сферой общественного здравоохранения;
- мониторинг общемировых и локальных событий, которые могут потребовать разработки специальных планов и мер на случай новых категорий непредвиденных обстоятельств. Целесообразно назначение (государством или соответствующим компетентным ведомством) для этих действий ответственных должностных лиц или административных органов;
- назначение/создание центрального уполномоченного органа, который в случае нарушения ОВД и введения чрезвычайных мер сможет круглосуточно предоставлять авиационному сообществу текущую информацию о ситуации и соответствующих мерах до возобновления нормального функционирования системы ОВД.

В Приложении 11 (Дополнение С) сказано:

«Цель планов мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств заключается в предоставлении средств и видов обслуживания, альтернативным предусмотренным региональным аэронавигационным планом, когда данные средства и виды обслуживания временно не предоставляются. Мероприятия на случай непредвиденных обстоятельств, таким образом, носят временный характер и осуществляются только до тех пор, пока не будет восстановлено нормальное обслуживание согласно региональному аэронавигационному плану и, соответственно, не являются поправками к региональному плану, требующими принятия в соответствии с “Процедурой принятия поправок к утверждённому региональным планам”. Вместо этого в тех случаях, когда в планах мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств содержатся временные отступления от утверждённого аэронавигационного плана, такие отступления, при необходимости, утверждаются Президентом Совета ИКАО от имени Совета», и далее:

«Государство(а), ответственное(ые) за обслуживание воздушного движения и соответствующее вспомогательное обслуживание в конкретном воздушном пространстве, в случае его нарушения или потенциального нарушения также несёт(ут) ответственность за принятие мер по обеспечению безопасности полётов международной гражданской авиации и, по возможности, за предоставление альтернативных средств и видов обслуживания. С этой целью государство(а) должно(ы) разрабатывать, публиковать и выполнять соответствующие планы мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств. Такие планы должны разрабатываться, в случае необходимости, в консультации с другими заинтересованными государствами и пользователями воздушного пространства, а также ИКАО, если последствия нарушения обслуживания могут отразиться на обслуживании в соседнем воздушном пространстве».

Там же, в разделе 5 «Координация»:

«5.1 План мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств должен быть в равной мере приемлемым как для органов, предоставляющих обслуживание в таких условиях, так и для пользователей, т. е. с точки зрения способности обслуживающих органов осуществлять возложенные на них функции и с точки зрения безопасности производства полётов и пропускной способности, предусматриваемой планом в этих обстоятельствах».

С учётом вышеизложенного провайдеру аэронавигационных услуг следует заблаговременно определять подробные координационные требования.

Подходы к резервированию объектов ОВД

Объекты ОВД характеризуются высокой надёжностью оснащения, которая достигается реализацией повышенных требований к резервированию оборудования РТОП и связи. Соответствие этим требованиям подтверждается несколькими видами испытаний до ввода объектов ЕС ОрВД в эксплуатацию, а также последующим постоянным контролем показателей надёжности (например, время запуска и перезапуска, время наработки на отказ, готовность) в последующей эксплуатации. Поэтому вероятность отказов или существенного ухудшения рабочих характеристик

оборудования, которые могут стать причиной полного или частичного нарушения работоспособности объектов ОВД, является незначительной. Однако в ходе проведения и по результатам процесса «укрупнения» ЕС ОрВД (создание 13 региональных центров ОВД) выявились новые существенные уязвимости для ОрВД. В частности, выход из строя одного из региональных центров при воздействии разрушительных сил масштабного характера будет иметь последствия гораздо более существенного масштаба, чем ранее.

Работы ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» по реализации программы укрупнения ЕС ОрВД не учитывали особенностей резервирования создаваемых объектов. Так, например, при вводе в эксплуатацию новых объектов провайдеру аэронавигационных услуг было бы логично использовать выводимые из штатного функционирования объекты в качестве резервных. Такие объекты могли бы служить основой как для резервирования системы ЕС ОрВД, в том числе при проведении возможной модернизации, так и для обеспечения мероприятий по тренировке и обучению персонала, при этом амортизационные расходы останутся на приемлемом уровне.

С целью организации координированных федеральными органами исполнительной власти в области ГА совместно с провайдером аэронавигационных услуг действий органов ОВД при авариях и чрезвычайных ситуациях на объектах ОВД целесообразно подготовить планы мероприятий по ОрВД на случаи непредвиденных обстоятельств, связанных с нарушением ОВД. Целью таких планов является сведение к минимуму последствий аварийных ситуаций на объектах ОВД, прежде всего – спасение жизни людей, а также обеспечение непрерывности выполнения операций по ОВД.

План мероприятий на случаи непредвиденных обстоятельств должен разрабатываться для конкретного объекта ОрВД с учётом профиля и объёмов деятельности по ОВД и других видов деятельности. План должен предусматривать в том числе особенности резервирования технических средств связи, систем управления воздушным движением (УВД), каналов передачи данных и организации резервных мест. В план следует включить получение в режиме реального времени:

- оценок возможной интенсивности воздушного движения, количества и типов ВС, которые предстоит обслужить;
- информации о действующих и запасных маршрутах с учётом фактического состояния навигационных средств, средств ОВД (в том числе РТОП), связи (в том числе связи смежных с аварийным объектом ОВД);
- метеорологического обеспечения и аэронавигационной информации.

План также должен обеспечивать координацию действий всех органов, которые могут оказать помощь при возникновении аварийной ситуации, включая взаимодействие с внешними по отношению к объекту ОВД структурами, такими как пожарные службы, полиция, медицинские службы, включая службы экстренной скорой помощи, военные структуры, службы аэропортовой безопасности. Подобное взаимодействие должно быть определено инструкциями по действиям персонала на аварийном объекте, а также обеспечено техническими решениями по созданию соответствующих каналов связи между взаимодействующими органами ОВД и аварийными службами. В связи с тем, что согласно положениям документов ИКАО [4] план мероприятий должен учитывать особенности международного взаимодействия, может потребоваться техническое расширение систем связи с целью обеспечения взаимодействия между соседними государствами.

Качество готовности объектов ОВД к резервированию в целом повышается с развитием систем обмена данными наблюдения и связи между центрами ОрВД в рамках внедрения технологий общесистемного управления информацией.

В ходе дальнейшего развития ЕС ОрВД, ввода в эксплуатацию новых объектов и оборудования, органам исполнительной власти в области ГА и провайдеру аэронавигационных услуг целесообразно проводить оценку эффективности подходов к резервированию, исходя из технического оснащения, штатной укомплектованности центров ОрВД, зоны их ответственности и организационной структуры.

Процедуры ОрВД, применяемые в случаях действия непредвиденных обстоятельств, и организация координационного центра

Необходимость резервирования с целью обеспечения непрерывности ОВД при выходе из строя объекта ОВД, учитывая неопределённости действий персонала в нестандартных ситуациях, требует централизованного руководства процессами обеспечения ОВД компетентным органом, осуществляющим координацию всех действий персонала на аварийном и смежных объектах. Поэтому при нестандартной ситуации нарушения ОВД масштабов, например, регионального центра, федеральными органами исполнительной власти в области ГА в плане мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств может быть предусмотрено создание антикризисного административного органа – Координационного центра (КЦ), например, на базе Главного центра ЕС ОрВД ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» или региональных филиалов ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» по территориальному признаку аварийной ситуации. Возможно также создание дополнительного специализированного центра под задачи обеспечения и координации УВД при возникновении нестандартных ситуаций в любом из центров ЕС ОрВД.

КЦ – это коллективное рабочее место, к которому поступают сведения об основных процессах, происходящих в структуре аварийного и на смежных объектах ЕС ОрВД. Для работы КЦ в его состав привлекаются представители заинтересованных министерств, ведомств, субъектов системы государственного регулирования деятельности в области ГА, в особых случаях – авиакомпаний.

КЦ на время нарушения ОВД действует в круглосуточном режиме, осуществляет координацию действий органов ОВД и заинтересованных ведомств по следующим основным направлениям в районе действия непредвиденных обстоятельств:

- ОрВД;
- управление безопасностью полётов;
- планирование воздушного движения;
- организация РТОП;
- управление аэронавигационной информацией;
- организация метеорологического обеспечения.

КЦ непосредственно осуществляет:

- оперативное получение текущей информации о чрезвычайной ситуации и доведение её до уполномоченных и заинтересованных ведомств и организаций;
- назначение ответственных лиц на объектах, где ожидается или произошло нарушение ОВД;
- оповещение пользователей об ожидаемом или фактическом нарушении ОВД;
- обмен информацией с оперативными органами заинтересованных министерств и ведомств, в том числе зарубежных.

С тем, чтобы определить оптимальное количество ВС, которое может безопасно обслуживаться в особых условиях, специалисты КЦ оценивают пропускную способность для резервных диспетчерских пунктов в режиме реального времени, с учётом развития нестандартной ситуации.

Согласно международным нормам и рекомендациям ИКАО КЦ должен своевременно доводить информацию о нарушении ОВД, причинах и принятых мерах до заинтересованных ведомств и авиационных администраций сопредельных государств, представителей Европейского и Северо-Атлантического бюро ИКАО вплоть до момента нормализации функционирования аэронавигационной системы.

При организации действий в непредвиденных обстоятельствах органы ОВД, с учётом инструкций из КЦ, могут обеспечивать международные полёты по резервным маршрутам,

установленным на случай непредвиденных обстоятельств. На начальной стадии возникновения непредвиденных обстоятельств, в связи с вероятной загруженностью воздушного пространства, органы ОВД, проанализировав воздушную обстановку и возможность использования средств РТОП, могут принять меры по изменению планов полётов ВС с целью перенаправления их по другим маршрутам. Такие действия должны быть предварительно согласованы с КЦ или с оперативными органами смежных диспетчерских пунктов или объектов. Органы ОВД должны использовать все имеющиеся возможности для установления и поддержания связи с ВС, находящимися в зоне ответственности. При этом на основе данных из КЦ органами ОВД должны адекватно оцениваться наличие и степень технической надёжности бортовых и наземных основных и резервных систем связи, навигации и наблюдения.

Предполагается, что координация основных действий будет осуществляться из КЦ, который должен быть обеспечен информацией наблюдения зоны отказавшего объекта ЕС ОрВД и соседних с ним, для чего КЦ должен получать данные от максимального количества автоматизированных систем и средств наблюдения ЕС ОрВД. Обладая такой информацией, специалисты КЦ смогут максимально оперативно решать задачи распределения функций отказавшего объекта ОВД исходя из складывающейся воздушной обстановки. Координация и распределение функций также должны учитывать при необходимости особенности ОВД на время действия особых условий в приграничных районах.

С учётом особенностей процедур ОрВД, применяемых в случаях непредвиденных обстоятельств, связанных с нарушением ОВД, в КЦ утверждается обновлённая на период действия нештатной ситуации организационная структура органов ОВД. Такая структура органов ОВД должна иметь количество диспетчерских пунктов (секторов ОВД, рабочих мест) и численность персонала, обеспечивающие выполнение задач ОВД в части воздушного пространства, где отмечается действие непредвиденных обстоятельств, с учётом соблюдения приемлемого уровня безопасности полётов.

В случае, если органы ОВД не могут в полной мере обеспечить обслуживание в зоне ответственности, КЦ инициирует выпуск извещения лётному составу NOTAM (англ. NOtice To Air Missions), которое должно содержать следующую информацию:

- время начала непредвиденных обстоятельств, связанных с нарушением ОВД;
- воздушное пространство, выделенное для посадки на ближайших аэродромах, маршруты для транзитных полётов, а также воздушное пространство, которое необходимо обходить ВС;
- перечень функционирующих средств связи и оборудования РТОП, включая ожидаемые сроки восстановления отказавших средств;
- любые изменения в структуре маршрутов ВС;
- специальные процедуры, которые должны выполняться органами ОВД сопредельных государств;
- специальные процедуры, предназначенные для выполнения экипажами ВС;
- другую необходимую информацию.

Заключение

Выход из строя любых средств и служб системы ОрВД может иметь серьёзные последствия для безопасности полётов ГА, а задачи повышения отказоустойчивости, надёжности, качества функционирования, классификации событий, приводящих к отказам и изменениям состояния объектов ОВД, являются сложными и предельно актуальными.

Предполагается, что в случае возникновения нештатной ситуации, связанной с нарушением ОВД, уполномоченными органами будет издаваться решение о запуске в работу КЦ, который примет руководство по организации действий персонала затронутых в нештатной ситуации

объектов ОВД. После получения уведомления КЦ организует сбор информации об аварийной ситуации, определяет варианты резервирования вышедшего из строя объекта ОВД, обеспечивает рассылку информации всем заинтересованным службам и органам, уточняет стадии развития аварийной ситуации и координирует действия персонала объектов ОВД.

Разработка планов мероприятий на случай непредвиденных обстоятельств, связанных с нарушением ОВД, включающих создание специализированного КЦ, должна организационно поддерживаться федеральными органами ГА с учётом единой политики резервирования объектов ЕС ОрВД.

Анализ уязвимостей объектов ОВД и средств РТОП показывает необходимость доработок системы ОрВД для полноценного обеспечения резервирования при возникновении непредвиденных обстоятельств, приводящих к нарушению ОВД в зоне ответственности региональных центров ЕС ОрВД.

Задача резервирования объектов, средств и систем ОВД должна рассматриваться наряду с основными задачами обеспечения качественного и непрерывного обслуживания пользователей отечественного воздушного пространства.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Список источников

1. ИКАО Doc 9854 AM/458. Глобальная эксплуатационная концепция организации воздушного движения. Изд. 1. 2005. 93 с.
2. ИКАО Doc 9985 (Restricted). Руководство по безопасности системы организации воздушного движения. Изд. 1. 2013. 174 с.
3. ИКАО Doc 10088. Руководство по сотрудничеству гражданских и военных органов организации воздушного движения. Изд. 1. 2021. 150 с.
4. Приложение 11 к Конвенции о Международной гражданской авиации. Обслуживание воздушного движения. Диспетчерское обслуживание воздушного движения. Полётно-информационное обслуживание. Служба аварийного оповещения. Изд. 15. ИКАО, 2018. 142 с.
5. Приложение 17 к Конвенции о Международной гражданской авиации. Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Изд. 12. ИКАО, 2022. 74 с.

Reference

1. ICAO Doc 9854 AM/458. Global Air Traffic Management Operational Concept. Ed. 1, 2005, 82 p.
2. ICAO Doc 9985 AN/492 Restricted. Air Traffic Management Security Manual. Ed. 1, 2013, 155 p.
3. ICAO Doc 10088. Manual on Civil-Military Cooperation in Air Traffic Management. Ed. 1, 2021, 134 p.
4. Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation. Air Traffic Services. Air Traffic Control Service. Flight Information service. Alerting Service. Ed. 15, ICAO, 2018, 136 p.
5. Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Aviation Security Safeguarding International Civil Aviation against Acts of Unlawful Interference. ICAO, 2022, 66 p.

Информация об авторе

Северин Антон Викторович, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Severin_AV@gosniiga.ru

Author information

Severin Anton V., Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Severin_AV@gosniiga.ru

*Статья поступила в редакцию 29.11.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2025; принята к публикации 18.03.2025.
The article was submitted 29.11.2024; approved after reviewing 10.03.2025; accepted for publication 18.03.2025.*

Обзорная статья
УДК 629.7.058.54

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЁННОСТИ ОРГАНОВ ОВД ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ В МОНОИМПУЛЬСНЫХ ВТОРИЧНЫХ РАДИОЛОКАТОРАХ РЕЖИМА S

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

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Информация о воздушных судах (ВС) и достоверных параметрах их движения является крайне необходимой органам обслуживания воздушного движения (ОВД) для решения возложенных на них задач. В статье рассматриваются вопросы повышения информативной осведомлённости органов ОВД за счёт внедрения режима S в радиолокаторах отечественного производства (вместо широко используемого режима A/C) и расширения объёма получаемой авиационными пользователями информации. Проведён анализ информации, которую можно получать от ВС с использованием режима S. Рассмотрены проблемные вопросы, возникающие в процессе использования режима S, решение которых позволит повысить его эффективность.

Ключевые слова: гражданская авиация, воздушный транспорт, воздушное судно, обслуживание воздушного движения, моноимпульсный вторичный радиолокатор, режим S, интеллектуальные транспортные системы

Для цитирования: Пашенных В. Г., Жогин А. И., Фокина Г. Г. Возможности повышения информационной осведомлённости органов ОВД при установлении в моноимпульсных вторичных радиолокаторах режима S // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 49. С. 131–138.

THE POSSIBILITIES OF INCREASING THE INFORMATION AWARENESS OF THE ATS AUTHORITIES WHEN SETTING THE S-MODE IN MONOPULSE SECONDARY RADARS

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

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

Abstract. Information about aircraft and the exact parameters of their movement is extremely necessary for air traffic services (ATS) authorities to solve the tasks assigned to them. The article discusses the issues of increasing the informative awareness of the ATS authorities through the introducing the S-mode in domestic radars (instead of the widely used A/C mode) and expanding the amount of information received by aviation users. The analysis of the information that can be obtained from the aircraft using the S mode is carried out. The problematic issues arising in the process of using the S-mode are considered, the solution of which will increase its effectiveness.

Keywords: civil aviation, aircraft, air transport, air traffic services, monopulse secondary radar, S-mode, Intelligent transport systems

For citation: Pashennykh V. G., Zhogin A. I., Fokina G. G. The possibilities of increasing the information awareness of the ATS authorities when setting the S-mode in monopulse secondary radars. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 49, pp. 131–138. (In Russ.)

Введение

Система авиационного наблюдения обеспечивает центры (пункты) ОВД и других авиационных пользователей данными о местоположении ВС и другой необходимой информацией. Основная задача этой системы – предоставить пользователю информацию о том, «кто» находится, «где» и «когда». Кроме того, могут предоставляться данные о горизонтальной и вертикальной скоростях, идентифицирующих характеристиках или намерениях ВС.

Глобальный аэронавигационный план [1], систематически обновляемый Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) на основе существующих и перспективных технологий, направлен на обеспечение взаимосвязанной деятельности государств в сфере воздушного транспорта. В плане большое внимание уделяется важнейшим тенденциям в области авиационного наблюдения в предстоящие 20 лет. Среди перечисленных в плане тенденций обратим внимание на следующие:

- Различные методы наблюдения будут смешаны для того, чтобы получить наилучшую экономическую эффективность в зависимости от местных ограничений.

- Для совместного наблюдения будут использоваться доступные технологии в радиочастотных диапазонах 1030/1090 МГц (режим S вторичного обзорного радиолокатора (ВОРЛ), многопозиционной системы наблюдения (МПСН) и широковещательного автоматического зависящего наблюдения (АЗН-В)).

- Воздушная часть системы наблюдения станет более важной, проверенной и совместимой во всём мире для поддержки различных методов наблюдения, которые будут развиваться и использоваться.

- Будет расширяться использование линий связи «вниз» для передачи параметров ВС, что позволит авиационным пользователям:

- 1) иметь чёткое представление о позывном и эшелоне полёта;
- 2) улучшить ситуационную осведомлённость;
- 3) использовать передаваемые по линии связи «вниз» параметры ВС (DAP¹) и информацию о высоте с шагом 25 фут для улучшения радиолокационного наблюдения и обеспечения безопасности полётов;
- 4) обеспечить отображение списков ВС, находящихся в зоне ожидания, с распределением их в вертикальной плоскости;
- 5) сократить период радиообмена между диспетчером и пилотом;
- 6) повысить эффективность управления полётами ВС в зонах ожидания;
- 7) уменьшить количество случаев отклонения ВС от заданной высоты полёта.

На данном этапе развития системы авиационного наблюдения в нашей стране вторичные радиолокаторы (ВРЛ) за счёт дальнейшего внедрения и более полного использования возможностей систем режима S позволят значительно нарастить объём получаемой авиационными пользователями информации о параметрах ВС и повысить эффективность управления полётами в целом.

Общая характеристика ВРЛ с возможностями работы в режиме S

Вторичные радиолокаторы (ВРЛ) режима A/C, предназначенные для представления потребителям информации с борта ВС о коде управления воздушным движением (УВД) и барометрической высоте ВС и в настоящее время в основном используемые в России, получили дальнейшее развитие с разработкой режима S.

Активное внедрение в мире радиолокаторов и приёмоответчиков режима S началось с середины нулевых годов 21-го века. В 2007 году ИКАО в [2] были изложены основные

¹ Параметры, передаваемые с борта воздушного судна по линии связи «вниз».

положения о характеристиках и возможностях ВРЛ и приёмоответчиков с возможностями работы в режиме S.

Режим S для реализации заложенных возможностей устанавливается в моноимпульсном вторичном радиолокаторе (МВРЛ). После установления связи с ВС МВРЛ режима S способен осуществлять селективную адресную работу с каждым ВС, находящимся в его зоне действия. Это позволит, помимо информации о коде УВД и барометрической высоте, получать другую дополнительную информацию о ВС, о параметрах его полёта, что повысит эффективность работы органов ОВД. Объём получаемой информации зависит от возможностей как радиолокатора, так и приёмоответчика и бортового электронного оборудования ВС. К достоинствам МВРЛ режима S по сравнению с ВРЛ режима А/С, помимо увеличившихся возможностей получения дополнительной информации, относятся также повысившиеся вероятностные и точностные характеристики радиолокатора и значительно возросшие разрешающие способности как по азимуту, так и по дальности.

Первоначально в МВРЛ предусматривалось базовое наблюдение (ELS – ELeментарary Serveillance) режима S, которое, помимо кода УВД и барометрической высоты, позволяло получать опознавательный индекс рейса (полёта) с борта наблюдаемого ВС. Опознавательный индекс рейса (полёта) вводился экипажем в регистр 20 (hex) приёмоответчика и соответствовал пункту 7 плана полёта ИКАО. Если план полёта не предоставлялся, то опознавательный индекс соответствовал регистрационным знакам ВС. Для обеспечения базового наблюдения на борту ВС должен был быть установлен приёмоответчик первого уровня и выше.

Дальнейшим развитием режима S стало расширенное наблюдение (EHS – EnHanced Surveillance), которое, помимо получения информации об опознавательном индексе рейса (полёта), позволило получать дополнительную информацию (параметры), передаваемую с борта ВС по линии связи «вниз» в регистрах DAP. Для осуществления расширенного наблюдения требуется, чтобы приёмоответчик ВС был соединён с соответствующим бортовым электронным оборудованием. В соответствии с [2, п. 3.1.2.10.5.2.3 и табл. 3–10] к регистрам DAP приёмоответчика отнесены регистры:

- 20₁₆ – опознавательный индекс ВС;
- 30₁₆ – действующая рекомендация бортовой системы предупреждения столкновения (БСПС) по разрешению угрозы столкновения;
- 40₁₆ – выбранное намерение в вертикальной плоскости;
- 50₁₆ – донесение о линии пути и развороте;
- 60₁₆ – донесение о направлении и скорости.

Документ ИКАО [3] показывает, что с борта ВС может быть получен значительно больший объём информации. При оснащении ВС соответствующим бортовым электронным оборудованием по линии связи «вниз» может быть осуществлена передача дополнительной информации, включающей информацию о ВС, параметрах полёта, метеорологических условиях на маршруте и другое.

Увеличенный объём дополнительной информации с борта ВС может быть обеспечен следующими регистрами приёмоответчиков:

- 21₁₆ – регистрационные знаки воздушного судна и авиакомпании;
- 22₁₆ – данные о расположении антенны;
- 25₁₆ – тип ВС;
- 41₁₆ – идентификатор следующей точки пути;
- 42₁₆ – местоположение следующей точки пути;
- 43₁₆ – информация о следующей точке пути;
- 44₁₆ – регулярное метеорологическое донесение с борта;
- 45₁₆ – сводка опасных метеорологических условий;
- 48₁₆ – донесение о канале ОБЧ;

- 51₁₆ – донесение о приблизительном местоположении;
- 52₁₆ – донесение о точном местоположении;
- 53₁₆ – вектор состояния с учётом воздушной скорости;
- 54₁₆ – точка пути 1;
- 55₁₆ – точка пути 2;
- 56₁₆ – точка пути 3;
- 5F₁₆ – контроль квазистатических параметров;
- E3₁₆ – тип/номер составной части приёмответчика;
- E4₁₆ – номер изменения программного обеспечения приёмответчика;
- E5₁₆ – номер составной части установки бортовой системы предупреждения столкновений (БСПС);
- E6₁₆ – номер изменения программного обеспечения установки БСПС;
- E7₁₆ – статус и диагностика состояния приёмответчика;
- EA₁₆ – статус и диагностика состояния, определяемые поставщиком;
- F1₁₆ – применение в военных целях;
- F2₁₆ – применение в военных целях.

Потенциально за счет радиолокаторов режима S вся информация указанных выше регистров, при наличии на ВС приёмответчика не ниже второго уровня и соответствующего бортового электронного оборудования, может быть передана в центры (пункты) ОВД. Следует отметить важность информации регистра 44₁₆ (скорость ветра, направление ветра, статическая температура воздуха, среднее статистическое давление, турбулентность, влажность) и регистра 45₁₆ (турбулентность, сдвиг ветра, микропорыв, обледенение, вихревой след и др.), которая позволяет оценивать метеоусловия на воздушных трассах. Вместе с тем степень важности получения информации от каждого из указанных регистров должны определять органы, обеспечивающие ОВД в регионе развёртывания радиолокатора.

Требования к моноимпульсным вторичным радиолокаторам режима S, разрабатываемым отечественной промышленностью

Производимое отечественной промышленностью радиотехническое оборудование, в том числе вторичные радиолокаторы, предназначенное для ОВД, подлежит обязательной сертификации.

До 2016 года сертификация радиотехнического оборудования осуществлялась Межгосударственным авиационным комитетом (МАК). В 2013 году МАК сертифицировал МВРЛ «Аврора-2» (разработчик «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА»)), в котором был реализован режим S с функциями расширенного наблюдения и обеспечивалась передача информации от регистров DAP приёмответчика на центры (пункты) ОВД.

В настоящее время органом по сертификации радиотехнического оборудования и авиационной электросвязи является Росавиация. Сертификационные требования (базисы)^{2,3,4}, утверждённые Росавиацией для радиолокаторов с режимом S в 2019 году [4–6], определяют общие

² Сертификационные требования (базис) к моноимпульсному вторичному радиолокатору, утверждённые 17.07.2019. <https://favt.gov.ru/public/materials/c/6/6/2/7/c6627fd535d0ddcc471d0261b372f396.pdf>

³ Сертификационные требования (базис) к аэродромному радиолокационному комплексу (аэродромному первичному обзорному радиолокатору со встроенным моноимпульсным вторичным радиолокатором), утверждённые 17.07.2019. <https://favt.gov.ru/public/materials/a/5/7/9/e/a579eb2ce9890f12b4fb309246a9d50c.pdf>

⁴ Сертификационные требования (базис) к трассовому радиолокационному комплексу (трассовому первичному обзорному радиолокатору со встроенным моноимпульсным вторичным радиолокатором), утверждённые 17.07.2019. <https://favt.gov.ru/public/materials/f/6/e/5/2/f6e522367e93a2ff2d0d873b96e1902a.pdf>

требования и требования к техническим характеристикам МВРЛ. Анализ этих требований показывает, что в них не определён объём информации (регистры приёмответчика), который, при наличии соответствующего бортового электронного оборудования ВС, необходимо передавать в центры (пункты) ОВД. Вместе с тем этими требованиями предусмотрено производить запрос данных регистра 17₁₆ приёмответчика ВС. Регистры приёмответчика, указанные регистром 17₁₆, обновляются бортовым электронным оборудованием ВС в соответствии с установленными требованиями, и информация от них может быть передана потребителям по линии связи «вниз».

После введения в 2019 году требований [4–6] в нашей стране было сертифицировано 6 типовых конструкций радиолокационных комплексов и МВРЛ различных производителей с режимом S: аэродромный обзорный радиолокатор с вторичным каналом режима S «АОРЛ-АМИ 2700» (разработчик «АО «Азимут»); аэродромный радиолокационный комплекс «Ли́ра-А10», аэродромный радиолокационный комплекс «РЛК-10РА», трассовый радиолокационный комплекс «Сопка-2», трассовый радиолокационный комплекс «Утёс-Т» (разработчик ПАО «НПО «Алмаз»); МВРЛ «Аврора-2» (разработчик АО «Обуховский завод»).

При сертификации указанных радиолокаторов с режимом S сложилась практика проверки возможности получения дополнительной информации от всех установленных на борту ВС регистров. Радиолокатором режима S последовательно запрашивается информация о всех регистрах на борту ВС и о всех регистрах, своевременно обновляемых бортовым электронным оборудованием приёмответчика. Также осуществляется проверка передачи в автоматизированную систему (АС) УВД всего объёма информации, своевременно обновляемой бортовым электронным оборудованием ВС.

Вместе с тем требованиями [4–6] не предусматривается использование ряда других заложенных в режим S возможностей, таких как:

- усовершенствованные протоколы, иницируемые бортом (Comm-B), которые обеспечивают более высокую пропускную способность линии передачи данных в условиях работы группы станций;

- удлинённые сообщения как по линии связи «вверх», так и по линии связи «вниз» с помощью протоколов удлинённого сообщения;

- специальные протоколы режима S.

Использование этих возможностей режима S предполагает установку на борту ВС приёмответчиков 3–5 уровней и соответствующего бортового электронного оборудования.

Отсутствие в сертификационном базисе требований на использование указанных выше возможностей режима S связано с отсутствием такой необходимости вследствие низкой плотности расположения радиолокаторов, обеспечивающих центры (пункты) ОВД на территории нашей страны. В этих условиях не происходит кратного перекрытия зон действия радиолокаторов режима S, а создаваемое «очаговое» перекрытие не приводит к несвоевременному обнаружению ВС и получению данных регистров приёмответчиков в зоне действия радиолокаторов.

Передача больших объёмов информации с использованием удлинённых сообщений как с радиолокатора, так и с борта ВС для ОВД на данном этапе внедрения режима S не требуется.

Возможности режима S за счёт получения с борта ВС информации с использованием стандартных сообщений Comm-B (DF=20 и DF=21) позволяют полностью покрывать потребности органов ОВД.

Возможности повышения информационной осведомлённости органов ОВД за счёт радиолокаторов режима S

При создании радиолокаторов режима S отечественные разработчики ориентируются на требования сертификационных базисов. Требования [4–6], утверждённые в 2019 году, разрабатывались на основании нормативных документов ИКАО при отсутствии достаточного опыта

эксплуатации радиолокаторов режима S в отечественной практике. Последующий опыт разработки радиолокаторов режима S и их эксплуатации показывает, что для оценки технических характеристик разработанных радиолокаторов и эффективности их использования необходимо уточнить потребность органов ОВД в получаемой и потенциально возможной дополнительной информации, а именно:

- достаточно ли обеспечить выдачу информации только от регистров DAP;
- информацию от каких регистров требуется представлять в центры (пункты) ОВД дополнительно;
- какой должен быть период обновления дополнительной информации;
- существует ли необходимость использования возможности генерировать сообщение с борта ВС при возникновении ранее обусловленного события (специальный протокол режима S).

В условиях плотного трафика движения ВС на ряде маршрутов ОВД возникает жёсткий дефицит времени на обработку полученной радиолокатором информации, а отсутствие установленных приоритетов может привести к несвоевременному запросу первоочередных регистров приёмомотчетчиков ВС и, как следствие, к задержке обновления информации.

Приоритеты, определённые органами ОВД и учтённые в алгоритмах работы радиолокаторов, позволят повысить эффективность их использования.

Следует также отметить, что возможность повышения информированности органов ОВД о ВС и параметрах его полёта зависит от бортовых приёмомотчетчиков. В зависимости от функционала приёмомотчетчики соответствуют одному из пяти уровней. Основные возможности приёмомотчетчиков для уровней:

- первого – обеспечивают базовое наблюдение режима S;
- второго – обеспечивают расширенное наблюдение режима S;
- третьего – обеспечивают расширенное наблюдение и передачу удлиненных сообщений по каналу связи «вверх»;
- четвёртого – обеспечивают расширенное наблюдение и передачу удлиненных сообщений по каналу связи «вверх» и «вниз»;
- пятого – обеспечивают расширенное наблюдение и передачу удлиненных сообщений по каналу связи «вверх» и «вниз», а также усовершенствованной передачи Comm-B и удлиненных сообщений.

В настоящее время для обеспечения работы отечественных ВС в режиме S на них устанавливаются бортовые самолётные ответчики СО-2010⁵. В начале 2024 года был сертифицирован самолётный адресный ответчик СО-2020⁶. Анализ характеристик указанных выше самолётных ответчиков, разработанных АО «Навигатор», показывает, что ими обеспечивается передача данных DAP регистров приёмомотчетчиков. Самолётные ответчики СО-2010 и СО-2020 являются приёмомотчетчиками 2 уровня. Они обеспечивают расширенное наблюдение ВС, которое включает стандартное наблюдение.

Остальные регистры в самолётных ответчиках СО-2010 и СО-2020 не предусмотрены, в том числе регистры 44₁₆ и 45₁₆, которые обеспечивают предоставление сведений о погоде. Очевидно, что эта информация могла бы улучшить осведомлённость органов ОВД о состоянии погоды на маршрутах.

Анализ информации, получаемой от бортовых приёмомотчетчиков, установленных на иностранных ВС, показывает, что ими обеспечивается передача информации для обеспечения расширенного наблюдения в полном объёме. Набор других регистров приёмомотчетчиков ВС, передающих информацию по линии связи «вниз», варьируется в произвольном порядке.

На данном этапе развития и применения режима S не вся информация, передаваемая по линии связи «вниз» радиолокатору и далее направляемая в АС УВД, обрабатывается и отображается

⁵ Свидетельство годности комплектующего изделия от 28.05.2021 № FATA-040271C-01. Радиолокационный ответчик СО-2010.

⁶ Свидетельство годности комплектующего изделия от 12.03.2024 № FATA-040386C. Радиолокационный ответчик СО-2020.

в интересах ОВД. Это происходит вследствие того, что не определён состав получаемой с борта ВС информации, необходимой для отображения в АС УВД в интересах выполнения задач ОВД.

С целью повышения информационной осведомлённости органов ОВД необходимо:

- уточнить состав дополнительной информации (регистры приёмootветчика) и определить необходимые приоритеты, а именно, очерёдность и темп обновления информации, получаемой от каждого регистра;

- доработать отечественные приёмootветчики и бортовое электронное оборудование ВС, чтобы обеспечить передачу информации от регистров приёмootветчиков, определённых органами ОВД и необходимых для улучшения ОВД;

- доработать алгоритмы работы АС УВД для обеспечения приёма и отображения всей дополнительной информации от радиолокаторов режима S.

Заключение

В настоящей статье проанализированы возможности и процесс внедрения режима S в радиолокаторы, эксплуатируемые для ОВД в отечественной ГА. Определены проблемные вопросы и предложены меры по повышению эффективности использования радиолокаторов режима S с целью улучшения информационной осведомлённости органов ОВД.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. ИКАО Doc 9750. Глобальный аэронавигационный план на 2013–2028 гг. 4-е изд., 2013. 128 с.
2. ИКАО Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации, т. IV. Системы наблюдения и предупреждения столкновений. 5-е изд. ИКАО, 2014. 232 с.
3. ИКАО Doc 9871. Технические положения, касающиеся услуг режима S и расширенного сквиттера. 2-е изд., 2012. 352 с.
4. ИКАО Doc 9688. Руководство по специальным услугам режима S. 2-е изд., 2004. 44 с.
5. ИКАО Doc 9924. Руководство по авиационному наблюдению. 2-е изд., 2017. 372 с.

References

1. ICAO Doc 9750. Global Air Navigation Plan for 2013–2028. 4th ed., 2013, 128 p., available at: https://www.icao.int/SAM/eDocuments/9750_4thEdEng.pdf
2. ICAO, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, vol. IV. Aeronautical Telecommunications. 5th ed., 2014, 216 p.
3. ICAO Doc 9871. Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter. 2th ed., ICAO, 288 p.
4. ICAO Doc 9688. Manual on Mode S Specific Services. 2nd ed., 2004, 41 p.
5. ICAO Doc 9924. Aeronautical Surveillance Manual. 2nd ed., 2017, 332 p.

Информация об авторах

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

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

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

Authors information

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

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

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

*Статья поступила в редакцию 05.12.2024; одобрена после рецензирования 13.02.2025; принята к публикации 21.02.2025.
The article was submitted 05.12.2024; approved after reviewing 13.02.2025; accepted for publication 21.02.2025.*

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-61476 от 24 апреля 2015 г.

Подписано в печать 23.04.2025

Печать офсетная
15,4 усл. печ. л.

Формат 60x84 1/8
Заказ № 25-44г

11,0 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО «Типография Миттель Пресс»

e-mail: mittelpress@mail.ru

Автор вёрстки: Михеева А. В.