

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 (№ 363)

№ 52

Москва
2025

ББК 39.5

Н34

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 докторских 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

Зам. главного редактора

Ответственный секретарь

Зам. ответственного секретаря – А. В. Кан, канд. техн. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

– Д. В. Бобылев, канд. техн. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия
– В. С. Шапкин, д-р техн. наук, проф., лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

– А. Н. Городищенин, канд. техн. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

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

Б. Н. Антипов, д-р техн. наук, проф., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва, Россия

А. А. Богоявленский, д-р техн. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

М. С. Громов, канд. техн. наук, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

С. В. Диогенов, канд. воен. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

С. Ю. Желтов, д-р техн. наук, академик РАН, ГосНИИАС, Москва, Россия

Е. Е. Карсыбаев, д-р техн. наук, проф., Академия гражданской авиации, Алматы, Республика Казахстан

А. Я. Книвель, канд. техн. наук, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

В. Б. Козловский, д-р техн. наук, проф., ПАНХ, Краснодар, Россия

Г. А. Крыжановский, д-р техн. наук, проф., заслуженный работник науки и техники Российской Федерации, СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Россия

Е. А. Куклев, д-р техн. наук, проф., заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Россия

У. Э. Курманов, канд. техн. наук, доц., Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова, Бишкек, Кыргызская Республика

А. В. Лапаев, д-р техн. наук, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

О. Ф. Машошин, д-р техн. наук, проф., МГТУ ГА, Москва, Россия

А. А. Пухов, д-р техн. наук, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия

О. Ю. Страдомский, канд. техн. наук, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, ГосНИИ ГА, Москва, Россия

К. И. Сыпало, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, ЦАГИ, Жуковский, Московская обл., Россия

Н. Б. Топоров, д-р техн. наук, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия

О. Г. Феоктистова, д-р техн. наук, доц., МГТУ ГА, Москва, Россия

С. Л. Чернышев, д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, ЦАГИ, Жуковский, Московская обл., Россия

тел./факс: 8 (495) 490 9500 (*1016)

e-mail: gosniiga@gosniiga.ru

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

Editorial Board

Chief editor	– D. V. Bobylev, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Deputy chief editor	– V. S. Shapkin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., GosNII GA, Moscow, Russia
Responsible secretary	– A. N. Gorodishenin, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Deputy Responsible secretary	– A. V. Kan, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia

The members of the Editorial Board

N. A. Abduzhabarov, Cand. Sci. (Eng.), Tashkent State Technical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan
B. S. Aleshin, Dr. Sci. (Eng.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Prof., National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
B. N. Antipov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow, Russia
A. A. Bogoyavlenskiy, Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
M. S. Gromov, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
S. V. Diogenov, Cand. Sci. (Mil.), GosNII GA, Moscow, Russia
S. Yu. Zheltov, Dr. Sci. (Eng.), Academician of the Russian Academy of Sciences, GosNIIAS, Moscow, Russia
E. E. Karsybaev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan
A. Ya. Knivel, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
V. B. Kozlovskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., PANH Helicopters, Krasnodar, Russia
G. A. Kryzhanovskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., St. Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia
E. A. Kuklev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., St. Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia
U. Eh. Kurmanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Kyrgyz Aviation Institute named after I. Abdraimov, Bishkek, Kyrgyz Republic
A. V. Lapaev, Dr. Sci. (Eng.), Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
O. F. Mashoshin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MSTU CA, Moscow, Russia
A. A. Pukhov, Dr. Sci. (Eng.), National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
O. Yu. Stradomskiy, Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
K. I. Sypalo, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia
N. B. Toporov, Dr. Sci. (Eng.), National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
O. G. Feoktistova, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MSTU CA, Moscow, Russia
S. L. Chernyshev, Dr. Sci. (Phys.-Mat.), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia

tel./fax: 8 (495) 490 9500 (*1016)

e-mail: gosniiga@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**

№ 52

2025

СОДЕРЖАНИЕ

Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Алипов И. В., Кузнецов С. В., Калинцев А. С., Дупиков В. В. Использование вещательного автоматического зависимого наблюдения в целях построения опорных траекторий при обработке данных наблюдения	9
Алипов И. В., Кузнецов С. В. Использование информации вещательного автоматического зависимого наблюдения для оценки эксплуатационных характеристик систем наблюдения	18
Березин Д. А., Карпов А. А., Селиванов А. Ю. Обеспечение ввода в эксплуатацию агрегатов и комплектующих изделий из обменного фонда с превышенными назначенными и межремонтными сроками службы и сроками хранения	26
Сычёв М. И., Примаков А. А., Синельников В. В. Оценивание характеристик источников наблюдения в системах управления воздушным движением при проведении испытаний и в условиях эксплуатации	32
Пушкин С. Г., Горшкова О. Ю., Ловицкий Л. Л., Малахова И. В. Метод контроля точностных характеристик средств вертикального эшелонирования в периодических лётных испытаниях воздушных судов с применением спутниковых систем навигации	44
Гаспарян Г. А., Чехов И. А. Выявление превышения пропускной способности воздушного пространства на основе паттернов риска столкновений	55
Файнбург Г. Д., Асибаков Р. И., Абрамов Б. А., Файнбург И. А. Реализация методики приоритизации проектов организации по техническому обслуживанию авиационной техники	68
Глухов Г. Е. О необходимости гармонизации национального авиационного законодательства с международными стандартами ИКАО: механизмы гармонизации и мониторинга соответствия	80

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

Ковба Л. В., Бурая С. А., Поплетеев С. И., Азжеурова О. Б., Азжеурова Е. С. Актуальные вопросы качества противоводокристаллизационных жидкостей	89
Фридлянд А. А., Меланин В. А., Столяров Н. С. ESG-трансформации предприятий воздушного транспорта в интересах достижения стратегических целей развития	100
Лаврентьев О. Ю. Анализ уровня внедрения Российской Федерации безопасной цепи поставок авиагрузов	109
Аксютин В. С., Попов Ю. В., Феоктистова О. Г., Кулешов А. А. Системно-аналитический метод оценки эксплуатационных рисков для безопасности полётов коммерческих авиакомпаний	117

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

No. 52

2025

CONTENTS

Navigation and operation of aircraft

Alipov I. V., Kuznetsov S. V., Kalincev A. S., Dupikov V. V. Using broadcast automatic dependent surveillance as the reference trajectories in processing surveillance data	9
Alipov I. V., Kuznetsov S. V. Use of automatic dependent surveillance-broadcast information for evaluating the operational characteristics of surveillance systems	18
Berezin D. A., Karpov A. A., Selivanov A. Yu. Ensuring the commissioning of units and components from the exchange fleet exceeding the designated and interrepair service life and storage periods	26
Sychev M. I., Primakov A. A., Sinelnikov V. V. Evaluation of the performance of observation sources in air traffic control systems during tests and in operational conditions	32
Pushkov S. G., Gorshkova O. Yu., Lovitsky L. L., Malakhova I. V. Methods of vertical separation equipment accuracy monitoring in periodic flight tests of aircraft using satellite navigation systems	44
Gasparyan G. A., Chekhov I. A. Detection of airspace capacity overload based on collision risk patterns	55
Fainburg G. D., Asibakov R. I., Abramov B. A., Fainburg I. A. Implementation of the project prioritization methodology of the aircraft maintenance organization	68
Glukhov G. E. Necessity of harmonization of national aviation legislation with ICAO international standards: harmonization and compliance monitoring mechanisms	80

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

Kovba L. V., Buraya S. A., Popleteev S. I., Azzheurova O. B., Azzheurova E. S. The topical quality issues of fuel system icing inhibitors	89
Fridlyand A. A., Melanin V. A., Stolyarov N. S. ESG-transformations of air transport enterprises in the interests of achieving strategic development goals	100
Lavrentyev O. Yu. Analysis of the level of implementation by the Russian Federation of a safe supply chain for air cargo	109
Aksyutin V. S., Popov Yu. V., Feoktistova O. G., Kuleshov A. A. System-analytical method for assessing operational safety risks of commercial airlines	117

Научная статья
УДК 656.7.052

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОСТРОЕНИЯ ОПОРНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯ

И. В. АЛИПОВ, С. В. КУЗНЕЦОВ, А. С. КАЛИНЦЕВ, В. В. ДУПИКОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается использование данных вещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В) для построения опорных траекторий при обработке данных наблюдения в системах организации воздушного движения. Проанализированы преимущества и ограничения применения АЗН-В в целях повышения точности и надёжности информации о местоположении воздушных судов. Рассмотрены методы обработки данных АЗН-В для построения точных траекторий и улучшения эксплуатационных характеристик систем наблюдения, включая оценку вероятности обновления данных о барометрической высоте и временные задержки в передаче сигналов. Приведены примеры использования разработанного программного обеспечения для обработки данных АЗН-В, направленного на повышение эффективности контроля и управления воздушным движением.

Ключевые слова: аэронавигация, АЗН-В, погрешность вещательного автоматического зависимого наблюдения, воздушное судно, система наблюдения ОВД, точность определения координат, аэронавигация, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Алипов И. В., Кузнецов С. В., Калинцев А. С., Дупиков В. В. Использование вещательного автоматического зависимого наблюдения в целях построения опорных траекторий при обработке данных наблюдения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 9–17.

USING BROADCAST AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE AS THE REFERENCE TRAJECTORIES IN PROCESSING SURVEILLANCE DATA

I. V. ALIPOV, S. V. KUZNETSOV, A. S. KALINCEV, V. V. DUPIKOV

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

Abstract. The article explores the use of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) data for constructing reference trajectories in the processing of surveillance data within air traffic management systems. The advantages and limitations of ADS-B application in enhancing the accuracy and reliability of aircraft location information are analyzed. The methods for processing ADS-B data to build accurate trajectories and improve the operational characteristics of surveillance systems are discussed, including the evaluation of the probability of altitude data updates and signal transmission delays. Examples are provided using the developed software for processing ADS-B data, aimed at increasing the efficiency of air traffic control and management.

Keywords: air navigation, broadcast automatic dependent surveillance, broadcast automatic dependent surveillance error, aircraft, surveillance system ATS, coordinate determination accuracy, navigation, operation of aircraft

For citation: Alipov I. V., Kuznetsov S. V., Kalincev A. S., Dupikov V. V. Using broadcast automatic dependent surveillance as the reference trajectories in processing surveillance data. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 9–17. (In Russ.)

Введение

На различных этапах жизненного цикла наземных средств радиотехнического обеспечения полётов и авиационной электросвязи (РТОП и АС) проводятся лётные проверки с целью определения соответствия тактико-технических характеристик этих средств установленным требованиям с использованием воздушного судна (ВС) с аппаратурой лётного контроля (АСЛК). В частности, предусматриваются лётные проверки средств наблюдения: радиолокаторов первичных (ПРЛ) и вторичных (ВРЛ), многопозиционных систем наблюдения (МПСН) и АЗН-В.

Основными недостатками существующего порядка проведения лётных проверок средств наблюдения с использованием ВС с АСЛК являются: незначительный объём выборки измерений и, как следствие, невозможность оценки параметров по всей зоне действия на различных эшелонах, включая проверку всех возможных режимов работы и резервирования; высокие затраты; необходимость долгосрочного планирования работ и отсутствие возможности оперативного проведения специальных лётных проверок; сложности использования парка имеющихся ВС с АСЛК иностранного производства в условиях санкционного давления со стороны недружественных государств при отсутствии таких ВС отечественного производства.

Указанные недостатки могут быть устранены путём широкого внедрения методов оценки характеристик средств наблюдения по рейсовым ВС с использованием для построения опорных траекторий информации АЗН-В.

Восстановление непрерывной траектории полёта ВС в горизонтальной плоскости по дискретным данным АЗН-В

С целью построения опорной траектории на основе высокоточных координатных данных, полученных от бортового приёмника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) в геодезической системе координат и переданных на землю по каналам АЗН-В, в [1] предложено по этим данным восстанавливать непрерывную траекторию полёта ВС в горизонтальной плоскости в виде кубических сплайнов методом наименьших квадратов (МНК) отдельно по координатам широты и долготы.

Представленный в [1] метод даёт хорошие результаты, но требует тонкой настройки параметров, часто «капризен» в выборе узлов МНК сплайна и, как следствие, сопряжён с повышенными трудозатратами специалистов высокого уровня. Поэтому для практических расчётов был разработан упрощённый подход к построению опорной траектории, который физически понятен, надёжен, практически полностью автоматизируется и не требует исполнителей высокой квалификации.

Для построения сглаженной траектории на базе измерений местоположения ВС опорной системой наблюдения (обычно на базе данных АЗН-В) выбирается окно, включающее N измерений. Далее проводится сглаживание содержащихся в окне точек (координат ВС) полиномом 3-го порядка по критерию квадратного корня из среднего квадрата невязок (среднее квадратическое значение – RMS), и для сглаженной траектории берётся одна точка, соответствующая середине данного окна с атрибутами: координаты, скорость ВС и параметры полученного полинома. Затем осуществляется сдвиг окна на одну точку вправо, и процедура повторяется до последней точки и получения полностью сформированной опорной траектории. Теперь для получения невязки между точкой исследуемой системы наблюдения и соответствующей точкой на опорной

траектории в качестве последней берётся точка (со временем, равным времени измерения координат ВС исследуемой системой наблюдения), координаты которой рассчитываются по атрибутам полинома ближайшей по времени точки на сглаженной траектории.

Качество сглаживания существенно зависит от размера окна, поэтому специальное программное обеспечение (СПО), реализующее предложенный подход, включает возможность оптимизации количества точек окна в конкретных условиях, в которых проводится оценка эксплуатационных характеристик исследуемого средства наблюдения или системы наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД) в целом. Для иллюстрации возможностей СПО ниже приводятся результаты оптимизации размера окна для получения сглаженной траектории на основе данных системы АЗН-В, выбранной в качестве опорной. Рассматриваются два случая: полёт воздушного судна лаборатории (ВСЛ) в 2019 году (рис. 1) с целью оценки характеристик тюменской МПСН и сугочная выборка рейсовых полётов в мае 2024 года, собранная для оценки характеристик широкозонной многопозиционной системы наблюдения (МПСН-Ш) «Мера» Санкт-Петербургского центра ОВД.

Траектория полёта ВСЛ (рис. 1) отличается большим количеством криволинейных участков с малым радиусом разворота. Полёты, составляющие выборку по Санкт-Петербургскому центру ОВД, в основном прямолинейные ортодромические.

Результаты исследования влияния размера окна на качество сглаживания координатных данных АЗН-В для траекторий с большой долей криволинейных участков представлены в табл. 1.

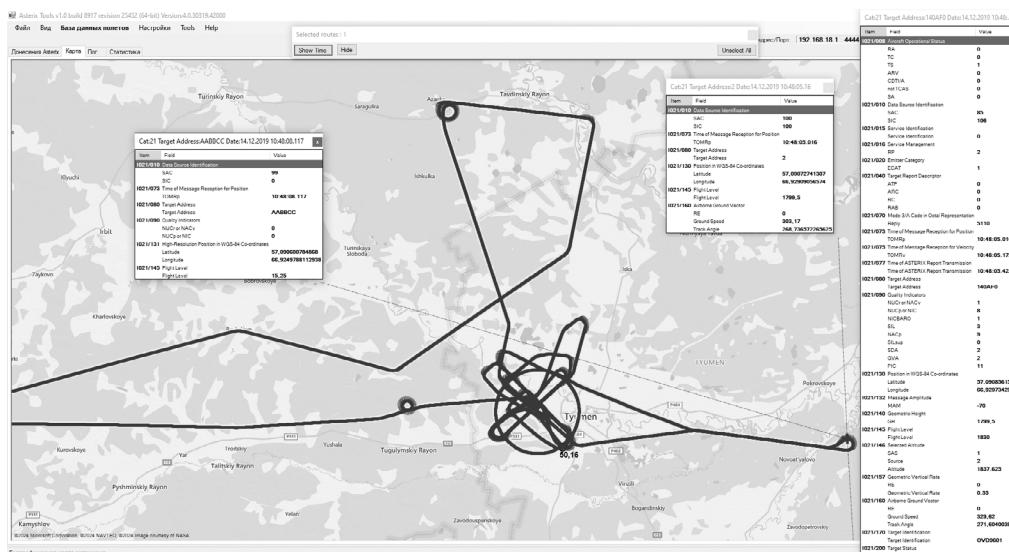


Рис. 1. Общий вид траектории полёта ВСЛ по данным АЗН-В в районе Тюмени

Таблица 1

Оптимизация размера окна при сглаживании координатных данных АЗН-В
по полёту ВСЛ в районе Тюмени (2019 г.)

№ п/п	Размер окна (количество точек)	Значение критерия качества сглаживания (м)
1	17	4,01
2	18	3,91
3	19	3,92
4	20	3,99

Таким образом, оптимальным по выбранному критерию является размер окна из 18 точек.

Для оценки качества сглаживания при оптимальном размере окна (18 точек) на рис. 2 показан фрагмент северо-восточного разворота ВСЛ. Визуально сглаживание выглядит вполне качественным, что объективно подтверждается минимальным значением критерия.

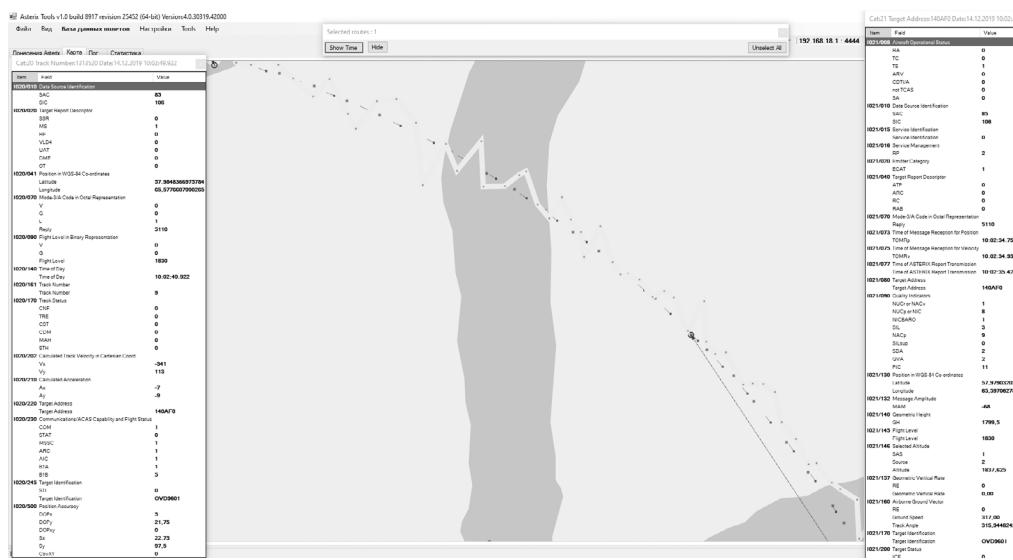


Рис. 2. Использование сглаженных данных АЗН-В (точки с вектором скорости на момент получения координат МПСН) в качестве опорной траектории при оценке точности данных МПСН (точки, соединённые ломаной линией). Отдельные крупные точки – местоположение ВС по данным АЗН-В. Слева формуляр с данными МПСН в формате Asterix 20, справа формуляр с данными АЗН-В в формате Asterix 21

В ситуации с минимальным размером окна ($N=3$) о сглаживании как таковом говорить не приходится (через 3 точки всегда можно провести график полинома 3-й степени), «сглаженные» точки просто максимально близко следуют за измеренными.

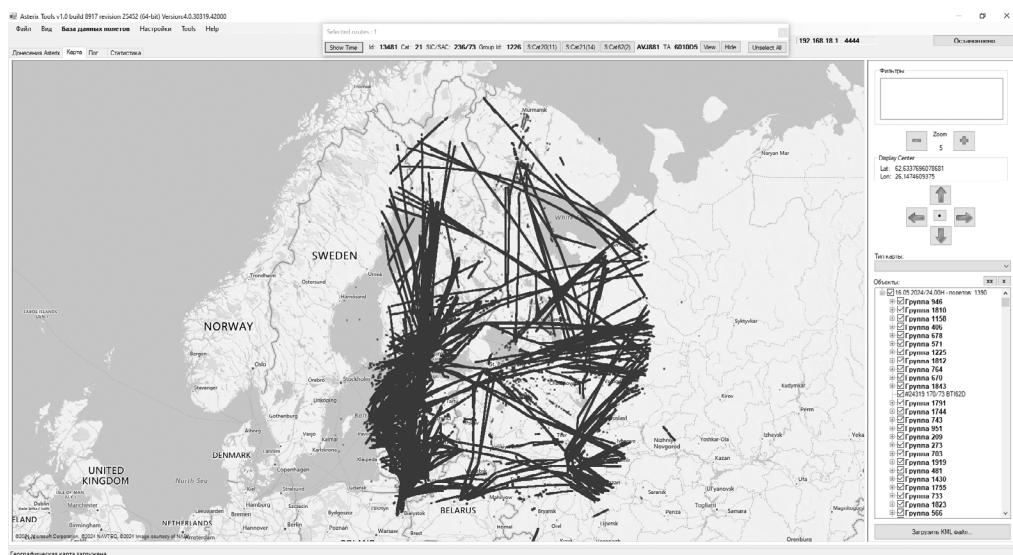


Рис. 3. Выборка полётов за 17 мая 2024 г. по данным АЗН-В Санкт-Петербургского центра ОВД (канал АЗН-В МПСН-Ш «Мера»)

Исследование влияния размера окна на качество сглаживания координатных данных АЗН-В для выборки в основном прямолинейных ортодромических траекторий (рис. 3) проводилось в Санкт-Петербургском центре ОВД.

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оптимизация размера окна при сглаживании координатных данных АЗН-В по выборке полётов в Санкт-Петербургском центре ОВД (май 2024 г.)

№ п/п	Размер окна (количество точек)	Значение критерия качества сглаживания (м)
1	27	7,85
2	28	7,58
3	29	7,81
4	30	8,22

Очевидно, оптимальным по выбранному критерию является размер окна из 28 точек. То есть необходимое качество сглаживания прямолинейных траекторий достигается использованием окон большего размера, чем в случае криволинейных траекторий. Следует отметить наличие локального минимума в районе 10 точек, вызванного наличием в рассматриваемой выборке некоторого количества криволинейных траекторий.

Кроме размера окна разработанные алгоритмы позволяют оптимизировать максимальное время интерполяции внутри окна при сглаживании баровысоты, получаемой по каналу АЗН-В и используемой для построения опорной траектории в вертикальной плоскости, а также ещё ряда параметров, незначительно влияющих на качество сглаживания.

Предварительная фильтрация данных АЗН-В

Фильтрация применяется, чтобы иметь более точное и информативное представление о реальном местоположении ВС, и подразумевает процесс удаления нежелательного шума, ошибок или ложной информации из полученного набора данных. При этом необходимо решить задачи фильтрации выбросов и ошибочных записей. Очевидно, что процедура фильтрации позволяет повысить качество анализа данных и точность полученных в дальнейшем результатов.

Задача фильтрации данных может быть сформулирована как выбор подмножества из общего массива данных на основе определённых критериев. В качестве критериев предварительной фильтрации данных АЗН-В выбраны показатели качества, передаваемые в сообщении АЗН-В.

В соответствии с Приказом¹ целостность характеризует способность системы обеспечивать пользователя своевременными и обоснованными предупреждениями (срабатываниями сигнализации) о том, что систему не следует использовать для выполнения предполагаемой операции (этапа полёта). Целостность является мерой доверия к правильности информации, выдаваемой системой.

Фильтрация данных АЗН-В по показателям качества осуществляется одновременно при их сглаживании. Рис. 4 иллюстрирует этот процесс: сглаженная траектория АЗН-В формируется только по точкам АЗН-В, показатели качества которых (NUCp, NACp, NIC) соответствуют заранее установленным требованиям. Точки с более низкими значениями показателей алгоритмом игнорируются. На рисунке сплошной линией отмечена сглаженная траектория. Белым крестом обозначен конец этой траектории. Сама несглаженная траектория АЗН-В заканчивается дальше следующим крестом, но во всех последующих точках показатель точности обнулён, и опорная траектория не формируется.

¹ Об утверждении Федеральных авиационных правил «Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации»: Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 20 октября 2014 г. № 297 с изменениями и дополнениями от 02.10.2017, 04.06.2018, 09.01.2019.

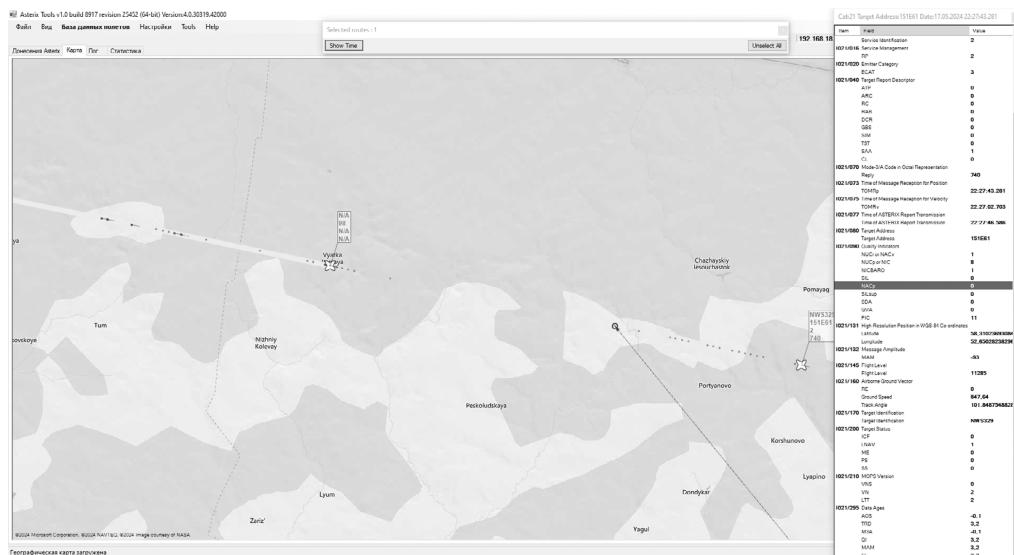


Рис. 4. Иллюстрация предварительной фильтрации данных АЗН-В по показателям качества

Компенсация остаточных систематических и случайных погрешностей опорной траектории

В настоящее время расширяется практика использования координатных данных АЗН-В в качестве опорных при оценках характеристик менее точных систем навигации и наблюдения. При этом следует иметь в виду две особенности АЗН-В.

Во-первых, хотя координаты ВС, поступающие по каналу АЗН-В, получаются в результате навигационных определений в спутниковом навигационном приёмнике и являются в своей основе высокоточными, в отдельных случаях возникает проблема целостности этих данных, содержащих большие погрешности измерения.

Во-вторых, погрешность (невязка) координатных данных АЗН-В может быть разложена на продольную по отношению к направлению полёта и боковую составляющую. Боковой составляющей ввиду её незначительности (единицы метров) можно пренебречь. Однако продольная составляющая погрешности иногда становится соизмерима с измеряемой величиной ввиду наличия некомпенсированной задержки при обработке и передаче измеренных координат в бортовом оборудовании АЗН-В. На боковую составляющую погрешности она практически не влияет, но с ростом скорости полёта ВС заметно увеличивает продольную.

Именно некомпенсированная задержка наряду с низкими показателями качества и случаями нарушения целостности является сдерживающим фактором широкого использования координатных данных АЗН-В в качестве основы построения опорной траектории для эффективной оценки характеристик средств наблюдения с использованием рейсовый воздушных судов.

Существуют различные подходы к определению некомпенсированной задержки и соответственно продольной составляющей невязки [2–5]. Альтернативно описанному выше, на базе Санкт-Петербургского центра ОВД было проведено экспериментальное исследование, в результате которого получена оценка некомпенсированной задержки / продольной составляющей погрешности координатных данных АЗН-В. Для этого использовались данные МПСН-Ш «Мера», поступающие на тестовый модуль (ТМ) КСА УВД «Галактика» в формате Asterix 20. Благодаря базовому свойству МПСН – отсутствию сколь-либо значимой систематической ошибки в направлении движения ВС, полученная систематика продольной составляющей невязок пары МПСН – АЗН-В полностью относится на счёт АЗН-В. Некомпенсированная задержка возникает на борту ВС, и средняя по выборке задержка зависит от состава парка ВС, осуществляющих полёты в данной области воздушного пространства. Поэтому можно ожидать устойчивого результата

на разных парах МПСН – АЗН-В, а небольшое расхождение в величине задержки объясняется особенностями парка попавших в данную выборку ВС, а также объёмом самой выборки.

В процессе эксперимента использовалась стандартная процедура оценки точности средств наблюдения посредством измерения и статистического анализа продольных составляющих невязок пары МПСН – АЗН-В с использованием разработанного авторами СПО. Пересчёт величины каждой невязки из линейной метрики (метры) в единицы времени (секунды) осуществлялся через путевую скорость из поля I021/160 стандартного протокола Asterix 21.

Оценка значений невязок измерений МПСН-Ш относительно опорной траектории АЗН-В в единицах времени выполнена с использованием данных наблюдения Санкт-Петербургского центра ОВД. Расчёты получены на выборках статистических данных по МПСН-Ш «Мера» (идентификатор SIC=170) с сервером-концентратором, расположенным в Пулково [6].

Полученные результаты представлены на рис. 5.

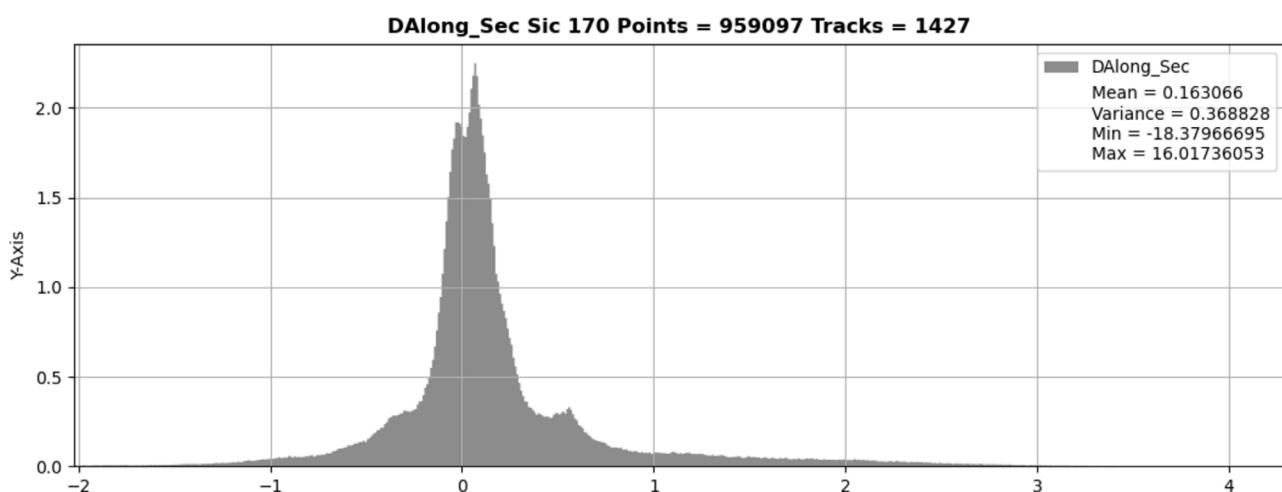


Рис. 5. Гистограмма невязок пары: МПСН-Ш «Мера» (SIC=170) – АЗН-В (опорная траектория)

Средняя задержка в 0,16 с, возможно, несколько завышена, что объясняется влиянием самой МПСН ввиду того, что анализировалась в основном периферийная часть зоны видимости этой системы, вследствие практически полного поражения информации АЗН-В в центральной части зоны видимости по причине ведения в период эксперимента интенсивной радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Результаты исследования согласуются с данными, полученными в альтернативных исследованиях [4, 5], и с данными нормативных документов [7]. Незначительные различия можно объяснить ошибками квантования передаваемых значений путевой скорости ВС и различными методическими погрешностями применяемых методов компенсации.

После устранения из данных АЗН-В некомпенсированной задержки СПО устраниет также случайную составляющую невязки, оставшуюся после сглаживания данных АЗН-В. По оценке, полученной в [6] с использованием данных, записанных на борту ВСЛ и на наземных станциях АЗН-В, её величина составляет 6,4 м.

Полученные с помощью предложенных способов определения систематической и случайной составляющей необходимо использовать при компенсации ошибок опорной траектории АЗН-В.

Заключение

Наличие опорной траектории, максимально точно отражающей фактическое местоположение ВС, является необходимым условием качественной оценки характеристик средств наблюдения, требуемой федеральными авиационными правилами. Широкое использование

данных АЗН-В для получения опорной траектории сдерживается наличием в этих данных некомпенсированных задержек, низкими показателями качества этих данных в части сообщений и (редкими) случаями нарушения их целостности.

Проведённое авторами научно-экспериментальное исследование позволило оценивать и с использованием разработанного СПО отфильтровывать/компенсировать соответствующие систематические и случайные погрешности данных АЗН-В, что даёт возможность повысить эффективность работ по проведению большинства видов испытаний средств наблюдения и систем наблюдения ОВД на основе данных по рейсовым ВС.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Проведение исследований по внедрению вещательного автоматического зависимого наблюдения в практику ОВД на примере Самарского УЦ ЕС ОрВД. Отчёт о выполнении НИР по договору № 148/18 от 08.05.2018 г. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2019.
2. Kakubari Y., Kosuge Y., Koga T. ADS-B latency estimation technology for surveillance performance assessment. *EIWAC 2017 Conference*, Tokyo, Japan, 2017.
3. Кузнецов В. Л., Тараканов А. А. Аппроксимация закона распределения собственных ошибок АЗН-В на основе кумулянтного анализа невязок данных системы АЗН-В-ВОРЛ // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20. № 2. С. 27–36.
4. Verbraak T. L., Ellerbroek J., Sun J., Hoekstra J. M., Large-Scale ADS-B Data and signal quality analysis. *Twelfth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017)*.
5. Алипов И. В., Кузнецов В. Л. Моделирование «тонкой» структуры вероятностного распределения невязок в показаниях АЗН-В и ВОРЛ. Некомпенсированная задержка // Научный вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22. № 4. С. 8–20.
6. Проведение исследований по вопросам внедрения вещательного автоматического зависимого наблюдения совместно с многопозиционной системой наблюдения в практику ОВД Санкт-Петербургского центра ОВД при районном диспетчерском обслуживании. Отчёт о выполнении 1-го этапа НИР по договору № 1277/23-322 от 21.06.2023 г. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2023.
7. RTCA DO-318. Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Areas Using ADS-B Surveillance (ADS-B-RAD). RTCA, 2009.

References

1. Conducting research on the introduction of broadcast automatic dependent surveillance into the practice of ATS on the example of the Samara CC of the EU ATM. Report on the implementation of research under the contract no. 148/18 dated 08.05.2018, Moscow, GosNII GA Publ., 2019. (In Russ.)
2. Kakubari Y., Kosuge Y., Koga T. ADS-B latency estimation technology for surveillance performance assessment. *EIWAC 2017 Conference*, Tokyo, Japan, 2017.
3. Kuznetsov V. L., Tarakanov A. A. Law distribution approximation on eigenstate errors of ADS-B based on cumulant analysis of ADS-B-RAD system data disparity. *Civil Aviation High Technologies*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 27–36. (In Russ.)
4. Verbraak T. L., Ellerbroek J., Sun J., Hoekstra J. M., Large-Scale ADS-B Data and Signal Quality Analysis. *Twelfth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017)*.
5. Alipov I. V., Kuznetsov V. L. Modeling of the “thin” structure probability discrepancy distribution in the indications of ADS-B and SSR. Uncompensated latency. *Civil Aviation High Technologies*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 8–20. (In Russ.)

6. Conducting research on the introduction of broadcast automatic dependent surveillance in conjunction with a multi-position surveillance system into the practice of the ATS of the St. Petersburg ATS Center for District Dispatch Services. Report on completion of Phase 1 of research work under contract no. 1277/23-322 dated 21.06.2023, Moscow, GosNII GA Publ., 2023. (In Russ.)

7. RTCA DO-318. Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Areas Using ADS-B Surveillance (ADS-B-RAD). RTCA, 2009.

Информация об авторах

Алипов Иван Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, alipov_iv@gosniiiga.ru

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

Калинцев Андрей Сергеевич, заместитель начальника отдела – начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, kalincev_as@gosniiiga.ru

Дупиков Валентин Владимирович, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, dupikov_vv@gosniiiga.ru

Authors information

Alipov Ivan V., Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, alipov_iv@gosniiiga.ru

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

Kalincev Andrey S., Deputy Head of Department – Head of Sector, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, kalincev_as@gosniiiga.ru

Dupikov Valentin V., Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, dupikov_vv@gosniiiga.ru

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; одобрена после рецензирования 01.10.2025; принята к публикации 01.11.2025.

The article was submitted 11.07.2025; approved after reviewing 01.10.2025; accepted for publication 01.11.2025.

Научная статья
УДК 656.7.052

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ВЕЩАТЕЛЬНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

И. В. АЛИПОВ, С. В. КУЗНЕЦОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Представлены основные результаты эксплуатационных испытаний системы наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД) Регионального центра (РЦ) единой системы (ЕС) организации воздушного движения (ОрВД), Санкт-Петербург на соответствие разработанным в рамках проведённого исследования требованиям. Подтверждено соответствие данной системы наблюдения условиям п. 6.1 Федеральных авиационных правил (ФАП) «Организация воздушного движения» Министерства транспорта Российской Федерации и установлена возможность её применения для ОВД, в том числе для обеспечения эшелонирования воздушных судов (ВС). Соответствие подтверждено в полном объёме регламентированных эксплуатационных характеристик для всех локальных конфигураций данных, поступающих на обработку в комплекс средств автоматизации (КСА) управления воздушным движением (УВД) от входящих в систему средств наблюдения, включая радиолокационную информацию, данные широкозонных многопозиционных систем наблюдения (МПСН-Ш) и данные вещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В). Проиллюстрировано использование данных АЗН-В, в частности, координатных, для построения опорных траекторий, обеспечивающих качественную оценку точности испытуемой системы наблюдения в разных её конфигурациях, вероятности обновления корректных данных о барометрической высоте полёта ВС и величин задержек в передаче специального индикатора положения и изменений идентификации ВС. Для обеспечения качественной оценки эксплуатационных характеристик данные АЗН-В предварительно обрабатывались с использованием разработанного авторами специального программного обеспечения.

Ключевые слова: системы наблюдения обслуживания воздушного движения, комплекс средств автоматизации, вещательное автоматическое зависимое наблюдение, широкозонные многопозиционные системы наблюдения, радиолокационная информация, эксплуатационные характеристики, аэронавигация, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Алипов И. В., Кузнецов С. В. Использование информации вещательного автоматического зависимого наблюдения для оценки эксплуатационных характеристик систем наблюдения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 18–25.

USE OF AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST INFORMATION FOR EVALUATING THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF SURVEILLANCE SYSTEMS

I. V. ALIPOV, S. V. KUZNETSOV

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

Abstract. The main results of the operational testing of the air traffic control (ATC) surveillance system of the Regional Air Navigation Service Center (ANS Center) in St. Petersburg are presented, in accordance with the requirements developed within the conducted research. The compliance of the ATC surveillance system of the Regional ANS Center in St. Petersburg with the conditions of paragraph 6.1 of the Federal Aviation Regulations “Air Traffic Management” by the Ministry of Transport of the Russian Federation has been confirmed. The possibility of using the surveillance system of the Regional ANS Center in St. Petersburg for air traffic control, including for ensuring aircraft separation, has been established. Compliance was confirmed in full for all regulated operational characteristics for all local data configurations processed by the ATC automated system from the surveillance assets included in the system, including radar information, wide-area multilateration data, and ADS-B data. The use of ADS-B data, particularly coordinate data, for constructing reference trajectories is illustrated, providing a qualitative assessment of the accuracy of the tested surveillance system in its various configurations, the probability of updating accurate barometric altitude flight data, and the delay values in the transmission of SPI and aircraft identification changes. To ensure a qualitative assessment of the operational characteristics, the ADS-B data was pre-processed using specialized software developed by the authors.

Keywords: air traffic service surveillance systems, automated systems complex, automatic dependent surveillance-broadcast, widearea multilateration surveillance systems, radar data, operational characteristics, navigation, operation of aircraft

For citation: Alipov I. V., Kuznetsov S. V. Use of automatic dependent surveillance-broadcast information for evaluating the operational characteristics of surveillance systems. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 18–25. (In Russ.)

Введение

В соответствии с положением (п. 6.1) нормативного документа Министерства транспорта Российской Федерации – ФАП ОрВД¹, система наблюдения обслуживания воздушного движения (СН ОВД), изображённая в обобщённом виде на рис. 1 в её максимальной конфигурации

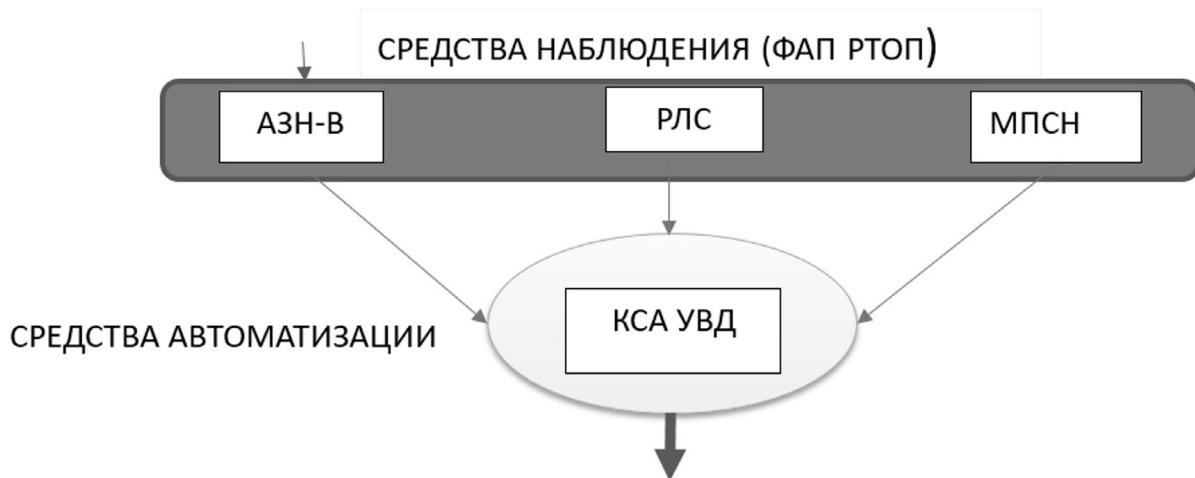


Рис. 1. Обобщённый вид СН ОВД

и включающая средства наблюдения, средства автоматизации и наземные каналы цифровой связи, применяется при ОВД самостоятельно либо в различных сочетаниях, в том числе для обеспечения эшелонирования ВС, при условии, что:

¹ Федеральные авиационные правила. Организация воздушного движения в Российской Федерации. Утверждены приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 25 ноября 2011 г. № 293.

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

В настоящее время в процессе развёртывания и ввода в эксплуатацию находится СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург в части интеграции МПСН-Ш и средств АЗН-В. С целью подготовки аргументированного решения об использовании развёртываемой системы наблюдения ОВД была проведена работа [1] по установлению её соответствия условиям ФАП ОрВД.

Требования к характеристикам СН ОВД

Условия из п. 6.1 ФАП ОрВД, указанные во Введении, фактически представляют собой требования высокого уровня. Для их подтверждения были разработаны требования прикладного уровня (таблица), обеспечивающие в совокупности выполнение этих условий. Следует отметить, что аналогичная работа была проведена Евроконтролем в соответствии с применительной директивой Европейской Комиссии [2].

Особенность разработанных требований заключается в том, что они относятся к СН ОВД в целом от входных интерфейсов средств наблюдения до вывода данных на индикатор воздушной обстановки / диспетчерский интерфейс (рис. 1), не повторяют требований к компонентам СН ОВД и не ставят под сомнение результаты их испытаний. Соответствие требованиям таблицы является необходимым условием применения конкретной СН ОВД в целях УВД.

Требования к эксплуатационным характеристикам систем наблюдения ОВД

№ п/п	Нормируемый параметр	Требование
1	Вероятность обновления данных о местоположении ВС	$\geq 97\%$ для любого отдельного полёта
2	Доля пропущенных трёх подряд и более обновлений координатной информации, включая барометрическую высоту полёта	$\leq 0,5\%$
3	RMS* горизонтального положения ВС	≤ 500 м по всей выборке и < 550 м для любого отдельного полёта
4	Вероятность обновления корректных данных о барометрической высоте полёта ВС	$\geq 96\%$ по всей выборке
5	«Средний возраст» передаваемых данных о барометрической высоте полёта ВС	≤ 4 с
6	Доля (вероятность) передаваемых донесений с некорректными (ошибочными) данными о барометрической высоте	$\leq 0,1\%$
7	Задержка изменения в донесении SPI (специальный индикатор положения)	≤ 12 с для всех случаев
8	Задержка передачи информации об изменении идентификации ВС	≤ 24 с для всех случаев
9	Вероятность обновления корректных данных об идентификации ВС	$\geq 98\%$ по всей выборке
10	Доля некорректных идентификаций ВС	$\leq 0,1\%$

*RMS – среднеквадратическое значение (второй начальный момент случайной величины)

В ходе проверки соответствия СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург требованиям таблицы в части п.п. 3, 4, 6, 7 и 8 в качестве опорных использовались данные АЗН-В. В случае несоответствия требованиям п.п. 1, 3, 7, 8 по конкретному полёту ВС проводилось дополнительное исследование с целью определения причины несоответствия, влияния на безопасность полётов и выработка компенсирующих мер по снижению рисков для безопасности полётов.

Оценка вероятностных характеристик проводилась на интервале 8 с по п.п. 1, 4, 9 и на интервале 26 с по п. 2.

Исследование проводилось на тестовом модуле (ТМ) КСА УВД «Галактика» с модернизованным в соответствии с [3] программным обеспечением (ПО) в части обработки данных АЗН-В и включало диспетчерскую оценку обновлённой информации СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург.

Полученные результаты

СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург включает КСА УВД «Галактика» и средства наблюдения: традиционные радиолокационные станции (РЛС), МПСН-Ш и средства АЗН-В. Локально обрабатываться могут данные, поступающие на вход КСА УВД в разной конфигурации:

- 1) радиолокационные + данные МПСН-Ш + данные АЗН-В;
- 2) радиолокационные + данные МПСН-Ш;
- 3) данные МПСН-Ш + данные АЗН-В;
- 4) радиолокационные + данные АЗН-В;
- 5) только радиолокационные;
- 6) только данные МПСН-Ш;
- 7) только данные АЗН-В.

Испытания проводились в полном объёме эксплуатационных характеристик (таблица) для шести из перечисленных конфигураций обрабатываемой КСА УВД информации наблюдения. Ввиду того, что ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» не рассматривает использование координатной информации АЗН-В без альтернативного источника наблюдения, последняя конфигурация 7) не рассматривалась. В конфигурациях, включающих данные АЗН-В, они при мультисенсорной (MyC) обработке в КСА УВД играют доминирующую роль ввиду высокой частоты обновления данных (рис. 2).



Рис. 2. Использование данных АЗН-В в качестве опорных при оценке точности СН ОВД

В результате проведённых испытаний по разработанным авторами методикам установлено, что эксплуатационные характеристики СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург при всех рабочих конфигурациях поступающей на КСА УВД информации от средств наблюдения соответствуют разработанным требованиям. Следует отметить, что ранее (2019 г.) было подтверждено соответствие аналогичным требованиям эксплуатационных характеристик СН ОВД филиала «Аэронавигация Центральной Волги» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» в более простой конфигурации: РЛС + АЗН-В.

Использование данных АЗН-В в качестве опорных

Данные АЗН-В, предварительно обработанные (фильтрация аномальных данных и данных низкого качества, фильтрация систематической и случайной погрешностей координатных данных), использовались в качестве опорных в трёх случаях:

1. При оценке точности (RMS) горизонтального положения ВС.

В этом случае (рис. 2, рис. 3) дискретные координатные данные АЗН-В сглаживались с использованием непрерывных кубических МНК² сплайнов, которые в дальнейшем выполняли роль опорной траектории.

На рис. 2 слева представлены формуляры с информацией АЗН-В в формате Asterix 21, справа – формуляры с данными КСА УВД в формате Asterix 62, прошедшими MyC (с использованием координатных данных АЗН-В) обработку. Точки MyC трека лежат в одном ряду с точками АЗН-В из опорной траектории.

Основные значительные отклонения точности мультирадарных (MyP) треков (RMS выше порога 550 м) сосредоточены в границах секторов РДЦ Сыктывкар 1, Сыктывкар 5 и Нарьян-Мар РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург.



Рис. 3. Использование данных АЗН-В (сплошная ровная линия точек) в качестве опорных при оценке точности СН ОВД в конфигурации только РЛИ (ломаная линия выше линии точек АЗН-В)

² Метод наименьших квадратов.

2. При оценке вероятности обновления корректных данных о барометрической высоте полёта ВС (рис. 4).

В этом случае также использовались кубические МНК сплайны, сглаживающие дискретные данные АЗН-В о барометрической высоте полёта, которые выполняли роль опорной траектории.

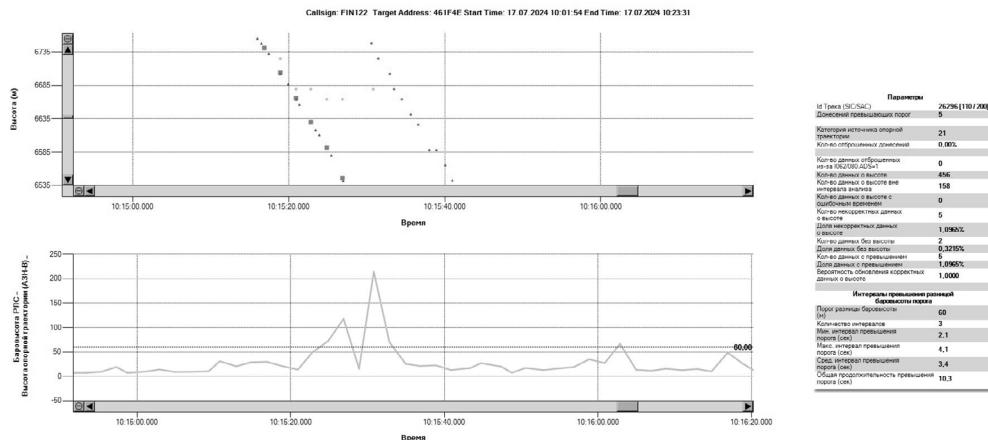


Рис. 4. Использование данных АЗН-В о барометрической высоте:

большие квадратные точки – опорная траектория АЗН-В на момент получения данных о высоте с выхода КСА УВД; линия из круглых точек, параллельная линии точек АЗН-В – геометрическая высота из сообщения АЗН-В; бледные круглые точки между двумя линиями с мало меняющейся высотой – данные с выхода КСА УВД

На нижнем графике рис. 4 разница в метрах между барометрическими высотами КСА УВД и опорной траектории. Справа – таблица с результатами обработки данных.

Минимальная вероятность обновления корректных данных о барометрической высоте полёта ВС относится к конфигурации только радиолокационных данных и составляет величину 0,9997.

3. При оценке задержек изменения в донесении SPI и передачи информации об изменении идентификации ВС (код ВРЛ) (рис. 5).

Задержки определяются как время между первым появлением соответствующего изменения на входе какого-либо средства наблюдения и первым/вторым (в случае изменения кода ВРЛ) появлением этого изменения на выходе КСА УВД. В этом случае информация АЗН-В используется как опорная ввиду высокой частоты обновления данных АЗН-В: первое сообщение с соответствующим изменением поступает за редким исключением именно по каналу АЗН-В.

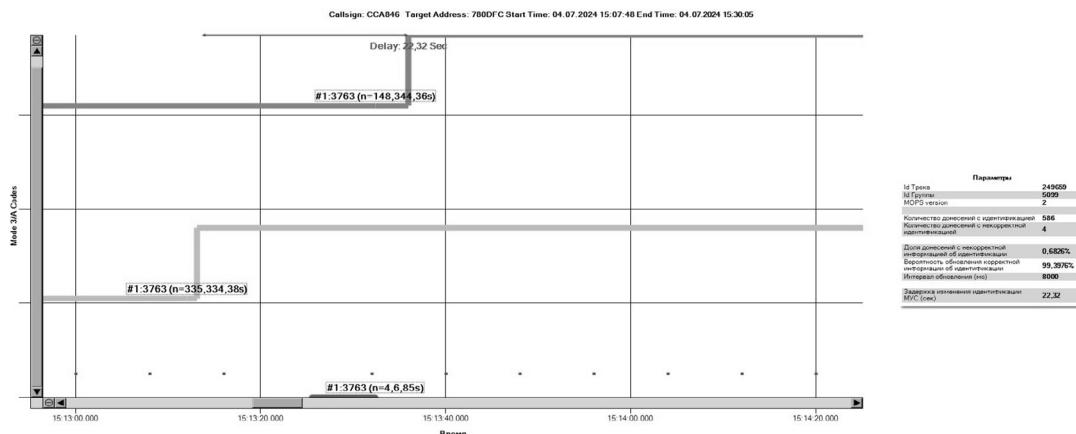


Рис. 5. Использование данных АЗН-В при оценке задержек изменения в донесении SPI / передачи информации об изменении идентификации ВС

Нижняя ступень на графике рис. 5 обозначает момент появления первого изменения на входе наземной станции АЗН-В, верхняя – момент появления изменения на выходе КСА УВД.

Заключение

Эксплуатационные характеристики СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург, в состав которой интегрируются МПСН-Ш и средства АЗН-В, соответствуют разработанным ФГУП ГосНИИ ГА [4] и уточнённым [5] требованиям (таблица). С учётом положительного результата анализа рисков [5], связанных с отказами в системе наблюдения, проведённого в соответствии с Руководством по системе управления безопасностью полётов при АНО ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» (2022 г.), установлено, что СН ОВД РЦ ЕС ОрВД, Санкт-Петербург соответствует условиям п. 6.1 ФАП ОрВД и может применяться при ОВД, в том числе для обеспечения эшелонирования воздушных судов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Проведение исследований по вопросам внедрения вещательного автоматического зависимого наблюдения совместно с многопозиционной системой наблюдения в практику ОВД Санкт-Петербургского центра ОВД при районном диспетчерском обслуживании: Материалы испытаний по 4-му этапу НИР по договору № 1277/23-322 от 21.06.2023. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2024.
2. Commission Implementing Regulation (EU) No. 1207/2011 of 22 November 2011. Laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky. *Official Journal of the European Union*, 2011, L 305, pp. 35–52.
3. Общие технические требования к настройкам функционирования АС ОрВД (КСА УВД), тренажёрных комплексов и комплексов документирования и воспроизведения информации в части использования информации АЗН-В совместно с радиолокационной информацией для обслуживания воздушного движения. ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», 2021.
4. Проведение исследований по внедрению вещательного автоматического зависимого наблюдения в практику ОВД на примере Самарского УЦ ЕС ОрВД: Отчёт о выполнении НИР по договору № 148/18 от 08.05.2018. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2019.
5. Проведение исследований по вопросам внедрения вещательного автоматического зависимого наблюдения совместно с многопозиционной системой наблюдения в практику ОВД Санкт-Петербургского центра ОВД при районном диспетчерском обслуживании: Отчёт о выполнении 1-го этапа НИР по договору № 1277/23-322 от 21.06.2023. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2023.

References

1. Conducting research on the introduction of broadcast automatic dependent surveillance in conjunction with a multi-position surveillance system into the practice of the ATS of the St. Petersburg ATS Center for district dispatch services: Test materials for stage 4 of research under contract no. 1277/23-322 dated 21.06.2023. Moscow, GosNII GA Publ., 2024. (In Russ.)
2. Commission Implementing Regulation (EU) No. 1207/2011 of 22 November 2011. Laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky. *Official Journal of the European Union*, 2011, L 305, pp. 35–52.
3. General technical requirements to operating settings of ATMS (ATC AS) simulator complexes and reproducing information regarding the use of ADS-B information together with radar information for air traffic maintenance. State ATM Corporation Publ., 2021. (In Russ.)

4. Conducting research on the introduction of broadcast automatic dependent surveillance into the practice of ATS on the example of the Samara CC of the EU ATM: Report on the implementation of research under the contract no. 148/18 dated 08.05.2018. Moscow, GosNII GA Publ., 2019. (In Russ.)

5. Conducting research on the introduction of broadcast automatic dependent surveillance in conjunction with a multi-position surveillance system into the practice of the ATS of the St. Petersburg ATS Center for District Dispatch Services: Report on completion of Phase 1 of research work under contract no. 1277/23-322 dated 21.06.2023. Moscow, GosNII GA Publ., 2023. (In Russ.)

Информация об авторах

Алипов Иван Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, alipov_iv@gosniiga.ru

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

Authors information

Alipov Ivan V., Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, alipov_iv@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 11.07.2025; одобрена после рецензирования 01.10.2025; принята к публикации 01.11.2025.

The article was submitted 11.07.2025; approved after reviewing 01.10.2025; accepted for publication 01.11.2025.

Обзорная статья
УДК 629.735.083

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ АГРЕГАТОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОБМЕННОГО ФОНДА С ПРЕВЫШЕННЫМИ НАЗНАЧЕННЫМИ И МЕЖРЕМОНТНЫМИ СРОКАМИ СЛУЖБЫ И СРОКАМИ ХРАНЕНИЯ

Д. А. БЕРЕЗИН, А. А. КАРПОВ, А. Ю. СЕЛИВАНОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оформления процедур по допуску к эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий (АиКИ), находящихся в обменных фондах авиакомпаний (авиапредприятий), с назначенными и межремонтными сроками службы, превышающими значения, установленные информационными бюллетенями для самолётов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций, а также АиКИ с истёкшими сроками хранения, которые указаны в паспортах и этикетках изделий. Для поддержания регулярности полётов и повышения эффективности использования воздушного судна (ВС) при сохранении надёжной эксплуатации ВС формируются и пополняются обменные фонды (ОФ) изделий, в том числе агрегатов с превышенными ресурсами и/или сроками службы. Мероприятия, описанные в данной статье, проводятся с целью обеспечения надёжности планируемых к эксплуатации на ВС типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций внутри одной конкретной авиакомпании АиКИ из обменных фондов и при перестановке изделий с одного на другое ВС вышеуказанных типов. Отсутствие агрегатов на рынке и трудности поставок АиКИ в современных условиях затрудняет эксплуатантам возможность замены изделий, что зачастую приводит к тому, что в обменных фондах эксплуатационных предприятий и/или в ремонтных организациях имеются изделия с превышенными сроками хранения и сроками службы. Такие изделия недопустимы к установке на ВС для их последующей эксплуатации. При этом комплекс работ по вводу в эксплуатацию таких АиКИ является необходимой процедурой для поддержания агрегатов на приемлемом уровне надёжности для обеспечения безопасности полётов, исправности и готовности ВС к полётам, экономичности технического обслуживания и ремонта АиКИ.

Ключевые слова: Ан-24, Ан-26, агрегаты, комплектующие изделия, обменный фонд, допуск к эксплуатации, эксплуатация агрегатов, срок службы, сроки хранения, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Березин Д. А., Карпов А. А., Селиванов А. Ю. Обеспечение ввода в эксплуатацию агрегатов и комплектующих изделий из обменного фонда с превышенными назначенными и межремонтными сроками службы и сроками хранения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 26–31.

ENSURING THE COMMISSIONING OF UNITS AND COMPONENTS FROM THE EXCHANGE FLEET EXCEEDING THE DESIGNATED AND INTERREPAIR SERVICE LIFE AND STORAGE PERIODS

D. A. BEREZIN, A. A. KARPOV, A. YU. SELIVANOV

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

Abstract. The article considers issues related to the formalization of procedures for the commissioning of units and components located in the exchange fleets of airlines (aviation enterprises) with designated and interrepair service life exceeding the values established by information bulletins for An-24 and An-26 aircraft of all modifications in terms of establishing resources and service life, as well as with expired storage periods specified in product passports and labels. In order to maintain flight regularity and increase the efficiency of aircraft use while maintaining reliable aircraft operation, exchange fleets of products, including units with exceeded resources and/or service life, are formed and replenished. The measures described in this article are implemented to ensure the reliability of all modifications of the An-24 and An-26 aircraft types planned for operation within a specific airline from exchange fleets and when transferring products from one aircraft to another of the above types. The lack of units on the market and difficulties in supplying units and components in modern conditions make it difficult for operators to replace products, leading, in particular, to the fact that operational units and repair enterprises have products that have exceeded their storage and service life. Such products are not allowed to be installed on aircraft for subsequent operation. At the same time, the complex of works on commissioning such units and components is a necessary measure to maintain the units in the condition necessary to ensure flight safety, serviceability and readiness of aircraft for flights, cost-effectiveness of maintenance and repair of units and components.

Keywords: An-24, An-26, units, components, exchange fleet, approval for operation, operation of units, service life, storage period, operation of aircraft

For citation: Berezin D. A., Karpov A. A., Selivanov A. Yu. Ensuring the commissioning of units and components from the exchange fleet exceeding the designated and interrepair service life and storage periods. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 26–31. (In Russ.)

Введение

Поддержание лётной годности воздушных судов стареющего парка гражданской авиации, несмотря на продолжающиеся работы по разработке и сертификации новых типов ВС, до сих пор остаётся важнейшим направлением в сфере гражданской авиации. Обеспечение безопасности полётов парка самолётов типов Ан-24 и Ан-26 в текущих реалиях невозможно без контроля уровня надёжности АиКИ, эксплуатирующихся на данном парке ВС. Важное место при этом занимают процесс ввода в эксплуатацию и обеспечение надёжной эксплуатации АиКИ с превышенными ресурсами и/или сроками службы, формирование и пополнение обменных фондов АиКИ.

Проблемы комплектования обменных фондов АиКИ

При комплектовании обменных фондов, использующихся для замены отказавших агрегатов, возникает ряд трудностей:

- недостаток, ограниченная доступность комплектующих первой категории (некоторые комплектующие могут более не производиться и быть недоступными на рынке, что затрудняет их замену) и отсутствие комплектующих у поставщиков;
- недопустимость установки на ВС изделий, находящихся в эксплуатационных предприятиях и ремонтных организациях, с превышенными сроками хранения, указанными в их паспортах и этикетках, что приводит к отсутствию возможности своевременной замены АиКИ;
- ограничения по капитальному ремонту некоторых агрегатов, связанные с недостаточными производственными мощностями ремонтных предприятий, что увеличивает сроки выполнения капитального ремонта изделий;
- финансовые ограничения (закупка новых комплектующих может потребовать значительных финансовых затрат).

Возможность проведения работ по введению в эксплуатацию АиКИ, находящихся в обменных фондах авиакомпаний (авиапредприятий), с превышенными назначенными и межремонтными сроками службы и сроками хранения, указанными в паспортах и этикетках на изделия, с учётом имеющихся на сегодняшний день недостатка и ограниченной доступности АиКИ, является одной из приоритетных задач, поставленных перед разработчиком ВС.

В настоящее время ФГУП ГосНИИ ГА (далее – Институт), являющийся держателем сертификатов типов самолётов Ан-24 и Ан-26, проводит работы по обеспечению ввода в эксплуатацию таких АиКИ. С этой целью Институтом определены объём и порядок проведения работ по исследованию технического состояния следующих АиКИ:

- находящихся в обменном фонде – с целью определения возможности ввода их в эксплуатацию для использования по назначению на конкретном ВС типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций;

- переставляемых с одного на другой экземпляр ВС типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций – с целью определения возможности продолжения их эксплуатации с параметрами, не превышающими указанные в Решениях Института о продолжении эксплуатации экземпляра (на который переставляются АиКИ) самолёта в пределах действующего этапа отработки ресурсов и/или сроков службы.

Под вводом в эксплуатацию понимается событие, фиксирующее готовность изделия к использованию по назначению и документально оформленное в установленном порядке¹.

Способы и методы ввода в эксплуатацию АиКИ

Порядок проведения работ по обеспечению ввода в эксплуатацию АиКИ и процедуры оформления соответствующей документации детально описаны в разработанной Институтом Методике [1]. При проведении работ по допуску к эксплуатации АиКИ из обменного фонда и продолжению эксплуатации АиКИ после перестановки с одного ВС на другое ВС типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций, эксплуатирующихся конкретной авиакомпанией, обязательно соблюдение следующих правил и требований:

- к процедуре допуска к эксплуатации АиКИ, находящихся в обменных фондах, на самолётах типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций допускаются только АиКИ, прошедшие проверку аутентичности в соответствии с Указанием Государственной службы гражданской авиации Министерства транспорта Российской Федерации от 19.03.2004 № 24.10-35 ГА²;

- к продолжению эксплуатации на самолётах типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций допускаются АиКИ, которые имеют подлинные паспорта, оформленные заводом-изготовителем, дубликаты паспортов, оформленные заводом после выполнения ремонта изделия, и дубликаты паспортов, оформленные авиакомпанией с подтверждением выпуска изделия заводом-изготовителем;

- ресурсы и сроки службы допускаемых к эксплуатации на самолётах типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций комплектующих изделий не могут превышать значения ресурсов и сроков службы самолёта, определённые действующими Бюллетенями об информировании авиационных предприятий, эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию авиационной техники, ремонтных организаций гражданской авиации об уточнении порядка отработки ресурсов и сроков службы самолётов Ан-24³ и Ан-26⁴;

¹ ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения.

² Указание ГС ГА Минтранса России от 19.03.2004 г. № 24.10-35 ГА «Об организации проведения работ по оценке аутентичности компонентов ВС в соответствии с Решением Совета ГС ГА Минтранса России от 17.12.03 № 16».

³ Бюллетень от 11.03.2024 № 5.Б1.24.8.9-22/128. По вопросу: информирование авиационных предприятий, эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию авиационной техники, ремонтных организаций гражданской авиации об уточнении порядка отработки ресурсов и сроков службы самолётов Ан-24 (всех модификаций), в т. ч. с максимальной взлётной массой 22,5 т, внесённых в Государственный реестр гражданских воздушных судов Российской Федерации.

- на изделиях, допускаемых к эксплуатации на самолётах типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций, своевременно осуществляются работы по техническому обслуживанию и хранению в полном объёме в строгом соответствии с действующим регламентом технического обслуживания самолётов Ан-24, Ан-26.

К процедуре ввода в эксплуатацию АиКИ не допускаются изделия, отказ которых может привести к сложной ситуации в полёте, которая характеризуется заметным повышением психо-физиологической нагрузки на экипаж и ухудшением лётных характеристик ВС.

Кроме того, в Методике [1] рассмотрен вопрос возможности перестановки АиКИ, ресурсы и сроки службы которых недостаточны для полной отработки уже установленных решениями разработчика ВС значений ресурсов и сроков службы конкретного экземпляра самолёта. Проведение подконтрольной эксплуатации на самолётах типа Ан-24 и Ан-26 внутри нескольких авиакомпаний (авиапредприятий) подтвердило возможность такой перестановки.

В период с 2017 по 2023 год продолжение эксплуатации изделий, имеющих ограниченные перечнями № АН-24-23/112 бюллетеня № 1375-БЭ-Г⁵ и № АН-26-89 бюллетеня № 826-БЭ-Г⁶ ресурсы и сроки службы, с возможностью перестановки на другие однотипные ВС проводилось путём введения подконтрольной эксплуатации согласно утверждённым ранее Институтом методикам [2–4]. Подконтрольная эксплуатация проводилась в целях получения информации, позволяющей оценить достаточность принимаемых мер для сохранения приемлемых параметров отказобезопасности функциональных систем самолётов при перестановке изделий на другие экземпляры ВС парка самолётов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций в авиакомпании (авиапредприятии).

При этом анализ опыта эксплуатации АиКИ, эксплуатируемых на самолётах типов Ан-24 и Ан-26 [5, 6], показал техническую возможность эксплуатации таких АиКИ с контролем уровня надёжности изделий. При этом значительного изменения уровня надёжности подконтрольных изделий зафиксировано не было, и продолжение их эксплуатации при перестановке между ВС не оказывало влияния на безопасность выполнения полётов.

Такие изделия после выполнения работ по исследованию их технического состояния, включающих в себя внешний осмотр изделий и планируемых мест их установки, проверку на соответствие техническим требованиям и нормам технических параметров (НТП), проверку работоспособности изделий на борту ВС в составе функциональных систем, могут использоваться по назначению после перестановки с одного на другое ВС типов Ан-24 и Ан-26 всех модификаций в пределах установленных параметров очередных этапов отработки ресурсов и сроков службы конкретного экземпляра самолёта.

Изделия с превышенным сроком хранения согласно записям в паспортах и этикетках, а также АиКИ с параметрами межремонтных ресурсов и/или сроков службы, превышающими «рамочные» значения межремонтных ресурсов и/или сроков службы самолёта, установленные действующими Бюллетенями^{7, 8}, должны направляться в капитальный

⁴ Бюллетень от 11.03.2024 № 5.Б1.26.8.9-23/63. По вопросу: информирование авиационных предприятий, эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию авиационной техники, ремонтных организаций гражданской авиации об уточнении порядка отработки ресурсов и сроков службы самолётов Ан-26 (всех модификаций), в т. ч. с максимальной взлётной массой 25,0 т, внесённых в Государственный реестр гражданских воздушных судов Российской Федерации.

⁵ Бюллетень от 25.11.1987 № 1375-БЭ-Г. Самолёт Ан-24Б (РВ). По вопросу: о ресурсах самолётов Ан-24Б (РВ) и их комплектующих изделий.

⁶ Бюллетень от 11.03.1990 № 826-БЭ-Г. Самолёт Ан-26(Б). По вопросу: о ресурсах самолётов Ан-26(Б) и их комплектующих изделий.

⁷ Бюллетень от 20.11.2019 № 1530-БЭ-Г. По вопросу: информирование авиационных предприятий, эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию авиационной техники, ремонтных организаций гражданской авиации о ресурсах и сроках службы самолётов Ан-24 (всех модификаций), внесённых в Государственный реестр гражданских воздушных судов Российской Федерации, их агрегатов и комплектующих изделий.

⁸ Бюллетень от 12.09.2016 № 1512-БЭ-Г. По вопросу: информирование авиационных предприятий, эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию авиационной техники, ремонтных организаций гражданской авиации о ресурсах и сроках службы самолётов Ан-26 (всех модификаций), внесённых в Государственный реестр гражданских воздушных судов Российской Федерации, их агрегатов и комплектующих изделий.

ремонт с целью последующего установления им новых значений параметров ресурсов и/или сроков службы.

Выполнение капитального ремонта позволяет выявить и устранить дефекты и неисправности изделия, возникшие из-за ухудшения его технического состояния вследствие превышения календарного срока хранения и/или межремонтного срока службы, и обеспечить дальнейшую эксплуатацию изделия на приемлемом уровне надёжности. Указанными изменениями технического состояния могут быть: коррозионные и микробиологические повреждения монтажных элементов изделий, потеря эластичности уплотнений, мембран, шлангов и других резинотехнических элементов конструкции изделий, усыхание консистентных смазок, сезонное растрескивание латунных материалов, образование дендритов в электролитических конденсаторах, изменение сопротивления резисторов и изоляционных материалов.

После выполнения капитального ремонта и оформления соответствующей документации допускается эксплуатация АиКИ для отработки параметров ресурсов и сроков службы, установленных решениями разработчика непосредственно ВС.

Заключение

Ранее на самолётах типа Ту-154М и ТУ-154Б на основании Решения Управления надзора за поддержанием лётной годности гражданских воздушных судов от 07.04.2005 № 5.2.5-411ГА уже была отработана практика ввода в эксплуатацию изделий АиРЭО⁹ с превышенными сроками хранения и межремонтными сроками службы изделий из обменных фондов.

Работы, описанные в данной статье, позволяют сохранить приемлемый уровень надёжности АиКИ в случае ввода их в эксплуатацию после истечения назначенных и межремонтных сроков службы и/или сроков хранения, а следуя процедурам разработанной Институтом Методики для самолётов Ан-24 и Ан-26, авиакомпании (авиапредприятия) смогут исключить время вынужденногоостоя ВС из-за поиска необходимых АиКИ в случае отказа или иных причин и сократить издержки за счёт введения в эксплуатацию уже имеющихся у них изделий.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Методика № 71/311-3-6АН-25/7 по допуску к эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий самолётов Ан-24 и Ан-26 с превышенными сроками хранения, сроками службы и ресурсами. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2025. 16 с.
2. Методика проведения подконтрольной эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий при перестановке на другие экземпляры самолётов типов Ан-24 и Ан-26. Москва: Филиал «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА и ГП «Антонов», 2020. 8 стр.
3. Методика № 24/26-ПКЭ-22. Проведение подконтрольной эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий при перестановке на другие экземпляры самолётов типов Ан-24 и АН-26. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2022. 8 стр.
4. Методика № 24/26-ПКЭ-23. Проведение эксплуатации агрегатов и комплектующих изделий по процедурам, указанным в п. 6 бюллетеня № Ан-24-ГС-002-БЭ-Г и п. 7 бюллетеня № Ан-26-ГС001-БЭ-Г, при перестановке их на другие экземпляры самолётов типов Ан-24 и Ан-26. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2023. 20 с.

⁹ АиРЭО – авиационное и радиоэлектронное оборудование.

5. Обобщение опыта эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования и радиоэлектронного оборудования самолётов Ан-24 всех модификаций за период 2017–2022 гг.: Отчёт № 71/311-3-6-АН24-23/2 с Дополнением № 71/311-3-6-АН24-25/5. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2025. 215 с.

6. Обобщение опыта эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования и радиоэлектронного оборудования самолётов Ан-26 всех модификаций за период 2017–2022 гг.: Отчёт № 71/311-3-6-АН26-23/1 с Дополнением № 71/311-3-6-АН26-25/6. Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2025. 151 с.

References

1. Methodology no. 71/311-3-6AN-25/7 for admission to operation of aircraft units and components An-24 and An-26 with exceeding shelf life, service life and resources. Moscow, GosNII GA Publ., 2025, 16 p. (In Russ.)
2. Methodology for conducting controlled operation of assemblies and components when transferring them to other An-24 and An-26 aircraft. Moscow, Branch “NII Aeronavigatsiya” FGUP GosNII GA and Antonov State Enterprise Publ., 2020, 8 p. (In Russ.)
3. Methodology no. 24/26-PKE-22. Conducting controlled operation of aggregates and components when switching to other aircraft types AN-24 and AN-26. Moscow, GosNII GA Publ., 2020, 8 p. (In Russ.)
4. Methodology No. 24/26-PKE-23. Conducting controlled operation of aggregates and components when switching to other aircraft types AN-24 and AN-26. Moscow, GosNII GA Publ., 2023, 20 p. (In Russ.)
5. Summary of experience in operating flight navigation and avionics equipment of An-24 aircraft of all modifications throughout 2017–2022. Report no. 71/311-3-6-АН24-23/2 with Addendum no. 71/311-3-6-АН24-25/5. Moscow, GosNII GA Publ., 2025, 215 p. (In Russ.)
6. Summary of experience in operating flight navigation and avionics equipment of An-26 aircraft of all modifications throughout 2017–2022. Report no. 71/311-3-6-АН26-23/1 with Addendum no. 71/311-3-6-АН26-25/6. Moscow, GosNII GA Publ., 2025, 151 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Березин Денис Александрович, ведущий инженер – эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, da_berezin@gosniiga.ru

Карпов Алексей Александрович, начальник сектора – эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, mbor@gosniiga.ru

Селиванов Алексей Юрьевич, ведущий инженер по лётным испытаниям воздушных судов, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, aselivanov@gosniiga.ru

Authors information

Berezin Denis A., Lead Engineer – Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, da_berezin@gosniiga.ru

Karpov Alexey A., Head of Sector – Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, mbor@gosniiga.ru

Selivanov Aleksey Yu., Aircraft Flight Testing Lead Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, aselivanov@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 22.07.2025; одобрена после рецензирования 06.11.2025; принята к публикации 14.11.2025.

The article was submitted 22.07.2025; approved after reviewing 06.11.2025; accepted for publication 14.11.2025.

Научная статья

УДК 656.7.052:621.396.965.8

ОЦЕНИВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ НАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ И В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М. И. СЫЧЁВ^{1,2}, А. А. ПРИМАКОВ¹, В. В. СИНЕЛЬНИКОВ¹

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

² Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается задача оценивания статистических характеристик радиотехнических источников наблюдения в системе управления воздушным движением. Такое оценивание необходимо для контроля состояния как системы наблюдения за воздушной обстановкой в целом, так и отдельных её источников, в том числе и при проведении испытаний. Оценивание характеристик может проводиться по реальной воздушной обстановке и по файлам документирования системы наблюдения за воздушной обстановкой. В основе процедуры оценивания лежит траекторная обработка информации от источников наблюдения с использованием многомодельных алгоритмов. С учётом того, что алгоритмы траекторной обработки должны соответствовать рекомендациям Евроконтроля, даны рекомендации по выбору структуры, используемых моделей движения и параметров многомодельных алгоритмов для решения рассматриваемой задачи. Описаны принципы формирования оценок вероятностных характеристик и ошибок по координатам для радиолокационных источников наблюдения. Приведено описание специализированного программного обеспечения для оценивания и анализа характеристик радиолокационных источников наблюдения кругового обзора. Представлен его состав, дано описание основных программных модулей. Описанное программное обеспечение активно используется при проведении испытаний радиолокационных источников наблюдения, приведён пример такого использования.

Ключевые слова: воздушное судно, траекторная обработка, многомодельный алгоритм, радиотехнические источники наблюдения, управление воздушным движением, аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Сычёв М. И., Примаков А. А., Синельников В. В. Оценивание характеристик источников наблюдения в системах управления воздушным движением при проведении испытаний и в условиях эксплуатации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 32–43.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF OBSERVATION SOURCES IN AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS DURING TESTS AND IN OPERATIONAL CONDITIONS

М. И. СЫЧЁВ^{1,2}, А. А. ПРИМАКОВ¹, В. В. СИНЕЛЬНИКОВ¹

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

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. The problem of estimating statistical characteristics of radio surveillance sources in the air traffic control system is considered. This allows monitoring the state of the air surveillance system and

for its individual sources, including during testing. The characteristics can be assessed based on the real air situation and on documentation files. The assessment procedure is based on tracking processing of information from surveillance sources using multi-model algorithms. Tracking processing algorithms must comply with the Eurocontrol recommendations. Recommendations are given on the choice of structure, the motion models used, and the parameters of multi-model algorithms for solving the problem under consideration. The principles of forming estimates of probabilistic characteristics and errors by coordinates are described. A description of specialized software for assessing and analyzing the characteristics of circular surveillance radar sources is given. Its composition is presented, and a description of its main software modules is given. The described software is actively used in testing radar surveillance sources. An example is given.

Keywords: aircraft, tracking processing, multi-model algorithm, radio surveillance sources, air traffic control, navigation and operation of aircraft

For citation: Sychev M. I., Primakov A. A., Sinelnikov V. V. Evaluation of the performance of observation sources in air traffic control systems during tests and in operational conditions. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 32–43. (In Russ.)

Введение

Задача оценивания текущих характеристик системы наблюдения и отдельных её источников при управлении воздушным движением (УВД) является важной составляющей для обеспечения безопасности полётов. Предупреждение потенциально конфликтных ситуаций, связанных с нарушением установленных правил эшелонирования, в значительной степени основывается на результатах работы системы наблюдения за воздушной обстановкой в целом и отдельных её источников. Основу системы наблюдения составляют радиолокационные источники наблюдения кругового обзора, использующие принципы как первичной, так и вторичной радиолокации. Развитие бортовых ответчиков воздушных судов (ВС), появление у них режима селективного запроса и расширение возможностей канала передачи информации с борта на землю на частоте 1090 МГц привело к появлению систем автоматического зависимого наблюдения (АЗН) и многопозиционных систем наблюдения (МПСН). В настоящее время они стали отдельными классами источников наблюдения в системе УВД.

Важной частью системы наблюдения за воздушной обстановкой в системе УВД является траекторная обработка информации от средств наблюдения. С её помощью получают оценки как текущих координат ВС, так и параметров их движения. Это позволяет не только иметь оценку текущей воздушной обстановки, но и прогнозировать её изменение с течением времени.

Требования к качеству оценивания текущих координат ВС и параметров их движения существенно возросли в последнее время^{1,2}. Удовлетворить их можно за счёт увеличения числа источников наблюдения, улучшения их характеристик, улучшения качества обработки информации, в том числе траекторной обработки. В процессе эксплуатации система наблюдения нуждается в постоянном контроле с целью своевременного обнаружения деградации характеристик отдельных источников наблюдения и системы в целом.

Стандарт Евроконтроля SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01 определил технические требования к радиолокационным источникам наблюдения и характеристики траекторной обработки их информации. Документ EUROCONTROL-SPEC-0147 задаёт общие требования к системе наблюдения УВД в целом.

¹ Eurocontrol Standard Document for Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas. SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01, Edition 1.0, March 1997.

² Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1, 2). EUROCONTROL-SPEC-0147, Edition 1.3, 26.06.2023.

Алгоритмы траекторной обработки, соответствующие рекомендациям Евроконтроля

Анализ рекомендованных требований к характеристикам алгоритмов траекторной обработки показал, что обеспечить их выполнение, оперируя стандартными алгоритмами, основанными на использовании одной модели движения, невозможно. Это обусловило необходимость использования многомодельных алгоритмов траекторной обработки [1–8]. Для таких алгоритмов хорошо себя зарекомендовал подход, основанный на использовании для каждого из типов движения отдельных моделей с малой мощностью возмущений и одной общей модели с большой мощностью возмущения. Модели с малой мощностью возмущений хорошо работают в установленном режиме, а с большой – при смене типа движения [9–11].

В [9] представлено описание трёх типов многомодельных алгоритмов траекторной обработки с взаимодействующими между собой моделями движения ВС. Предложено разбить их на три типа элементарных операций (блоков): объединение гипотез, их экстраполяция на следующий момент времени и обновление гипотезы при получении нового наблюдения. В зависимости от того, в какой момент производится объединение отдельных гипотез и как используется его результат, возможно построение многомодельных алгоритмов трёх типов. В [9–11] они названы MMA1, MMA2 и MMA3 (в [1] они обозначены как GPB1, IMM, GPB2 соответственно).

Исследования [9–11] показали, что наибольший интерес представляют алгоритмы MMA2 и MMA3. В этих алгоритмах при переходе к следующему моменту времени используется совокупность параметров, соответствующая каждой из N гипотез о модели движения ВС. В алгоритме MMA2 экстраполяция вектора состояния на следующий момент времени происходит для каждой из гипотез в отдельности, после чего происходит их частичное объединение. В результате в MMA2 присутствует N^2 блоков экстраполяции и N блоков обновления. Полное объединение гипотез после обновления на следующем шаге внутри алгоритма не используется и производится исключительно для выдачи информации на выходе алгоритма. Алгоритм MMA3 представляет собой N^2 параллельно работающих фильтров Калмана с частичным объединением информации для отдельных гипотез после их обновления. Полное объединение гипотез, как и в MMA2, производится только для выдачи информации на выход алгоритма.

Алгоритм MMA3 обеспечивает наиболее высокую точность оценивания вектора состояния ВС, но при этом является наиболее трудоёмким. Алгоритм MMA2 обычно проигрывает MMA3 по точности менее 5 %, но при этом значительно менее трудоёмкий. Поэтому именно алгоритм MMA2 чаще всего применяется на практике.

Мультисенсорная траекторная обработка информации от радиотехнических средств наблюдения

Обработку в радиотехнических системах наблюдения принято делить на первичную, вторичную и третичную³.

Первичная обработка – это обработка принятых сигналов в средствах наблюдения для решения задачи обнаружения ВС, оценивания их координат, подавления помех. Результатом первичной обработки является плот (отметка воздушного судна). Для радиолокационных источников наблюдения кругового обзора, которые используются в системе УВД гражданской авиации, плот представляет из себя цифровую кодограмму, содержащую информацию: идентификатор источника, метку времени, координаты ВС (наклонная дальность, азимут) и дополнительную информацию от бортового ответчика при её наличии.

³ ГОСТ Р 59406-2021. Обработка информации наблюдения в средствах автоматизации управления воздушным движением единой системы организации воздушного движения Российской Федерации. Технические требования.

Вторичная обработка – траекторная обработка информации на выходе одного источника наблюдения. Третичная обработка – траекторная обработка информации от нескольких источников наблюдения по результатам траекторной обработки, полученным от каждого из них в отдельности.

Результатом траекторной обработки в целом является трек. Трек – цифровая кодограмма, полученная в результате обработки сообщений от одного или нескольких источников наблюдения в разные моменты времени. Информация трека содержит: метку времени, текущие оценки координат воздушного судна, параметры движения (вектор скорости, возможно, вектор ускорения, тип движения), дополнительную информацию от бортового ответчика воздушного судна (при её наличии).

Трек, сформированный в результате обработки информации на выходе одного источника наблюдения, принято называть моносенсорным (монорадарным), а на выходе нескольких – мультисенсорным (мультирадарным).

Мультисенсорный трек может формироваться в результате объединения моносенсорных треков отдельных источников наблюдения или в результате непосредственной обработки их плотов. Во втором случае моносенсорная траекторная обработка либо не выполняется, либо её результаты игнорируются. Оба этих подхода имеют свои достоинства и недостатки.

Необходимо учитывать, что информация на выходе реальных источников наблюдения содержит ошибки. Кроме случайных ошибок могут присутствовать и систематические. Например, для радиолокационных источников наблюдения кругового обзора это ошибки в задании координат точки установки, ошибки определения направления на север и т. п. При выполнении моносенсорной траекторной обработки систематические ошибки координат для всех обнаруженных ВС будут одинаковыми. В результате взаимное расположение ВС будет оцениваться без систематических ошибок. В то же время инициализация (завязка) трека, для которой требуется не менее 2–3 плотов от ВС, для моносенсорных треков потребует больше времени. В случае срыва одного из моносенсорных треков, который участвует в формировании мультисенсорного трека, потребуется его повторная инициализация. В это время плты от соответствующего источника наблюдения не будут использоваться для обновления мультисенсорного трека, что приведёт к росту ошибок оценивания текущих координат и параметров движения ВС и может привести к срыву трека. Поэтому в настоящее время большинство разработчиков комплексных систем автоматизации управления воздушным движением (КСА УВД) используют второй подход к траекторной обработке информации от нескольких источников наблюдения.

Моносенсорная траекторная обработка используется разработчиками средств наблюдения для улучшения их характеристик. Например, для радиолокационных источников наблюдения таким образом снижают вероятность появления ложных отметок ВС. Мультисенсорная траекторная обработка в КСА УВД в качестве входной информации использует плты от источников наблюдения, по которым сразу формируется мультисенсорный трек. Такой подход возможен при устранении (существенном уменьшении) систематических ошибок оценок координат ВС на выходе источников наблюдения. Это особенно актуально в связи с применением многомодельных алгоритмов траекторной обработки: нескомпенсированная систематическая ошибка даже от одного источника наблюдения может оцениваться как начало манёвра с последующим переходом на модель с большим возмущением.

Оценивание характеристик траекторной обработки при помощи имитатора

Учитывая, какую важную роль играет траекторная обработка информации в системе наблюдения за воздушной обстановкой в целом, необходимо не только выполнять её с соблюдением технически обоснованных требований, но и иметь возможность её контролировать. В приложении Е к стандарту Евроконтроля SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01 приведены сценарии проведения

проверок, для которых заданы рекомендованные числовые значения характеристик траекторной обработки. Эти сценарии принято называть «Тесты Евроконтроля».

Рекомендованные числовые значения характеристик траекторной обработки заданы как для основных типов движения ВС, так и при их смене. Анализ рекомендованных требований показал, что наиболее сложно их обеспечить для прямолинейного равномерного движения. Требования касаются не только оценок текущих координат ВС, но и вектора скорости. Прямолинейный равномерный тип движения можно считать основным. Большую часть полёта движение ВС хорошо описывается именно этой моделью. Это наиболее экономичный тип движения с точки зрения расхода топлива. Два других типа движения: поворот и прямолинейное с изменением скорости принято относить к манёврам [11].

Проверку характеристик траекторной обработки в реальных КСА УВД возможно проводить при помощи программных имитаторов. Описание такого имитатора приведено в [12].

Оценивание статистических характеристик источников наблюдения по результатам траекторной обработки

Оценивание статистических характеристик источников наблюдения может проводиться как в реальном времени, так и по файлам документирования. В обоих случаях на вход программы оценивания статистических характеристик источников наблюдения поступает поток цифровых кодограмм, представляющих из себя плоты (первичные отметки) ВС. Далее решается задача инициализации траекторий ВС, ассоциации плотов с существующими треками ВС и т. д. Каждый плот, не ассоциированный с существующими треками ВС, рассматривается как новый трек. После обновления несколькими плотами (обычно 1–5) трек переходит в категорию «подтверждённый трек ВС». После этого все последующие плоты, ассоциированные с этим треком, участвуют в формировании оценки вероятности правильного обнаружения. Если же новый трек не проходит процедуру подтверждения и сбрасывается, то ассоциированные с ним плоты рассматриваются как ложные.

Для оценивания точностных характеристик источников наблюдения выбираются участки траекторий ВС с прямолинейным равномерным движением, на которых алгоритм траекторной обработки работает в стационарном режиме. Обычно для этого требуется примерно полторы–две минуты после инициализации трека или завершения манёвра ВС. В многомодельном алгоритме траекторной обработки в этот момент гипотеза, соответствующая модели прямолинейного равномерного движения с малыми возмущениями (среднее квадратическое отклонение (СКО) ускорения менее $0,5 \text{ м/с}^2$), имеет наибольшую оценку вероятности по сравнению с другими. Разница между экстраполированными оценками координат траектории ВС и координатами текущего плата используется для оценивания математического ожидания и СКО ошибки по соответствующей координате. Для радиолокационных источников наблюдения такая обработка ведётся по наклонной дальности и азимуту.

В настоящее время сложившиеся технические требования к радиотехническим источникам наблюдения существуют только для радиолокационных источников. Для систем АЗН и МПСН они пока только формируются, в связи с чем в настоящей статье рассматриваются радиолокационные источники наблюдения кругового обзора, для оценивания характеристик которых было разработано специализированное программное обеспечение.

Описание специализированного программного обеспечения для оценивания характеристик радиолокационных средств наблюдения

Специализированное программное обеспечение для оценивания статистических характеристик радиолокационных источников наблюдения кругового обзора состоит из ряда модулей.

К основным программным модулям относятся: модуль траекторной обработки и оценивания статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения, модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения. Кроме того, присутствуют: модуль отображения воздушной обстановки, модули воспроизведения файлов документирования и др.

Мультисенсорная траекторная обработка выполняется в системе координат WGS-84. Используется многомодельный алгоритм с тремя моделями горизонтального движения ВС: прямолинейное равномерное движение с малыми возмущениями (СКО ускорения $0,1 \text{ м/с}^2$), поворот с малыми возмущениями (СКО ускорения $0,3 \text{ м/с}^2$) и поворот с большими возмущениями (СКО ускорения 3 м/с^2) [10]. Технические требования:

- количество одновременно сопровождаемых ВС не менее 500;
- параметры движения отдельных воздушных судов [12]:
 - горизонтальная скорость – $(0\text{--}3000) \text{ км/ч}$;
 - вертикальная скорость – $(0\text{--}40) \text{ м/с}$;
 - продольное ускорение – $(0\text{--}2) \text{ м/с}^2$;
 - поперечное ускорение – $(0\text{--}6) \text{ м/с}^2$;
 - высота полёта – $(0\text{--}20000) \text{ м}$.

Для оценивания статистических характеристик радиолокационных источников наблюдения кругового обзора их зона действия была разделена на ячейки по наклонной дальности, азимуту и высоте. Были выбраны следующие размеры ячеек: по дальности – 10 км, по азимуту – 10 град., по высоте – 500 м. Если плот или трек, с которым он ассоциирован, не имеют достоверной информации о высоте, то они относятся к соответствующим ячейкам по наклонной дальности и азимуту с признаком «высота не определена».

Для каждой ячейки формируется набор статистик. Для первичного канала радиолокационного источника наблюдения кругового обзора он позволяет получить оценки для следующих характеристик [12]:

- вероятность правильного обнаружения;
- среднее число ложных отметок за обзор;
- математическое ожидание и СКО ошибки по дальности;
- математическое ожидание и СКО ошибки по азимуту.

Для вторичного канала радиолокационного источника наблюдения кругового обзора формируются оценки аналогичных характеристик [12]:

- вероятность правильного обнаружения;
- вероятность выделения бортового номера;
- вероятность выделения барометрической высоты;
- среднее число ложных отметок за обзор;
- вероятность ложного сообщения;
- математическое ожидание и СКО ошибки по дальности;
- математическое ожидание и СКО ошибки по азимуту.

Все оценки статистических характеристик сопровождаются объёмом выборок, по которым они сформированы. Набор статистик предполагает возможность объединения ячеек без каких-либо ограничений для формирования усреднённых статистик. Накопленные по ячейкам статистики сохраняются в файл для последующей обработки и анализа.

Модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения предназначен для обработки файлов с накопленными по ячейкам статистиками. Он позволяет проводить совместную обработку неограниченного числа файлов с накопленными статистиками для отдельного радиолокационного источника наблюдения. Оценки перечисленных выше статистических характеристик могут быть рассчитаны не только для отдельных ячеек, но и для их групп, в том числе по отдельным участкам зоны действия, ограниченным заданными диапазонами по дальности, азимуту и высоте.

Общие виды окна программного модуля отображения статистических характеристик радиолокационных источников наблюдения представлены на рис. 1–4. Окно предназначено для визуализации информации, содержащейся в файлах статистических характеристик, подготовленных программным модулем траекторной обработки. Окно поделено на две части: левую и правую. В правой части находятся основные элементы управления программным модулем. В левой части находятся элементы визуализации статистических характеристик радиолокационных источников наблюдения.

Сверху левой части находятся 4 ярлыка: «R-H», «R-Az», «PD-R», «Статистика». Они позволяют открывать соответствующие панели. На рис. 1 представлен общий вид окна модуля отображения с открытой панелью «R-H».

Основные элементы управления находятся в правой части окна. Кнопка «Выход» позволяет закрыть программный модуль. Кнопка «Сброс статистики» производит сброс текущих статистических характеристик. Кнопка «Загрузить статистику из файла ...» приводит к появлению стандартного диалогового окна для выбора файла статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения, подготовленных программным модулем траекторной обработки. При этом текущие статистические характеристики сбрасываются. Кнопка «Добавить статистику из файла ...» вызывает появление стандартного диалога для выбора файла, но при этом содержащиеся в нём статистические характеристики радиолокационного источника наблюдения добавляются к текущим статистическим характеристикам. Кнопка «Сохранить статистику в файл ...» приводит к появлению стандартного диалогового окна для выбора файла для сохранения текущих статистических характеристик радиолокационного источника наблюдения. Поле «Число обзоров» показывает общее число обзоров РЛС в накопленной статистике. Поле «Палитра» позволяет выбрать палитру для отображения вероятности правильного обнаружения на панелях «R-H» и «R-Az». В нижней трети правой части окна находится поле для вывода текстовых сообщений. Двойной щелчок левой кнопки мыши в этом поле приводит к его очистке.

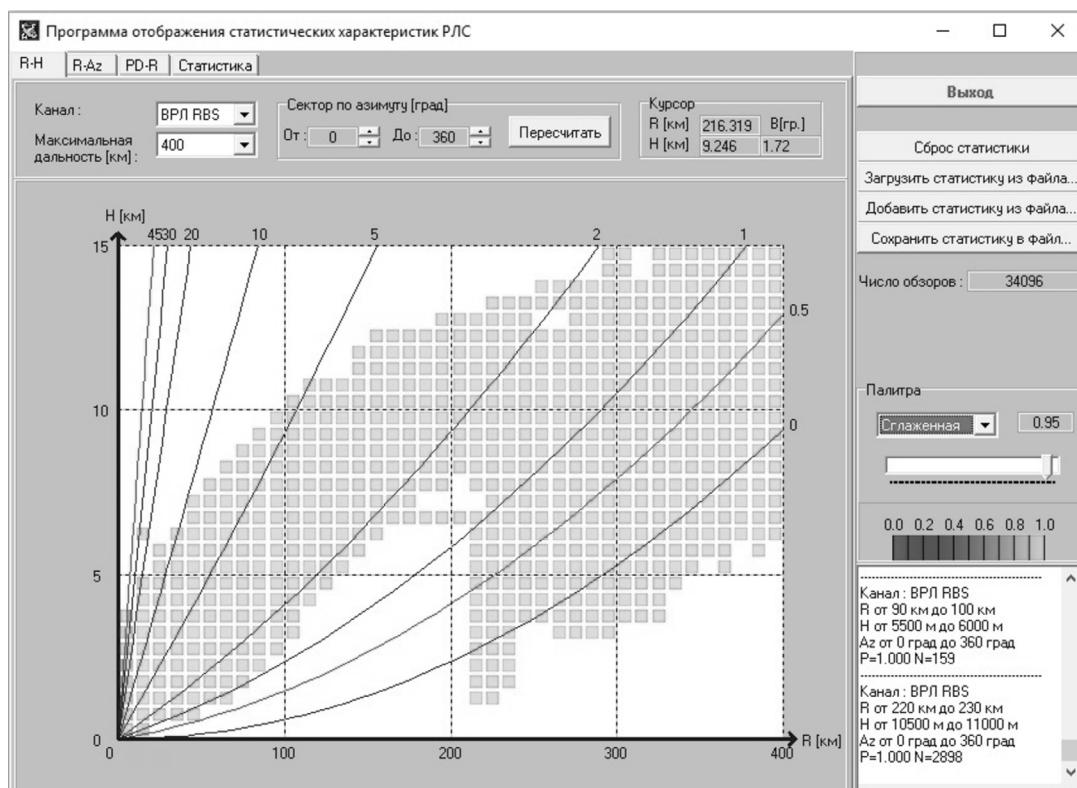


Рис. 1. Модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения. Панель «R-H»

Панель «R-H» предназначена для отображения вероятности правильного обнаружения (P_d) выбранного канала РЛС в зависимости от наклонной дальности и высоты полёта ВС. Зона действия РЛС по наклонной дальности и высоте поделена на элементарные ячейки размером 10 км на 500 м соответственно. В верхней части панели «R-H» находятся элементы управления отображением. Поле «Канал» позволяет выбрать канал РЛС: ПРЛ, ВРЛ RBS. Поле «Максимальная дальность» позволяет выбрать диапазон по дальности для отображения. Поле «Сектор по азимуту» позволяет задать сектор по азимуту для усреднения оценки вероятности правильного обнаружения. Нажатие кнопки «Пересчитать» приводит к пересчёту вероятности правильного обнаружения при изменении сектора по азимуту. Панель «Курсор» выводит текущие координаты курсора по дальности, высоте и углу места, при условии, что он находится в пределах диаграммы. Щелчок левой кнопкой мыши в пределах диаграммы приводит к выводу статистической информации для выбранной ячейки в текстовом окне правой панели, как показано на рис. 1.

На рис. 2 представлен общий вид окна модуля отображения с открытой панелью «R-Az». Она предназначена для отображения оценки вероятности правильного обнаружения в координатах «наклонная дальность, азимут». Размер ячейки составляет 10 км на 10 град. соответственно. Элементы управления отображением в верхней части панели «R-Az» «Канал» и «Максимальная дальность» аналогичны элементам панели «R-H». Поле «Эшелон по высоте» позволяет выбрать эшелон по высоте для формирования оценки отображаемой вероятности правильного обнаружения. Панель «Курсор» выводит текущие координаты курсора мыши, если он находится над диаграммой. Щелчок левой кнопкой мыши в пределах диаграммы приводит к выводу статистической информации для выбранной ячейки в поле для вывода текстовых сообщений правой части окна, как показано на рис. 2.

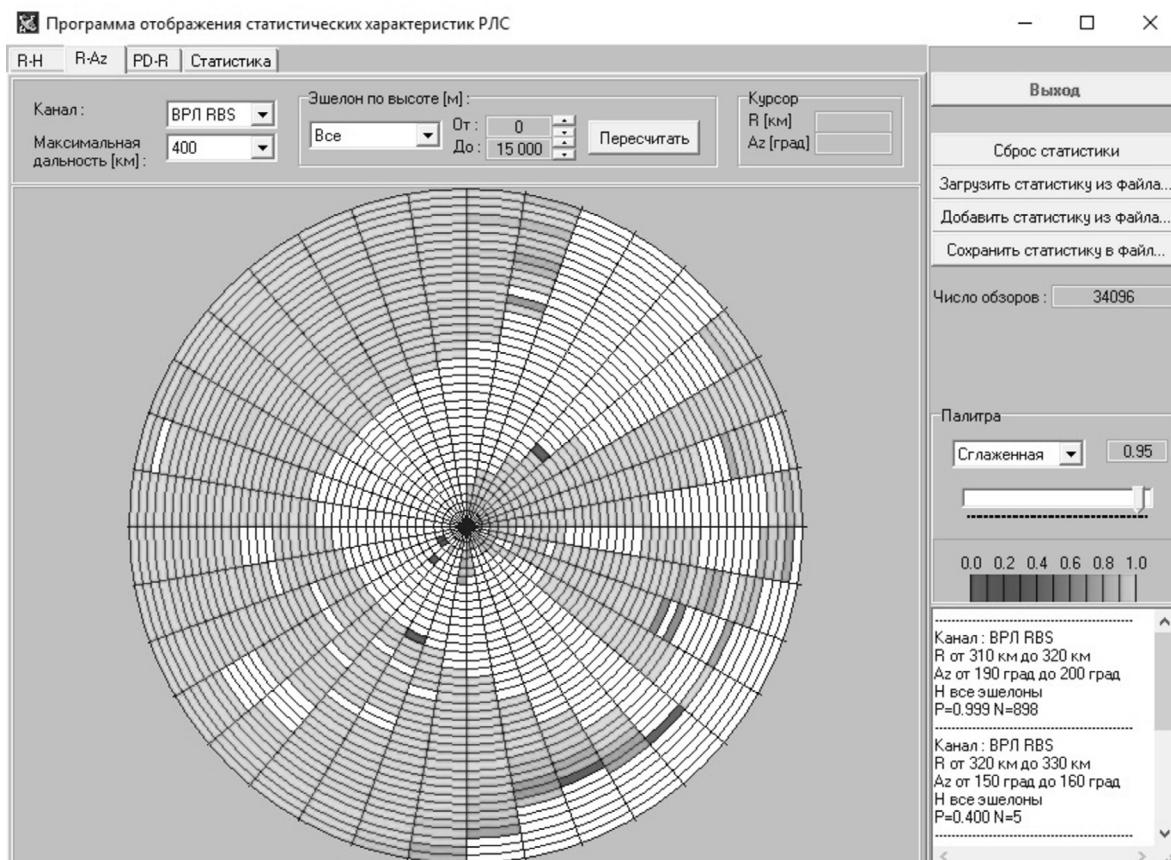


Рис. 2. Модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения. Панель «R-Az»

На рис. 3 представлен общий вид окна модуля отображения с открытой панелью «PD-R». Панель предназначена для отображения оценки вероятности правильного обнаружения в зависимости от наклонной дальности. В верхней части панели поля «Канал» и «Эшелон по высоте» аналогичны элементам панели «R-Az», а «Сектор по азимуту» позволяет выбрать азимутальный сектор. Ниже панели элементов управления выводятся два графика. Первый – зависимость оценки вероятности правильного обнаружения от наклонной дальности. Второй – зависимость объёма выборки от дальности. Нажатие кнопки «Пересчитать» приводит к перерасчёту этих зависимостей.

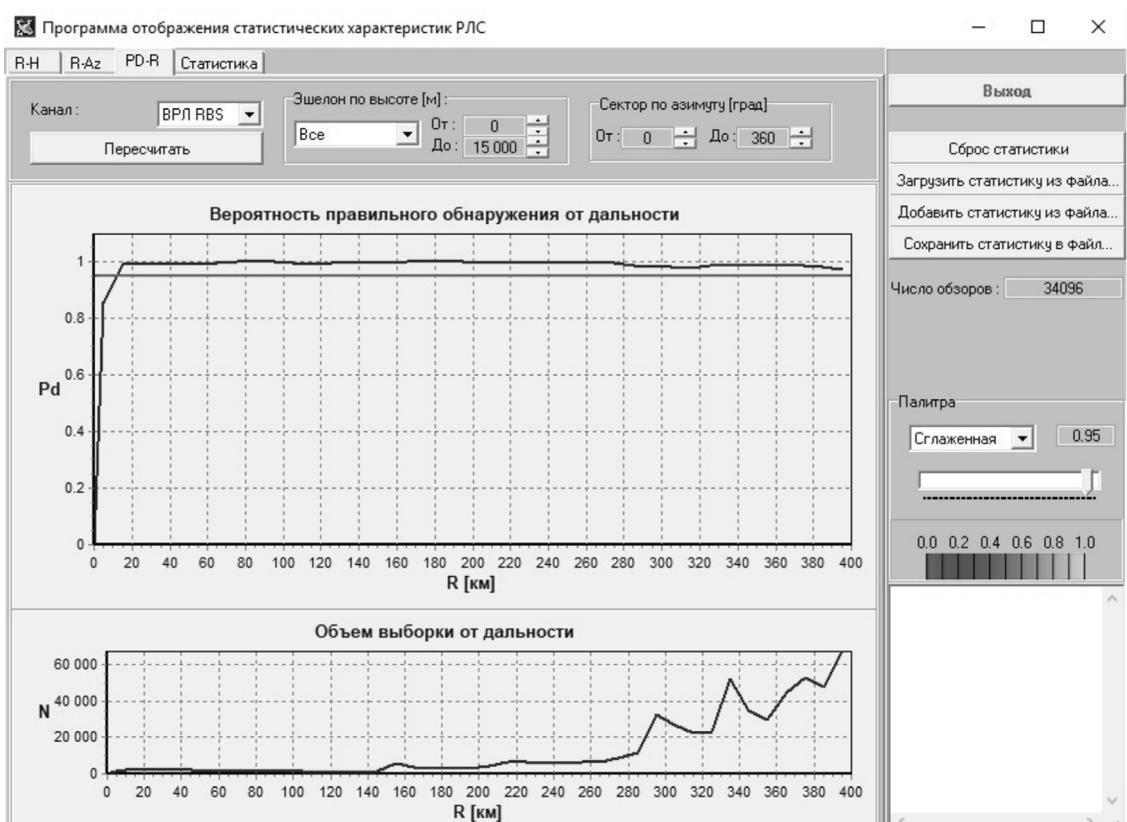


Рис. 3. Модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения. Панель «PD-R»

На рис. 4 представлен общий вид окна модуля отображения с открытой панелью «Статистика». В правой части панели «Статистика» расположены элементы управления. Оставшаяся левая часть занята текстовым полем для вывода подробной статистики. Кнопка «Выбор шрифта» открывает стандартное диалоговое окно для выбора шрифта текстового поля вывода слева. Любая текстовая информация из этого поля может быть выделена и помещена в системный буфер обмена. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в этом поле приводит к его полной очистке.

В средней части области с элементами управления на панели «Статистика» находятся две вкладки: «ПРЛ», «RBS». На них расположены элементы управления, позволяющие задать границы зоны, для которой производится расчёт статистических характеристик. Границы зоны задаются по наклонной дальности, азимуту, высоте. Нажатие кнопки «Рассчитать» приводит к расчёту статистических характеристик для соответствующего канала РЛС и их выводу в текстовое поле слева, как показано на рис. 4.

Таким образом, на рис. 1–4 можно увидеть результаты реального использования представленного специализированного программного обеспечения.

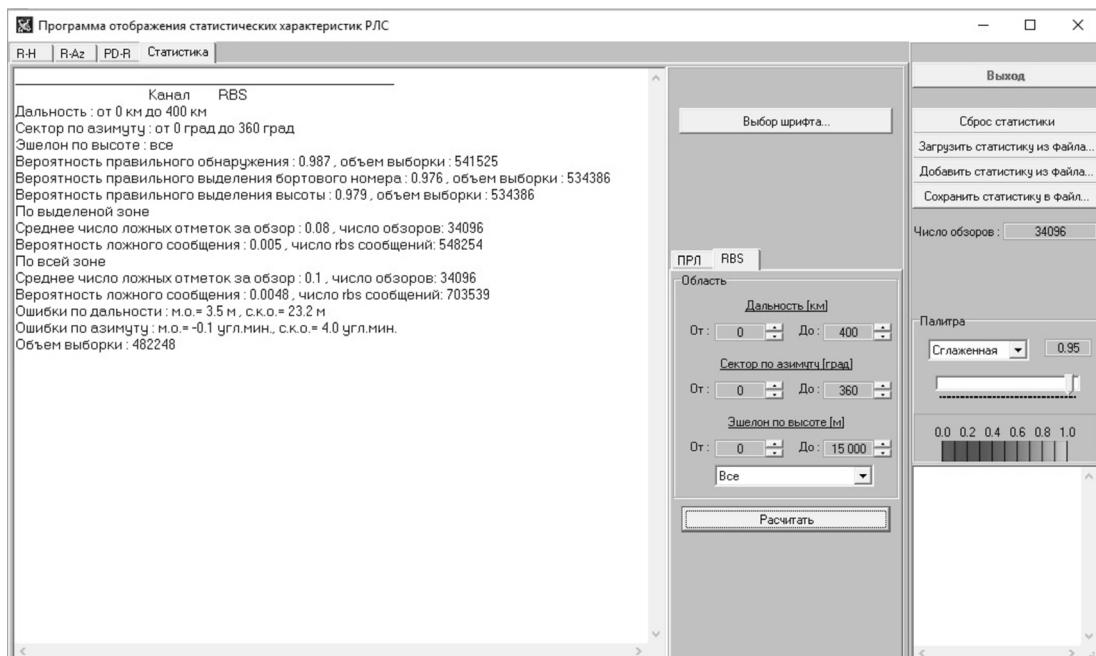


Рис. 4. Модуль отображения статистических характеристик радиолокационных средств наблюдения. Панель «Статистика»

Заключение

Представлен общий подход к оцениванию статистических характеристик системы наблюдения и её отдельных источников в системе управления воздушным движением. В основе подхода лежит траекторная обработка информации от источников наблюдения, позволяющая оценить текущую воздушную обстановку и прогнозировать её изменение с течением времени. Обосновано применение многомодельных алгоритмов траекторной обработки, даны рекомендации по выбору используемых моделей движения ВС и их параметров.

Описан подход к получению оценок основных статистических характеристик источников наблюдения по результатам траекторной обработки. Основное внимание уделено оцениванию статистических характеристик радиолокационных источников наблюдения кругового обзора. Дано описание специализированного программного обеспечения.

В настоящее время представленное специализированное программное обеспечение активно используется при проведении испытаний радиолокационных источников наблюдения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Yaakov Bar-Shalom, X.-Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan. *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*. John Wiley&Sons, Inc., New York, 2001, 558 p.
2. Blackman S. S., Popoli R. *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Norwood, MA, Artech House, 1999, 1232 p.
3. Коновалов А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. Ч. 1. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 164 с.
4. Коновалов А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. Ч. 2. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 179 с.

5. Genovese F. The Interacting Multiple Model Algorithm for Accurate State Estimation of Maneuvering Targets. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 2001, vol. 22, no. 4, pp. 614–623.
6. Rameshbabu K., Swarnadurga J. et al. Target Tracking System Using Kalman Filter. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 2012, vol. 2, pp. 90–94.
7. Liu Y. C., Zuo X. G. A Maneuvering Target Tracking Algorithm Based on the Interacting Multiple Models. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2013, vol. 11(7), pp. 3997–4003. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v11i7.2851>
8. Li X., Jilkov V. Survey of maneuvering target tracking. Part I: dynamic models. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2003, vol. 39(4), pp. 1333–1364. <https://doi.org/10.1109/TAES.2003.1261132>.
9. Сычёв М. И. Высокоточные алгоритмы оценивания координат и параметров движения воздушных судов гражданской авиации по информации от радиолокационных источников наблюдения // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. № 2. С. 28–35.
10. Сычёв М. И. Траекторная обработка информации от радиотехнических средств наблюдения в системе управления воздушным движением // Электросвязь. 2022. № 3. С. 35–41.
11. Сычёв М. И., Примаков А. А., Синельников В. В. Многомодельные алгоритмы траекторной обработки информации в системе управления воздушным движением // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2024. № 47. С. 149–160.
12. Сычёв М. И., Фесенко С. В. Аппаратно-программный комплекс имитации информации средств и систем наблюдения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15. С. 104–111.

References

1. Yaakov Bar-Shalom, X.-Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan. *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*. John Wiley&Sons, Inc., New York, 2001, 558 p.
2. Blackman S. S., Popoli R. *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Norwood, MA, Artech House, 1999, 1232 p.
3. Konovalov A. A. *Basics of tractor processing of radar information*. In 2 parts, part 1, St. Petersburg, SPbGETU “LETI” Publ., 2013, 164 p. (In Russ.)
4. Konovalov A. A. *Basics of tractor processing of radar information*. In 2 parts, part 2, St. Petersburg, SPbGETU “LETI” Publ., 2014, 179 p. (In Russ.)
5. Genovese F. The Interacting Multiple Model Algorithm for Accurate State Estimation of Maneuvering Targets. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 2001, vol. 22, no. 4, pp. 614–623.
6. Rameshbabu K., Swarnadurga J. et al. Target Tracking System Using Kalman Filter. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 2012, vol. 2, pp. 90–94.
7. Liu Y. C., Zuo X. G. A Maneuvering Target Tracking Algorithm Based on the Interacting Multiple Models. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2013, vol. 11(7), pp. 3997–4003. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v11i7.2851>
8. Li X., Jilkov V. Survey of maneuvering target tracking. Part I: dynamic models. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2003, vol. 39(4), pp. 1333–1364. <https://doi.org/10.1109/TAES.2003.1261132>.
9. Sychev M. I. Precision tracking algorithms of civil aircraft by radar information. *Russian Aeronautics*, 2017, vol. 60, no. 2, pp. 190–197. <https://doi.org/10.3103/S1068799817020052>
10. Sychev M. I. Trajectory processing of information from radio surveillance equipment in the air traffic control system. *Elektrosvyaz’ magazine*, 2022, no. 3, pp. 35–41. (In Russ.)
11. Sychev M. I., Primakov A. A., Sinelnikov V. V. Multimodel tracking algorithms for information processing in the air traffic control system. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2024, no. 47, pp. 149–160. (In Russ.)
12. Sychev M. I., Fesenko S. V. Hardware-software complex simulating media for aeronautical surveillance system of the Russian Federation. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2016, no. 15, pp. 104–111. (In Russ.)

Информация об авторах

Сычёв Михаил Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, sychev@mai.ru

Примаков Александр Анатольевич, заместитель директора Научного центра Аэронавигации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, primakov@gosniiga.ru

Синельников Василий Владимирович, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, sinelnikov_vv@gosniiga.ru

Authors information

Sychev Mikhail I., Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department, Moscow Aviation Institute (National Research University); Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, sychev@mai.ru

Primakov Alexander A., Deputy Director of the Scientific Center for Air Navigation, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, primakov@gosniiga.ru

Sinelnikov Vasily V., Deputy Head of the Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, sinelnikov@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 07.07.2025; одобрена после рецензирования 28.08.2025; принята к публикации 27.10.2025.

The article was submitted 07.07.2025; approved after reviewing 28.08.2025; accepted for publication 27.10.2025.

Научная статья
УДК 629.73.018.7

МЕТОД КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЛЁТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

С. Г. ПУШКОВ, О. Ю. ГОРШКОВА, Л. Л. ЛОВИЦКИЙ, И. В. МАЛАХОВА

Лётно-исследовательский институт им. М. М. Громова, Жуковский, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы контроля точностных характеристик средств вертикального эшелонирования (СВЭ) самолёта для обеспечения безопасности в аэронавигационной системе с сокращённым минимумом вертикального эшелонирования (RVSM). Показано эффективное решение задачи контроля, определения и оценки точностных характеристик СВЭ воздушных судов (ВС) в отечественной практике периодических лётных испытаний на основе технологии оценивания средств определения воздушных параметров с применением спутниковых навигационных систем. Технология разработана в АО «ЛИИ им. М. М. Громова» и является основным инструментом при проведении лётных испытаний авиационной техники, связанных с измерением воздушных параметров. Отмечена важность применения средств и методов технологии в периодических испытаниях СВЭ самолёта. Показано значение контроля точностных характеристик СВЭ в сертификационных и периодических испытаниях ВС для обеспечения безопасности полётов по эшелонам. Изложены требования к точностным характеристикам бортовых СВЭ и соответствующие требования к методам их контроля. Определена основная задача контроля в периодических испытаниях, заключающаяся в определении и оценке систематической и суммарной погрешностей измерения барометрической высоты бортовыми системами в полном диапазоне режимов эксплуатации ВС при полётах по эшелонам. Рассматриваются периодические испытания в объёме одного полёта. Представленное решение задачи основывается на комплексном применении скоростного и барометрического методов определения аэродинамических погрешностей приёмников воздушных давлений (ПВД), измерениях траекторных параметров по данным спутниковых навигационных систем (СНС), параметрической идентификации математических моделей погрешностей восприятия давлений ПВД и условий полёта самолёта по материалам периодических испытаний экземпляра, группы экземпляров ВС типовой конструкции. Эффективность рассматриваемого метода контроля точностных характеристик бортовых СВЭ подтверждена материалами периодических испытаний дальнего магистрального самолёта.

Ключевые слова: самолёт, эшелон, навигация, контроль, барометрическая высота, лётные испытания, сокращённый минимум вертикального эшелонирования, спутниковая навигационная система, погрешность измерений, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Пушкин С. Г., Горшкова О. Ю., Ловицкий Л. Л., Малахова И. В. Метод контроля точностных характеристик средств вертикального эшелонирования в периодических лётных испытаниях воздушных судов с применением спутниковых систем навигации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 44–54.

METHODS OF VERTICAL SEPARATION EQUIPMENT ACCURACY MONITORING IN PERIODIC FLIGHT TESTS OF AIRCRAFT USING SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

S. G. PUSHKOV, O. YU. GORSHKOVA, L. L. LOVITSKY, I. V. MALAKHOVA

Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia

Abstract. The article considers the issues of aircraft vertical separation equipment accuracy monitoring to ensure flight safety in the areas with reduced vertical separation minimum of 1000 ft. An effective solution to the problem of monitoring, determining and assessing the accuracy characteristics of aircraft vertical separation equipment in the domestic practice of periodic flight tests is shown based on the technology of air data systems evaluating using satellite navigation system. The technology was developed at Gromov Flight Research Institute and is the main tool for conducting flight tests of aviation equipment related to measuring air parameters. Many test results using it have already been covered in print. The use of technology in periodic tests of aircraft vertical separation equipment is another significant result that deserves attention. The statement of the problem shows the importance of vertical separation equipment accuracy monitoring in certification and periodic tests of aircraft to ensure flight safety at flight levels. Requirements for accuracy of onboard vertical separation equipment and for monitoring methods are presented. The main task of monitoring in periodic flight tests is defined, which consists in determining and assessing the systematic and total errors of measuring the barometric altitude by onboard systems in the full range of aircraft operating modes during flights at flight levels. Periodic tests in the volume of one flight are considered. Solution of the problem is based on the integrated use of speed and barometric methods for aerodynamic errors of air pressure sensors determining, measurements of trajectory parameters using satellite navigation system data, identification of parameters of static ports aerodynamic errors mathematical models, aerodynamic characteristics of the aircraft based on the materials of periodic flight tests of an individual aircraft or a group of aircrafts that are nominally identical in aerodynamic design. The effectiveness of the control methods used in periodic flight tests is confirmed by the materials of periodic tests of a long-range aircraft.

Keywords: aircraft, flight level, navigation, control, barometric altitude, periodic flight tests, reduced vertical separation minimum, satellite navigation system, error of measuring, operation of aircraft

For citation: Pushkov S. G., Gorshkova O. Yu., Lovitsky L. L., Malakhova I. V. Methods of vertical separation equipment accuracy monitoring in periodic flight tests of aircraft using satellite navigation systems. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 44–54. (In Russ.)

Введение

В последние годы в авиационной практике проводится политика глубокой модернизации глобальной аeronавигационной системы, направленная на повышение безопасности полётов и эффективности использования воздушного пространства (ВП) [1]. В основу преобразований положена концепция CNS/ATM (“communication, navigation, surveillance and air traffic management”), основанная на использовании передовых спутниковых и наземных технологий навигации, наблюдения, связи, управления воздушным движением.

Один из реализованных проектов глобальной аeronавигационной системы – введение сокращённого минимума вертикального эшелонирования RVSM [2, 3], позволившее выделить 6 дополнительных эшелонов и увеличить пропускную способность ВП в диапазоне высот наиболее выгодного, крейсерского полёта ВС между эшелонами 29000 и 41000 фут.

Система эшелонирования с RVSM вводилась поэтапно: с 1997 г. опробована в регионе Северной Атлантики, в 2002 г. введена в Европе. С переходом России на RVSM с 17 ноября 2011 г. можно говорить о том, что RVSM действует повсеместно.

Для обеспечения безопасности при полётах в условиях RVSM были введены [2]: глобальные требования к системе эшелонирования; интегральные критерии оценки точностных характеристик СВЭ; требования к минимальным характеристикам бортовых систем ВС, использующих сокращённый минимум. Были рассмотрены вопросы контроля за безопасной эксплуатацией системы,

допуска ВС в ВП с RVSM. Задачей первостепенного значения стала организация мониторинга, постоянного контроля точностных характеристик СВЭ ВС в процессе эксплуатации системы с RVSM.

В настоящее время оценка точностных характеристик СВЭ проводится разработчиком ВС на этапах сертификационных и периодических испытаний опытных и серийных образцов авиационной техники, а также при эксплуатации ВС – региональными мониторинговыми агентствами с помощью станций контроля за характеристиками выдерживания высоты (систем НМУ и др.) [2], либо с использованием автоматического зависимого наблюдения траектории движения (технологии АЗН-В) [4].

Основными задачами мониторинговых агентств в части контроля являются оценка безопасности системы эшелонирования и выявление ВС, не соответствующих требованиям, по данным регулярных полётов; сертификационные и периодические испытания должны обеспечивать полноту оценки характеристик СВЭ ВС в ожидаемых условиях эксплуатации.

В настоящей работе рассматриваются вопросы контроля, определения и оценки точностных характеристик СВЭ ВС в отечественной практике периодических лётных испытаний ВС. Такой контроль проводится на основе технологии оценивания средств определения воздушных параметров (СВП) с применением СНС [5–7], разработанной в АО «ЛИИ им. М. М. Громова».

Основным альтернативным по отношению к рассматриваемому методу оценки СВЭ в мировой практике периодических и сертификационных лётных испытаний является метод буксируемого конуса [2]. Метод является достаточно трудоёмким и, как правило, при его применении в периодических испытаниях ставится только задача подтверждения точностных характеристик СВЭ ВС в условиях выполняемых испытательных режимов. Реализация метода сопряжена с проработкой ряда методических вопросов его применения, а также с оснащением самолёта специальными технологическими приспособлениями по выпуску конуса уже на этапе построения самолёта.

Требования к минимальным характеристикам бортовых СВЭ

Основной задачей сертификационных, так же как и периодических, лётных испытаний ВС в части оценки средств вертикального эшелонирования является оценка соответствия частным требованиям к минимальным характеристикам бортовых систем [2].

При этом наиболее проблемными для оценки соответствия в испытаниях ВС являются требования к точностным характеристикам:

1. Среднее значение погрешности системы измерения высоты (ASE) для группы ВС не должно превышать ± 25 м (± 80 фут). (Среднее значение ASE – систематическая для данного типа ВС погрешность системы статического давления.)

2. Сумма абсолютного среднего значения ASE для группы ВС типовой конструкции и трёх стандартных отклонений ASE в пределах группы (суммарная погрешность измерения высоты) не должна превышать 60 м (200 фут).

3. Каждое отдельное ВС в данной группе (экземпляр типа ВС) изготавливается таким образом, чтобы ASE находилось в пределах ± 60 м (200 фут).

Требование п. 1 по существу относится к аэродинамической или остаточной аэrodинамической погрешности приёмника статического давления при реализации функции коррекции погрешностей в системе измерения.

В п. 3 под погрешностью системы измерения высоты понимается сумма остаточной погрешности приёмника статического давления и допустимой (пределной) инструментальной погрешности системы (наихудшего бортового электронного оборудования).

Указанные частные требования к погрешности измерения высоты являются более жёсткими в сравнении с требованиями, предъявляемыми к системам статического давления на уровне

моря¹, если их соотнести к предельной инструментальной погрешности систем воздушных сигналов (СВС). Поэтому контроль за точностными характеристиками СВЭ ВС приобретает особо важное значение при проведении сертификационных лётных испытаний, а также периодических (контрольных) испытаний ВС типовой конструкции.

Контроль точностных характеристик СВЭ на основе технологии оценивания СВП в лётных испытаниях с применением СНС

Постановка задачи разработки метода контроля. Подход к разработке метода контроля точностных характеристик СВЭ в периодических испытаниях ВС основан на применении средств и методов технологии оценивания СВП в лётных испытаниях с применением СНС, минимизации объёма испытаний до одного полёта, а также установленных требований к СВЭ в условиях RVSM.

Основными целями периодических испытаний являются:

- определение систематических и суммарных погрешностей систем измерения барометрической высоты;
- подтверждение точностных характеристик СВЭ испытываемого экземпляра ВС и самолёта типа в полном диапазоне режимов эксплуатации.

При имеющихся требованиях к точностным характеристикам СВЭ важным становится вопрос методических погрешностей лётного эксперимента. Методические погрешности определения систематических погрешностей измерения статического давления (барометрической высоты) должны быть соизмеримы или меньше соответствующей инструментальной погрешности лучших образцов датчиков абсолютного давления, составлять не более 0,3 гПа. Такие требования к методу определения и оценки точностных характеристик СВЭ в периодических испытаниях значительно выше требований, предъявляемых к станциям контроля НМУ [2] (15 м на уровне среднеквадратичной погрешности).

Общая характеристика технологии оценивания СВП в лётных испытаниях с применением СНС. Технология направлена на испытания ВС нового поколения, представляет собой комплекс взаимосвязанных методов, методик по различным видам испытаний, связанных с измерением воздушных параметров.

Начало разработки технологии [5–7] относится ко второй половине 90-х годов. С применением технологии в лётных испытаниях определены аэродинамические погрешности ПВД, лётно-технические и взлётно-посадочные характеристики большого количества ВС военно-транспортной и гражданской авиации. Полученные результаты позволили провести успешную оценку бортовых средств СВП и вертикального эшелонирования.

Все задачи испытаний решаются с применением одной и той же контрольно-измерительной аппаратуры. В качестве основного контрольно-измерительного средства в технологии задействован комплекс бортовых траекторных измерений (КБТИ) на основе СНС (GPS/ГЛОНАСС) [8], одновременно выполняющий функции измерения траекторных параметров и регистрации больших потоков информации: от бортовых систем, параметров спутниковой и инерциальных (ИНС) систем, от штатных средств определения воздушных параметров, радиовысотомера и др.

Погрешности измерения траекторных параметров КБТИ в фазовом режиме работы составляют не более $\Delta h=1$ м по высоте и $\Delta W_i=0,2$ м/с по проекциям скорости в системе координат WGS-84. Погрешность синхронизации потоков данных не превышает 3 мс.

Последовательность испытаний выстраивается таким образом, что результаты, полученные на предыдущем этапе испытаний, обеспечивают полноту данных для решения задач на последующем этапе. После этапа испытаний на режимах горизонтального установившегося полёта (ГП) испытываемый самолёт, по сути, имеет качество самолёта-эталона.

¹ EASA CS-25. Certification specifications for large aeroplanes. 2003.

Методика испытаний строится на основе:

- комплексного решения ряда смежных задач в лётном эксперименте;
- определения параметров атмосферы в зондирующих режимах полёта с помощью самого испытываемого самолёта;
- максимально возможного сокращения временных и пространственных расхождений в определении параметров атмосферы и проведении испытательных режимов полёта летательного аппарата;
- комплексного использования скоростного и барометрического методов определения аэродинамических погрешностей ПВД;
- применения статистических методов обработки экспериментальных данных для получения результатов испытаний.

Погрешности определения систематических, аэродинамических погрешностей измерения барометрической высоты ΔH_a , скорости ΔV_a , углов атаки $\Delta\alpha$ и скольжения $\Delta\beta$ СВП в рамках технологии при проведении лётно-конструкторских и сертификационных испытаний ВС транспортной категории составляют:

- $\Delta(\Delta H_a) \leq 2-10$ м при $H=0-12500$ м (ГП);
- $\Delta(\Delta V_a) \leq 2$ км/ч (ГП, режимы на больших углах атаки (БУА), взлёт-посадка);
- $\Delta(\Delta\alpha, \Delta\beta) < 0,5^\circ$ (ГП, БУА).

Внедрение технологии в практику лётных испытаний авиационной техники позволило снизить стоимость и сроки испытаний и при этом существенно повысить полноту и качество результатов испытаний. Новая технология исключила необходимость применения трудоёмких, традиционно используемых в лётных испытаниях средств и методов² [9]: самолёта-эталона, буксируемого конуса, метеозондирования на режимах ГП, носовой штанги с эталонными приёмниками на неустановившихся режимах полёта, взлёта и посадки.

Показательные примеры эффективности технологии в решении задач определения действительных значений воздушных параметров, аэродинамических погрешностей ПВД в режимах горизонтального установившегося полёта и в нестационарных режимах, взлёта-посадки, на больших углах атаки приведены в работах [5–7].

Методы определения точностных характеристик систем измерения барометрической высоты. Определение точностных характеристик при проведении испытаний основано на одновременном применении скоростного и барометрического методов определения аэродинамических погрешностей ПВД, использовании измерений действительных значений статического давления и воздушной скорости [6, 10].

Профиль полёта ВС транспортной категории представляет последовательное выполнение режимов на 4–5 высотах по диапазону в полётной конфигурации (рис. 1).

На каждой высоте выполняется серия парных режимов ГП с взаимно противоположными курсовыми углами без скольжения продолжительностью 30–60 с в эксплуатационном диапазоне изменения скоростей с интервалом ≈ 50 км/ч. В диапазоне высот 6000–12500 м в начале и в конце каждой серии режимы выполняются с одинаковыми минимальными скоростями и рассматриваются в качестве зондирующих.

Все режимы выполняются в условиях спокойной атмосферы. В каждом из парных проходов выдерживаются одинаковыми и постоянными значения высоты и скорости. Режимы маловысотного полёта выполняют на небольшом удалении от аэродрома базирования. Перед взлётом и после окончания пробега на посадке при нулевой скорости движения в определённой, одной и той же точке аэродрома проводится регистрация измеряемых параметров в течение не менее 30 с.

Решение задачи определения погрешности измерения барометрической высоты сводится к последовательному определению коэффициентов восприятия статического C_p

² AC-21-40(0), Measurement of airspeed in light aircraft – certification requirements. 2005.



Рис. 1. Профиль полёта

и полного C_{p0} давлений ПВД, относительных погрешностей восприятия давлений $\Delta P_H/P_H$, $\Delta P_{H0}/P_{H0}$ [11]:

- в диапазоне значений числа M и угла атаки α режимов ГП маловысотного полёта;
- в полном эксплуатационном диапазоне значений M , α режимов горизонтального уставновившегося полёта.

Коэффициенты давления и относительные погрешности связаны соотношениями:

$$C_p = \frac{\Delta P_H}{q}, \quad \frac{\Delta P_H}{P_H} = \frac{k}{2} M^2 C_p, \quad \Delta P_H = P_H - P_\infty,$$

$$C_{p0} = \frac{\Delta P_{H0}}{q}, \quad \frac{\Delta P_{H0}}{P_{H0}} = \frac{k}{2} M^2 C_{p0} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{-\frac{k}{k-1}}, \quad \Delta P_{H0} = P_{H0} - P_{H0\infty}.$$

Здесь использованы обозначения: P_H , P_{H0} – статическое и полное давления, воспринимаемые приёмником; P_∞ , $P_{H0\infty}$ – статическое и полное давление невозмущённого набегающего потока; q – скоростной напор; k – показатель адиабаты.

Относительные погрешности $\Delta P_H/P_H$ однозначно определяют значения аэродинамической погрешности измерения барометрической высоты на заданной высоте в условиях стандартной атмосферы.

В числе основных результатов лётных испытаний на режимах маловысотного полёта, используемых в обработке режимов высотного полёта, – параметрическая идентификация и оценка адекватности математической модели погрешности восприятия полного давления приёмником полного давления (ППД). Используется структура математической модели погрешности приёмника за счёт неполного торможения потока в камере торможения [12].

Полнота решения задачи определения систематических и суммарных погрешностей систем измерения барометрической высоты ВС в условиях полёта по эшелонам, в полном диапазоне режимов эксплуатации, обеспечивается результатами параметрической идентификации математических моделей погрешностей восприятия статического давления ПВД, аэродинамических характеристик самолёта по совокупности данных, полученных в режимах маловысотного и высотного полёта в периодических испытаниях экземпляра, группы экземпляров ВС типовой конструкции, а также исходными данными по реализованным в системах законам коррекции погрешностей восприятия статического давления.

Детальный анализ алгоритмов последовательного определения систематических погрешностей бортовых измерений высоты в соответствии с применяемой технологией показывает, что даже в случае ограниченного объёма периодических испытаний – одного полёта – при заданных значениях погрешностей траекторных параметров $\Delta h=1$ м, $\Delta W_i=0,2$ м/с

и температуры торможения $\Delta T_T = 0,5$ К методические погрешности за счёт основных факторов, инструментальных погрешностей измерения траекторных параметров и температуры не превышают указанных выше значений погрешности $\Delta(\Delta H_a)$ и удовлетворяют требованиям контроля точностных характеристик СВЭ.

Результаты периодических лётных испытаний дальнего магистрального самолёта

Методы контроля точностных характеристик СВЭ на основе технологии оценивания СВП с применением СНС получили применение в нашей стране в лётных испытаниях ВС различного типа. Приведём примеры определения и оценки характеристик в периодических испытаниях дальнего магистрального самолёта. Представленные результаты получены по материалам испытаний шести экземпляров ВС типовой конструкции.

На самолёте реализована классическая схема построения СВП на основе ППД, приёмников статического давления, датчиков аэродинамических углов (ДАУ), приёмников температуры торможения и СВС. В СВС введены законы коррекции погрешностей восприятия статического и полного давлений.

Все результаты представлены для одной из основных систем восприятия статического и полного давлений, соответствующей СВС. Результаты для других систем являются подобными.

Законы коррекции погрешностей восприятия статического и полного давлений определены по результатам испытаний трёх экземпляров ВС типовой конструкции и реализованы в СВС в виде:

$$P_{H\text{скорр}} = P_H [1 - f_H(M, \alpha_{\text{ист}})], \quad P_{H0\text{скорр}} = P_{H0} [1 - f_{H0}(M)],$$

где P_H , P_{H0} – нескорректированные (измеренные) значения статического и полного давлений; M – нескорректированное значение числа M ; $P_{H\text{скорр}}$, $P_{H0\text{скорр}}$ – скорректированные значения статического и полного давлений; $\alpha_{\text{ист}}$ – истинный угол атаки, рассчитанный в СВС по значению местного угла $\alpha_{\text{мест}}$ ДАУ.

Реализованные в СВС зависимости $f_H(M, \alpha_{\text{ист}}) = \Delta P_H / P_H$, $f_{H0}(M) = \Delta P_{H0} / P_{H0}$, заданные кусочно-линейными функциями, соответствуют относительным погрешностям восприятия статического (рис. 2, а) и полного (рис. 2, б) давлений.

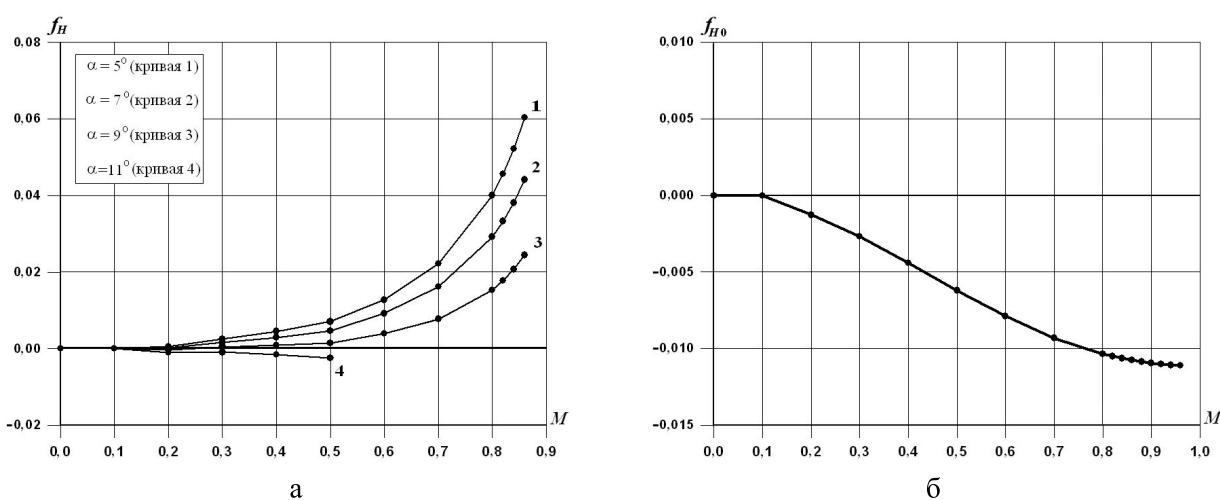


Рис. 2. Законы изменения относительной погрешности восприятия статического давления для полётной конфигурации – а и относительной погрешности восприятия полного давления – б

Результаты определения оцениваемых характеристик систематической $\Delta H_{\text{систем}}$ и суммарной $\Delta H_{\text{сумм}}$ погрешностей измерения высоты при реализованных в СВС законах коррекции по

материалам периодических испытаний шести экземпляров ВС представлены на рис. 3. Расчёты систематических и суммарных погрешностей измерения высоты выполнены в соответствии с определениями характеристик, данными в разделе «Требования к минимальным характеристикам бортовых СВЭ», для трёх значений веса самолёта, минимального G_{min} , максимального G_{max} , среднего G_{mid} по диапазону для каждой указанной высоты полёта. Полные выражения для $\Delta H_{\text{ист}}$, $\Delta H_{\text{сумм}}$ приведены в Руководстве³, утверждённом Федеральной авиационной службой Российской Федерации (ФАС) и Авиарегистром Межгосударственного авиационного комитета (АР МАК).

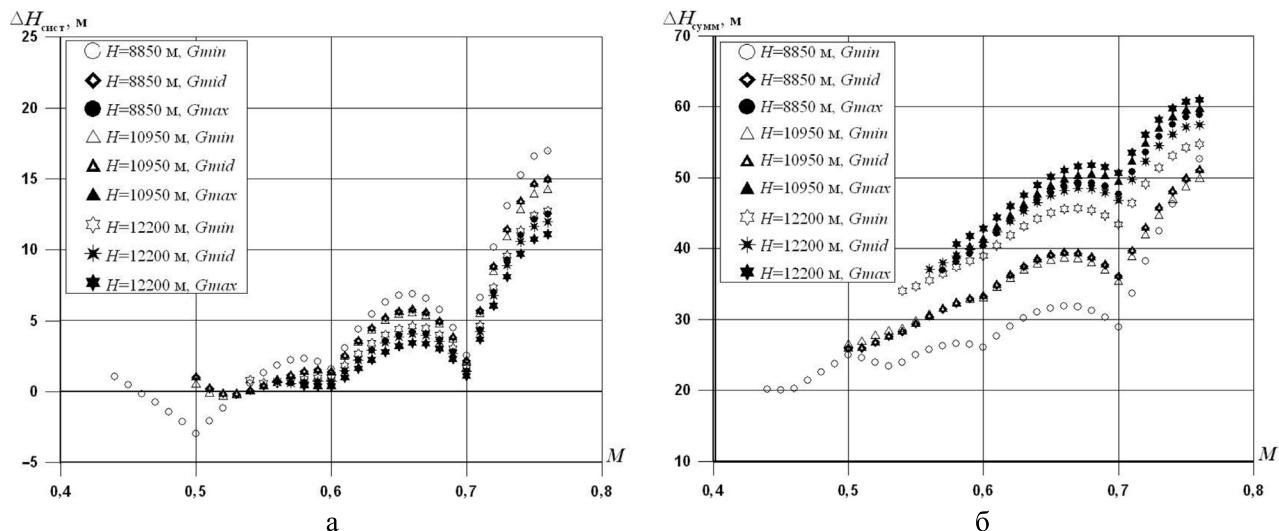


Рис. 3. Систематическая погрешность измерения высоты – а; суммарная погрешность измерения высоты – б при полётах по эшелонам для самолёта типа

Для расчётов систематической и суммарной погрешностей при различном полётном весе G использовалась функциональная связь $a_{\text{ист СВС}} = f(G, P_H, M)$, соответствующая зависимости коэффициента подъёмной силы от числа M и угла атаки для полётной конфигурации.

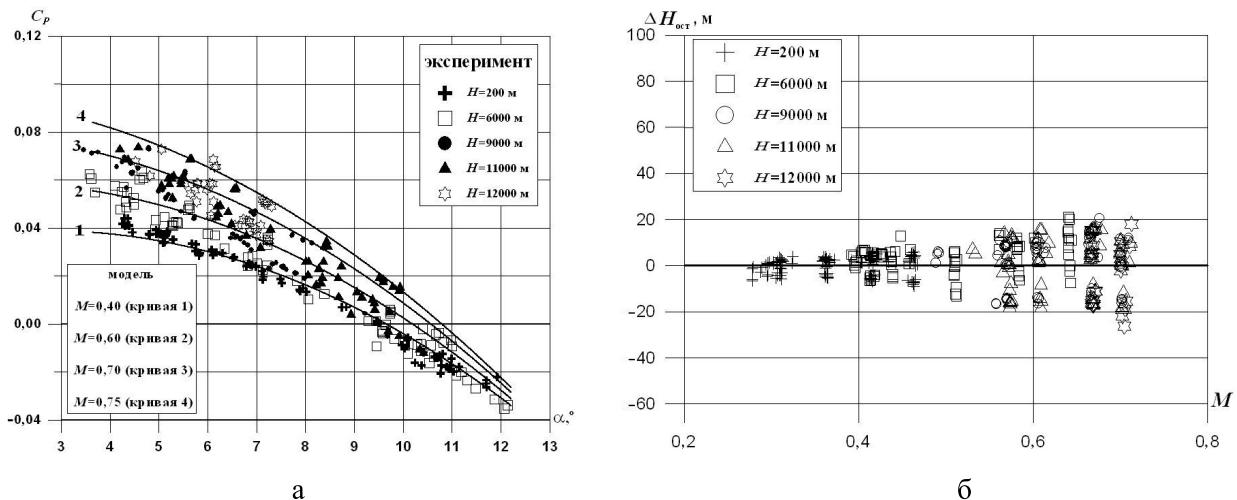


Рис. 4. Зависимость коэффициентов давления от угла атаки (эксперимент и математическая модель для самолёта типа) – а; остаточная аэродинамическая погрешность по высоте в лётных испытаниях 6 экземпляров самолёта типовой конструкции – б

³ Руководство по допуску воздушных судов и Эксплуатантов к полётам в условиях минимума вертикального эшелонирования 1000 фут между эшелонами 290 и 410 включительно (RVSM) в Европейском регионе. ФАС РФ, АР МАК. 1999.

Рис. 4, а иллюстрирует полученные в лётных испытаниях шести экземпляров ВС массивы исходных данных в виде значений коэффициентов давления, используемых для идентификации математических моделей погрешностей каждого экземпляра ВС, последующего расчёта систематической и суммарной погрешности измерения высоты. На рис. 4, б показаны соответствующие коэффициентам давления значения остаточной аэродинамической погрешности измерения высоты при реализованных в СВС законах коррекции в условиях выполненных режимов в периодических испытаниях ВС каждого экземпляра ВС.

Как следует из представленных результатов, при выборке в количестве 6 экземпляров для ВС типовой конструкции систематическая и суммарная погрешности измерения высоты в условиях полёта по эшелонам в полном диапазоне режимов эксплуатации ВС не превышают нормативных значений 25 м и 60 м соответственно. Полученные значения погрешностей удовлетворяют требованиям для полётов в ВП с RVSM.

Заключение

Разработан и внедрён в практику периодических лётных испытаний метод контроля точностных характеристик средств вертикального эшелонирования ВС на основе технологии оценивания СВП с применением СНС. Метод контроля основан на комплексном применении скоростного и барометрического методов определения аэродинамических погрешностей ПВД, измерениях траекторных параметров по данным СНС, параметрической идентификации математических моделей погрешностей аэрометрических измерений, аэродинамических характеристик самолёта по материалам периодических испытаний экземпляра, группы экземпляров ВС типовой конструкции.

Представленные результаты исследований, аналитические оценки методических погрешностей показывают высокую эффективность применённых средств и методов контроля точностных характеристик СВЭ.

Методика проведения периодических испытаний в объёме одного полёта не только обеспечивает полноту и достоверность оценки в условиях выполненных режимов, но и позволяет провести математическое моделирование, прогноз точностных характеристик СВЭ в полном диапазоне режимов полёта ВС по эшелонам.

Эффективность разработанных методов контроля подтверждается опытом проведения периодических испытаний ВС. Приведены примеры результатов оценки СВЭ в периодических испытаниях, показательные материалы испытаний дальнего магистрального самолёта.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. ИКАО Doc 9750. Пропускная способность и эффективность. Глобальный аeronавигационный план на 2016–2030 гг. ИКАО, 2018. 142 с.
2. ICAO NAT Doc 002. Guidance material on the implementation of a 300 m (1000 ft) vertical separation minimum in the minimum navigation performance specifications airspace of the North Atlantic region. ICAO, 1994.
3. ИКАО Doc 9574 AN/934. Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м (1000 фут) между ЭП 290 и ЭП 410 включительно. Изд. 3. ИКАО, 2012. 70 с.
4. Лебедев Б. В., Соломенцев В. В., Стратиенко А. Н. Исследования метода контроля вертикального эшелонирования воздушных судов на основе использования АЗН-В // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 135–140.

5. Пушкин С. Г., Харин Е. Г., Кожурин В. Р., Захаров В. Г. Технология определения аэродинамических погрешностей ПВД и воздушных параметров в лётных испытаниях ЛА с использованием спутниковых средств траекторных измерений // Проблемы безопасности полетов. 2006. № 7. С. 8–26.
6. Пушкин С. Г., Харин Е. Г., Кожурин В. Р., Ловицкий Л. Л. Эталонное измерение воздушных параметров с использованием спутниковых средств траекторных измерений в лётных испытаниях воздушных судов // Авиакосмическое приборостроение. 2010. № 4. С. 5–9.
7. Пушкин С. Г., Харин Е. Г., Ловицкий Л. Л. Технология определения воздушных параметров на больших углах атаки // Полёт. 2010. № 6. С. 30–36.
8. Харин Е. Г., Копылов И. А. Технологии летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов с применением комплекса бортовых траекторных измерений. Москва: МАИ-ПРИНТ, 2012. 356 с.
9. Gracey W. *Measurement of static pressure on aircraft*. NACA Report 1364, 1956.
10. Ведров В. С., Тайц М. А. Лётные испытания самолётов. Москва: Оборонгиз, 1951. 486 с.
11. Пушкин С. Г., Ловицкий Л. Л., Горшкова О. Ю., Малахова И. В. Математическое моделирование аэродинамических погрешностей в технологии оценивания средств определения воздушных параметров с применением спутниковых навигационных систем при проведении лётных испытаний самолёта // Мехатроника, автоматизация, управление. 2021. Т. 22. № 5. С. 272–279.
12. Пушкин С. Г., Ловицкий Л. Л. Погрешность восприятия полного давления приёмником с протоком в камере торможения // Авиакосмическое приборостроение. 2010. № 5. С. 25–30.

References

1. ICAO Doc 9750. Capacity & efficiency. 2016–2030 Global Air Navigation Plan. ICAO, 2016, 142 p.
2. ICAO NAT Doc 002. Guidance material on the implementation of a 300 m (1000 ft) vertical separation minimum in the minimum navigation performance specifications airspace of the North Atlantic region. ICAO, 1994.
3. ICAO Doc 9574 AN/934. Manual on a 300 m (1000 ft) vertical separation minimum between FL 290 and FL 410 inclusive. Third ed. ICAO, 2012, 62 p.
4. Lebedev B. V., Solomentchev V. V., Stratienko A. N. Analysis method of control vertical separation of aircraft on the base of ADS-B. *Civil Aviation High Technologies*, 2015, no. 213, pp. 135–140. (In Russ.)
5. Pushkov S. G., Kharin E. G., Kozhurin V. R., Zakharov V. G. Technology for aerodynamic errors of static port sensor and air parameters determinations in flight tests of aircraft using satellite navigation system for trajectory measurements. *Flight Safety Issues*, 2006, no. 7, pp. 8–26. (In Russ.)
6. Pushkov S. G., Kharin E. G., Kozhurin V. R., Lovitsky L. L. Reference measurement of air parameters in flight test using trajectory measurement satellite facilities. *Aerospace Instrument-Making*, 2010, no. 4, pp. 5–9. (In Russ.)
7. Pushkov S. G., Kharin E. G., Lovitsky L. L. Flight test determination technology of air parameters and air pressure picks-up aerodynamic error on high angles of attack. *Polyot*, 2010, no. 6, pp. 30–36. (In Russ.)
8. Kharin E. G., Kopylov I. A. *Technology for aircraft onboard equipment flight test using an onboard trajectory measurement complex*. Moscow, MAI-PRINT Publ., 2012, 356 p. (In Russ.)
9. Gracey W. *Measurement of static pressure on aircraft*. NACA Report 1364, 1956.
10. Vedrov V. S., Taits M. A. *Flight tests of aircraft*. Moscow, Oborongiz Publ., 1951, 486 p. (In Russ.)
11. Pushkov S. G., Lovitsky L. L., Gorshkova O. Yu., Malakhova I. V. Aerodynamic errors mathematical modeling in air data systems estimation technology in flight tests using satellite navigation systems. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2021, vol. 22, no. 5, pp. 272–279. (In Russ.)
12. Pushkov S. G., Lovitsky L. L. Inaccuracy of total pressure perception by Pitot tube with flow channel in damping chamber. *Aerospace Instrument-Making*, 2010, no. 5, pp. 25–30. (In Russ.)

Информация об авторах

Пушкин Сергей Георгиевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Лётно-исследовательский институт им. М. М. Громова, Жуковский, Московская обл., Россия, nio9@lii.ru

Горшкова Ольга Юрьевна, ведущий инженер, Лётно-исследовательский институт им. М. М. Громова, Жуковский, Московская обл., Россия, nio9@lii.ru

Ловицкий Лаврентий Лаврентьевич, ведущий инженер, Лётно-исследовательский институт им. М. М. Громова, Жуковский, Московская обл., Россия, nio9@lii.ru

Малахова Ирина Васильевна, ведущий инженер, Лётно-исследовательский институт им. М. М. Громова, Жуковский, Московская обл., Россия, nio9@lii.ru

Authors information

Pushkov Sergey G., Doctor of Sciences (Engineering), Principal Researcher, Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia, nio9@lii.ru

Gorshkova Olga Yu., Leading Engineer, Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia, nio9@lii.ru

Lovitsky Lavrenty L., Leading Engineer, Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia, nio9@lii.ru

Malakhova Irina V., Leading Engineer, Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Moscow region, Russia, nio9@lii.ru

Статья поступила в редакцию 30.04.2025; одобрена после рецензирования 20.10.2025; принята к публикации 28.10.2025.

The article was submitted 30.04.2025; approved after reviewing 20.10.2025; accepted for publication 28.10.2025.

Научная статья

УДК 629.7:351.814.332

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЙ

Г. А. ГАСПАРЯН^{1,2}, И. А. ЧЕХОВ¹

¹ Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

² Московский центр автоматизированного управления воздушным движением, Москва, Россия

Аннотация. В условиях стремительного роста плотности воздушного движения возрастает потребность в надёжных и оперативных методах выявления перегрузки воздушного пространства, особенно в сложных и динамически изменяющихся условиях. Существующие методы, основанные на статическом анализе или агрегированных показателях плотности движения, не позволяют своевременно реагировать на изменяющиеся риски в реальном времени. В данной работе представлен усовершенствованный подход, основанный на построении взвешенного графа потенциальных столкновений между воздушными судами (ВС) и введении динамической метрики риска, чувствительной к пространственно-временным особенностям движения. Методика позволяет выявлять не только текущую степень загруженности сектора, но и прогнозировать вероятность превышения его пропускной способности в заданном горизонте. Для этого применяется архитектура, учитывающая неоднородность конфигурации потоков воздушного движения, а также их временную корреляцию. Проведённое экспериментальное исследование на основе данных о движении в секторе воздушного пространства Московского района полётной информации за декабрь 2023 года подтвердило эффективность предложенного метода.

Ключевые слова: воздушное движение, прогнозирование потоков, риск столкновения, пропускная способность, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Гаспарян Г. А., Чехов И. А. Выявление превышения пропускной способности воздушного пространства на основе паттернов риска столкновений // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 55–67.

DETECTION OF AIRSPACE CAPACITY OVERLOAD BASED ON COLLISION RISK PATTERNS

G. A. GASPARYAN^{1,2}, I. A. CHEKHOV¹

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

² Moscow Automated Air Traffic Control Center, Moscow, Russia

Abstract. As air traffic density continues to grow rapidly, the need for reliable and timely methods to detect airspace overload becomes increasingly critical, particularly under complex and dynamically changing conditions. Existing approaches based on static analysis or aggregated traffic density indicators often fail to provide adequate responsiveness to real-time risk fluctuations. This paper presents an improved method based on the construction of a weighted graph of potential conflicts between aircraft, combined with the introduction of a dynamic risk metric that accounts for the spatio-temporal characteristics of traffic flows. The proposed

methodology enables not only the assessment of current sector load but also the forecasting of potential capacity exceedance within a specified time horizon. The architecture incorporates temporal correlation and structural variability of traffic patterns to improve the accuracy of risk estimation. An experimental study was conducted using flight data from the Moscow Flight Information Region for December 2023.

Keywords: air traffic, flow prediction, collision risk, airspace capacity, aircraft operation

For citation: Gasparyan G. A., Chekhov I. A. Detection of airspace capacity overload based on collision risk patterns. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 55–67. (In Russ.)

Введение

Статья [1] предлагает инновационный метод, основанный на кластеризации точек ближайшего сближения (CPA – Closest Point of Approach) между ВС и построении паттернов риска для определения уровней загруженности воздушного пространства (ВП). Согласно подходу авторов, риски формируются в результате пространственно-временного пересечения траекторий, а выявленные скопления таких событий позволяют классифицировать состояние сектора как «нормальное», «переходное» или «перегруженное».

Однако данный метод при всей его концептуальной ценности имеет ряд ограничений. Прежде всего он опирается исключительно на статистические данные, что снижает его прогностическую мощность. Кроме того, метод кластеризации (в частности, DBSCAN), используемый для выделения паттернов риска, работает со статичными параметрами, что делает его чувствительным к выбору порогов и неустойчивым при изменении плотности воздушного движения (ВД). Также метод не учитывает специфические характеристики сектора (его форму, структуру маршрутов, правила выполнения полётов по разным маршрутам), а работает с обобщёнными координатами CPA и относительными скоростями [2].

Для преодоления этих ограничений в настоящей работе предлагается усовершенствованный метод идентификации перегрузки ВП, основанный на построении взвешенного графа потенциальных столкновений между ВС. Центральным элементом предложенного подхода является динамическая метрика $\sigma(t)$ – функция времени, определяющая среднее значение риска по всем рёбрам в графе. Именно эта метрика используется в качестве индикатора перегрузки: если $\sigma(t)$ превышает критическое значение $\sigma_{\text{крит}}$, зависящее от логарифмической функции, аргументом которой является общее количество ВС в секторе, то наступает ситуация потенциальной перегрузки [3].

Исходные методы исследования

Для различных типов движения применяются специализированные модели риска. Одним из ключевых источников данных для оценки риска на основе вертикального эшелонирования являются траектории полётов. Вероятность нарушения эшелонирования определяется с учётом статистических характеристик ошибок измерения высоты (ASE) и отклонений пилотирования по высоте (FTE) [4].

Перед расчётом показателей риска выполняется предварительная подготовка данных о ВД, включая сведения о рейсах и структуре ВП. Информация о рейсах содержит тип ВС, аэропорты отправления и назначения, маршрутные точки, эшелоны, время входа и выхода из сектора, а также продолжительность пребывания в нём. Конфигурация ВП определяется маршрутной сетью с указанием промежуточных точек, что позволяет с большей точностью моделировать траекторию полёта по сравнению с прямым соединением точек входа и выхода [5, 6].

Два ВС находятся в зоне риска вертикального столкновения, если они движутся на смежных эшелонах и имеют потенциальную точку пересечения. Для определения таких ситуаций

применяется метод номинальных групп, предложенный в [7], позволяющий оценить предполагаемое положение ВС на основе текущих параметров полёта. Для каждой пары рейсов вычисляется СРА. Если вертикальное расстояние в этой точке не превышает 1000 футов, а горизонтальное – 5 морских миль, данное пересечение считается значимым и включается в дальнейший анализ [8, 9].

Полученные точки СРА используются для количественной оценки риска. Для каждой значимой точки сохраняются координаты (широта, долгота, высота), а также момент времени, в который оба ВС достигают этой точки. Эти параметры затем применяются для построения тепловых карт распределения риска столкновений [10].

Для расчёта значений риска используется метод DBSCAN, описанный в [11], который учитывает широкий набор параметров: точность навигационного оборудования, вероятностные отклонения по вертикали и горизонту, особенности маршрутной структуры, количество пересекающихся ВС, их физические размеры, а также длительность пребывания в анализируемом ВП. Рассчитанное значение риска должно соответствовать целевому уровню безопасности (TLS), установленному как предельно допустимая вероятность столкновения на каждый час полёта (обычно $5 \cdot 10^{-9}$ для вертикального и $1 \cdot 10^{-8}$ для горизонтального интервалов) [12].

Риск вертикального столкновения для двух ВС на смежных эшелонах, следующих по одному маршруту, описывается выражением [1]:

$$N_{az} = 2P_z(S_z)P_y(0)n_z(equiv)\left(1 + \frac{|\bar{y}|}{2\bar{W}} + \frac{\lambda_{xy}|\bar{z}|}{\lambda_z 2\bar{W}}\right),$$

где N_{az} – ожидаемое количество столкновений на один час полёта вследствие нарушения эшелонирования; множитель

$$\kappa = \left(1 + \frac{|\bar{y}|}{2\bar{W}} + \frac{\lambda_{xy}|\bar{z}|}{\lambda_z 2\bar{W}}\right)$$

зависит от относительной скорости ВС и их габаритов; \bar{W} – средняя путевая скорость; $|\bar{y}|$ – относительная горизонтальная скорость между двумя ВС на смежных эшелонах; $|\bar{z}|$ – относительная вертикальная скорость при нарушении эшелонирования при вертикальном интервале S_z футов. ВС может быть представлено вертикальным цилиндром с усреднённым диаметром λ_{xy} и высотой λ_z , это учитывается во время оценки риска. $P_z(S_z)$ – вероятность вертикального наложения для ВС на смежных эшелонах при $S_z = 1000$ футов (то есть даже на смежных эшелонах всё ещё существует вероятность вертикального сближения); $P_y(0)$ – вероятность горизонтального наложения для судов, летящих по одному маршруту. Расчёт данной величины может быть выполнен с использованием временного коэффициента α , который отражает долю ВС, использующих спутниковые навигационные средства (GNSS) в пределах рассматриваемого ВП, по отношению к числу рейсов, выполняемых с использованием VOR/DME и NDB [1]:

$$P_y(0) = 2\lambda_y \left(\frac{(1-\alpha)^2}{2\sigma_{VOR/DME}\sqrt{\pi}} + \frac{2\alpha(1-\alpha)}{\sqrt{\sigma_{VOR/DME}^2 + \sigma_{GNSS}^2}\sqrt{2\pi}} + \frac{\alpha^2}{2\sigma_{GNSS}\sqrt{\pi}} \right),$$

где α – доля ВС, применяющих спутниковые навигационные системы; $\sigma_{VOR/DME}$ и σ_{GNSS} – среднеквадратичные отклонения при использовании VOR/DME и GNSS соответственно; λ_y – усреднённое значение размаха крыла ВС.

Средняя относительная горизонтальная скорость сближения двух ВС, находящихся на смежных эшелонах и следующих по маршрутам, пересекающимся под углом θ , обозначается $W_{rel}(\theta)$. Она вычисляется по формуле:

$$W_{rel}(\theta) = \bar{W} \sqrt{2(1 - \cos\theta)}.$$

Значения вероятностей $P_z(S_z)$, $P_y(0)$ и множителя k рассчитываются для всего ВП и принимаются неизменными для всех потенциально опасных точек пересечения маршрутов. Индекс z отображает, что вычисления проводятся для судов, следующих на смежных эшелонах.

Оставшийся параметр $n_z(equiv)$ рассчитывается с учётом веса всех точек пересечения. Относительная поступательная скорость между двумя ВС обозначается как $\Delta \bar{W}$; параметр $n_z(\theta_i)$ характеризует, насколько часто маршруты ОВД пересекаются между собой под углом θ_i , где $i=1, \dots, n_c$ (n_c – число наблюдаемых СРА). Можно выразить $n_z(equiv)$ как интенсивность потенциальных пересечений в анализируемом секторе:

$$n_z(equiv) = \sum_{i=1}^{n_{opp}} A_i + \sum_{j=1}^{n_{same}} B_j,$$

где n_{opp} и n_{same} обозначают количество пар ВС во встречных и попутных направлениях соответственно, A_i и B_j – весовые коэффициенты, зависящие от относительной скорости, угла пересечения маршрутов и времени сближения [1].

Результирующее распределение (пространственное распределение плотности потенциальных точек пересечения траекторий ВС) может быть визуализировано в форме тепловой карты, где уровень интенсивности и/или цвет (сопоставленные числовому значению, показывающему совокупный риск или частоту пересечений для данной ячейки карты) для каждой точки с координатами (x, y) одновременно отражает частоту встречных пересечений маршрутов и степень потенциальной угрозы, связанной с данными взаимодействиями. Таким образом, области с повышенной интенсивностью и/или определённых цветов представляют собой зоны концентрации конфликтных ситуаций и могут рассматриваться как индикаторы перегруженных участков ВП.

1). Извлечение признаков из тепловых карт

После вычисления тепловых значений для каждой координаты в пределах исследуемой области и их последующего отображения в цветовой шкале становится возможным построение тепловой карты, визуализирующей пространственное распределение точек пересечения ВС, а также соответствующих уровней риска на двумерной координатной плоскости (широта – долгота).

Каждая тепловая карта интерпретируется как цифровое изображение фиксированных размеров $m \times n$ пикселей. Основные информативные характеристики таких изображений заключаются в цветовых вариациях, отражающих различный уровень риска в отдельных точках. RGB-компоненты каждого пикселя извлекаются и объединяются в вектор признаков длиной $m \times n \times 3$, описывающий тепловую карту как единую числовую структуру.

2). Кластеризация признаков изображения

Кластеризация представляет собой процесс группировки объектов (векторов признаков или других наблюдаемых данных) в классы по сходству. Так, в работе [13] был предложен фреймворк для мониторинга ВП, основанный на кластеризации по плотности, позволяющий выявлять типичные режимы работы и отклонения от них. В работе [14] представлены результаты применения методов иерархической и спектральной группировки для анализа траекторий в районе аэроромов – как типовых, так и отклоняющихся от стандартных маршрутов.

Для выявления характерных структур рисковых зон в данной работе используется модифицированная версия алгоритма кластеризации k-means++, представляющая собой усовершенствованную форму традиционного метода k-средних. Ключевое отличие заключается в способе инициализации начальных центров кластеров: первый центр определяется случайным образом, а последующие выбираются с вероятностью, пропорциональной квадрату расстояния до ближайшего уже установленного центра [15]. Такой подход обеспечивает более равномерное распределение начальных точек, повышает устойчивость алгоритма и снижает риск сходимости к неоптимальным решениям, связанным с локальными минимумами функции стоимости, которая

в данном случае отражает суммарное отклонение интенсивностей и координат точек риска от центров соответствующих кластеров. Минимизация этой функции обеспечивает формирование пространственно однородных областей с близкими характеристиками риска.

Несмотря на простоту и высокую вычислительную эффективность, важным ограничением k-means++ остаётся необходимость заранее задать количество кластеров k , что требует предварительного анализа или использования вспомогательных критериев оценки качества кластеризации. Для определения оптимального значения k применяется метод «локтя» (knee method), при котором алгоритм запускается для различных значений k в диапазоне $[k_{\min}, k_{\max}]$. Для каждого k рассчитывается индекс качества кластеризации – сумма квадратов отклонений значений риска от средних значений в пределах кластеров (SSE), и по графику SSE от k находится «точка излома», соответствующая оптимальному числу кластеров k_{best} [16].

3). Идентификация паттернов риска столкновения

Применение алгоритма кластеризации к множеству тепловых карт позволяет выделить k_c^* устойчивых кластеров, каждый из которых представляет характерный паттерн риска столкновения. Эти паттерны соотносятся с тремя основными фазами функционирования ВП: нормальной, переходной и перегрузки. Такая классификация даёт возможность оперативно оценивать текущее состояние сектора: при поступлении новой информации о воздушной обстановке соответствующая тепловая карта может быть сопоставлена с ранее идентифицированными паттернами, что позволяет судить о приближении к пределу пропускной способности либо о его превышении [17].

При более глубоком рассмотрении предложенный подход имеет ряд существенных ограничений, препятствующих его применению в реальном времени и в рамках стратегического планирования. Во-первых, метод ориентирован на ретроспективный анализ и не содержит механизма прогнозирования будущих состояний ВП. Это снижает его полезность в операционных условиях, где важна проактивная реакция на надвигающиеся перегрузки. Во-вторых, паттерны определяются вручную с использованием кластеризации на основе визуально наблюдаемых признаков, что вносит элемент субъективности и неустойчивости в интерпретацию результатов. В-третьих, модель не учитывает кумулятивный эффект – накопление риска в отдельных зонах, которое может происходить даже при низкой моментальной плотности трафика. Наконец, в модели отсутствует параметр, чувствительный к изменениям структурных характеристик (например, количества потенциальных пересечений, скорости сближения и прочих факторов), который позволил бы оценивать перегрузку не как бинарное состояние, а как динамически развивающийся процесс.

Усовершенствованная методика оценки и прогнозирования перегрузки ВП

Для преодоления указанных ограничений рассмотрим усовершенствованный метод оценки и прогнозирования перегрузки ВП, основанный на построении графа потенциальных столкновений и введении метрики динамической перегрузки $\sigma(t)$. Основная идея заключается в том, чтобы рассматривать ВП как развивающуюся систему, в которой каждый возможный конфликт между парами ВС формирует ребро в графе. Вершины такого графа представляют собой отдельные рейсы (или траектории), а рёбра – конфликты, выявленные по критерию СРА (менее 5 морских миль по горизонтали и 1000 футов по вертикали). Таким образом, граф отражает не только факт конфликтности, но и структуру распространения конфликтов по пространству и времени.

Метрика $\sigma(t)$ вводится как нормированная мера перегрузки и определяется по следующей формуле:

$$\sigma(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{(i,j) \in E(t)} w_{ij}(t),$$

где $N(t)$ – общее количество потенциальных конфликтов в момент времени t ; $E(t)$ – множество рёбер графа в момент времени t ; $w_{ij}(t)$ – вес конфликта между парой рейсов i и j , учитывающий

относительную скорость сближения, угол пересечения, высотное отклонение и продолжительность потенциального пересечения.

Вес задаётся как:

$$w_{ij}(t) = \frac{|\Delta W_{ij}|}{d_{\text{CPA}}(t)} \exp\left(-\frac{|\Delta h_{ij}|}{H_{th}}\right),$$

где $|\Delta W_{ij}|$ – модуль относительной скорости; $d_{\text{CPA}}(t)$ – горизонтальное расстояние в точке СПА; $|\Delta h_{ij}|$ – вертикальное отклонение между ВС в точке СПА; H_{th} – нормирующий коэффициент по высоте (например, 1000 футов), служащий для масштабирования веса $w_{ij}(t)$ соответственно $S_z(t)$. При типичном значении $S_z \geq H_{th} = 1000$ футов вес $w_{ij}(t)$ снижается вдвое. Отношение S_z/H_{th} показывает степень вертикальной разделённости пары ВС в масштабе весов: чем больше это отношение, тем меньше вес $w_{ij}(t)$ и тем ниже вероятность значимого пространственного взаимодействия этой пары ВС.

На практике при росте числа ВС в секторе $\sigma(t)$ естественным образом возрастает. Однако рост не является линейным, так как плотность и геометрия траекторий играют ключевую роль. Поэтому фиксированный порог $\sigma(t)$ является неадекватным – необходимо учитывать текущую интенсивность. Вводится критическое значение σ , обозначаемое как $\sigma_{\text{крит}}$, в виде функции от количества ВС:

$$\sigma_{\text{крит}} = a \ln(b n_{ac} + 1),$$

где n_{ac} – количество активных ВС в секторе за единицу времени; a, b — эмпирические коэффициенты, подбираемые на основе исторических данных (например, путём оптимизации порога под ROC-кривой (будет описана позже)); а логарифм используется для отражения нелинейного роста сложности сектора с увеличением плотности движения.

В свою очередь перегрузка наступает при

$$\sigma(t) > \sigma_{\text{крит}} = \gamma \ln |W|,$$

где γ – эмпирический коэффициент, калибруемый по историческим данным.

Метрика $\sigma(t)$ отслеживается во времени и при достижении определённого порогового значения сигнализирует о состоянии перегрузки. Кроме того, её динамика используется в качестве входных данных для графовой нейросети (например, ASTGCN), обученной на исторических данных, для прогнозирования значений $\sigma(t + \Delta t)$ на горизонте 5–30 минут вперёд.

Результаты

В этом разделе представлено экспериментальное исследование, подтверждающее эффективность разработанного метода выявления превышения пропускной способности ВП на основе данных о ВД. Для валидации метода был проведён эксперимент на секторе ГЗГ4 МВЗ площадью 240×110 км с часовой интенсивностью 50 ВС/ч. Среднее количество ВС на управлении составляло от 8 до 10, граф состоит из 10 узлов (ВС) с 22 рёбрами СПА. В течение 24 часов были собраны траекторные данные по вторичной радиолокации (ВРЛ) и автоматическому наблюдению (АЗН-В). На каждом шаге в 5 минут строился график потенциальных столкновений, рассчитывалась $\sigma(t)$, а также формировались тепловые карты и статистика конфигурации графа (плотность, средняя степень, диаметр, доля плотных компонент).

Плотность графа D определяется как отношение числа существующих рёбер E к максимально возможному числу связей между вершинами V :

$$D = \frac{2E}{V(V-1)}.$$

Средняя степень вершин \bar{k} отражает среднее количество связей, приходящихся на одно ВС, и характеризует уровень общей связанности воздушного движения в секторе:

$$\bar{k} = \frac{2E}{V}.$$

Диаметр графа L_{\max} – максимальная длина кратчайшего пути между любыми двумя вершинами; рост диаметра указывает на разобщение подсетей и снижение связанности движения.

Доля плотных компонент C_d определяется как отношение числа вершин, входящих в наиболее плотные кластеры, к общему числу вершин, что позволяет оценивать степень локальной концентрации пересечений в секторе.

Совместное использование этих показателей позволяет количественно описать топологию взаимодействий ВС и проследить динамику формирования зон перегрузки.

При калибровке $\sigma_{\text{крит}}$ были использованы значения коэффициентов $a=0,35$ и $b=0,7$, соответствующие усреднённой конфигурации сектора размером 200×200 км при интенсивности около 50 ВС/ч ($n_{ac} \approx 11$). При таких параметрах значение $\sigma_{\text{крит}}$ близко к 0,75, что согласуется с эмпирически наблюдаемым порогом перехода к состоянию перегрузки по метрике пропускной способности (задержки, снижение скорости, увеличение продольных интервалов).

Более того, графовая модель прогнозирования с обучением на данных за 18 суток и прогнозным горизонтом 15 минут показала точность предсказания $\sigma(\Delta t + 3t)$ (что соответствует заданному горизонту при $\Delta t=5$ минут) на уровне средней абсолютной ошибки 0,06 при среднеквадратическом отклонении 0,09. Таким образом, интеграция графа столкновений и динамической метрики $\sigma(t)$ позволила создать эффективную систему раннего предупреждения о перегрузках ВП.

На первом этапе была проведена структурная характеристика ВП выбранного сектора – установлены все маршруты и путевые точки, относящиеся к нему. Затем были отобраны данные о полётах в эшелонном диапазоне от FL290 до FL410. Для каждого рейса были определены ключевые параметры: время входа и выхода в сектор, соответствующие точки маршрута, тип ВС, а также аэроромы отправления и назначения. Комбинированные данные о ВП и полётах были загружены в симуляционную среду с встроенной моделью оценки риска столкновения. Результатом моделирования стало множество точек пересечения, для каждой из которых определялись координаты, время события и оценка риска.

На следующем этапе было сформировано распределение значений риска во времени. С учётом средней продолжительности пролёта сектора (примерно 30 минут) каждая тепловая карта строилась с минутным шагом и охватывала 30-минутное «окно» – таким образом, каждая карта представляла обобщённую картину рисков за последние 30 минут. Всего в рамках эксперимента было сгенерировано порядка 2700 тепловых карт, что позволяет с высокой детализацией проанализировать динамику изменения рисков в секторе. Для целей визуализации и обработки из общего массива случайнным образом было отобрано 140 тепловых карт для последующего анализа паттернов риска столкновения.

Перед кластеризацией каждая карта преобразовывалась в вектор, представляющий структурированный набор признаков. Далее полученные векторные представления были переданы в алгоритм кластеризации k-means++, что позволило разделить тепловые карты на группы с характерными паттернами риска столкновения. Для определения подходящего количества кластеров алгоритм кластеризации k-means++ запускался 20 раз для каждого значения k в диапазоне от 2 (k_{\min}) до 19 (k_{\max}). Снижение среднего и минимального SSE замедлялось при $k=9$, что рассматривалось как «точка излома», количество кластеров установлено равным 9.

В результате кластеризации тепловых карт было выделено 12 различных кластеров, каждый из которых представляет собой уникальный паттерн пространственно-временного распределения риска столкновения. На рис. 1 представлены визуализации этих паттернов.

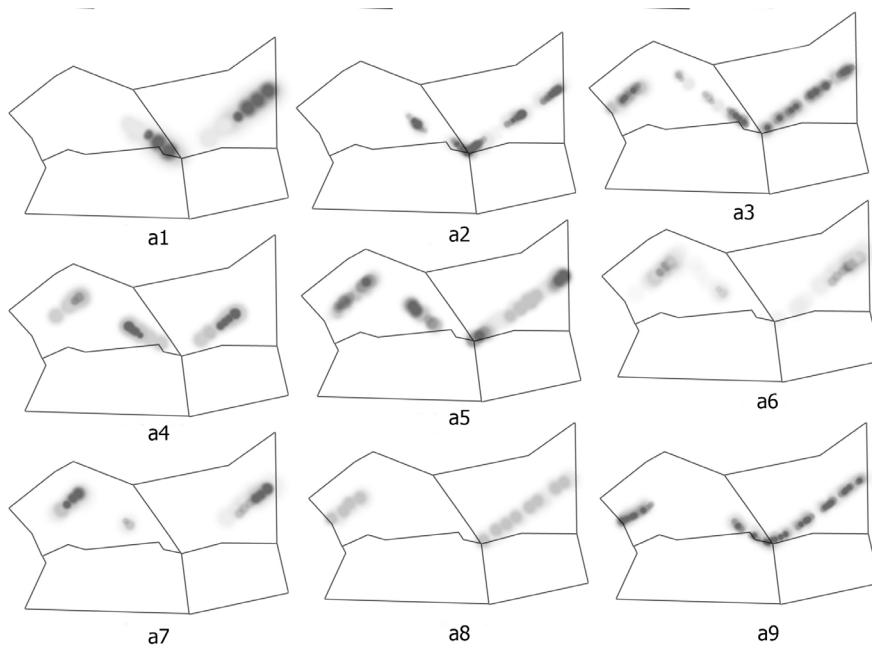


Рис. 1. Распознанные паттерны риска столкновения

Анализ изображений показывает, что в кластерах a_6 , a_7 и a_8 тепловая активность минимальна и распределена слабо, что указывает на низкую плотность точек пересечения и, соответственно, незначительный уровень риска. В паттернах a_2 , a_4 , a_5 наблюдается усиление «нагрева» – области риска становятся более выраженными и плотными, что свидетельствует о возрастании вероятности конфликтных ситуаций. В паттернах a_1 , a_3 , a_9 тепловая активность достигает наивысших значений: высокая плотность точек пересечения сопровождается значительным уровнем риска столкновения, что типично для перегруженного состояния ВП.

На рис. 2 представлены диаграммы зависимости между общим риском столкновения и количеством ВС, входящих в сектор в течение 20-минутного интервала, где \bar{R} – кривая средних значений риска столкновения в зависимости от количества ВС. Каждая точка на графике соответствует одной тепловой карте и отражает агрегированные значения риска и загрузки сектора за соответствующий период времени. По вертикальной оси отложена суммарная величина риска, вычисленная по всем точкам пересечения, а по горизонтальной – количество рейсов, пересекающих сектор.

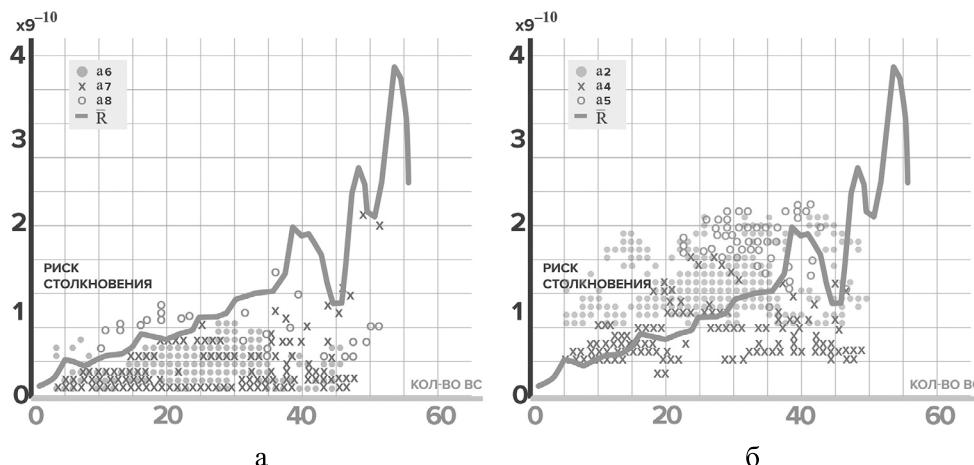


Рис. 2. Соотношение риска столкновения и количества ВС при рисках: низком – а; высоком – б

Анализ диаграмм рис. 2 показывает, что при увеличении числа ВС в секторе совокупный риск возрастает по квадратичному закону. При этом наблюдаются отклонения от общей тенденции, вероятно обусловленные вариативностью структуры маршрутов, различной степенью конфликтности движения, а также внешними факторами, такими как метеоусловия. Тем не менее, полученный результат подтверждает применимость интегрального показателя риска столкновения в качестве надёжного индикатора для оценки текущей нагрузки на ВП и своевременного выявления предельных состояний пропускной способности.

Также видно, что значения риска при паттернах «низкого нагрева» (a6, a7 и a8, рис. 2, а) низкие: 94,71 % значений ниже $0,7 \cdot 10^{-10}$ и почти не зависят от количества рейсов. При паттернах «высокого нагрева» (a2, a4, a5, рис. 2, б) 88,43 % значений превышают $1,8 \cdot 10^{-10}$ и растут квадратично с количеством рейсов.

Результаты анализа указывают на то, что при наблюдаемом «слабом нагреве» на тепловой карте ВП функционирует в пределах нормальной загрузки, а его текущая конфигурация позволяет безопасно обслуживать дополнительный трафик без существенного увеличения риска. В случае «умеренного нагрева» уровень риска возрастает, однако остаётся в пределах допустимого – это свидетельствует о переходной фазе, при которой система ещё сохраняет устойчивость, но приближается к предельному состоянию. При достижении «высокого нагрева» резкий рост риска сигнализирует о том, что сектор достиг предела своей пропускной способности или превысил его, и дальнейшее увеличение количества ВС может привести к недопустимому уровню угрозы столкновений.

Если модель определяет, будет сектор перегружен или нет, это является задачей бинарной классификации: 1 – перегрузка будет; 0 – перегрузки не будет. Далее для оценки качества модели строится ROC-кривая (Receiver Operating Characteristic Curve) – это график, который показывает, как хорошо работает бинарный классификатор. Она строится по осям: x (False Positive Rate, FPR) – доля ложных срабатываний; y (True Positive Rate, TPR) – доля правильно найденных срабатываний. ROC показывает, как хорошо модель различает перегруженные и нормальные состояния при разных порогах вероятности.

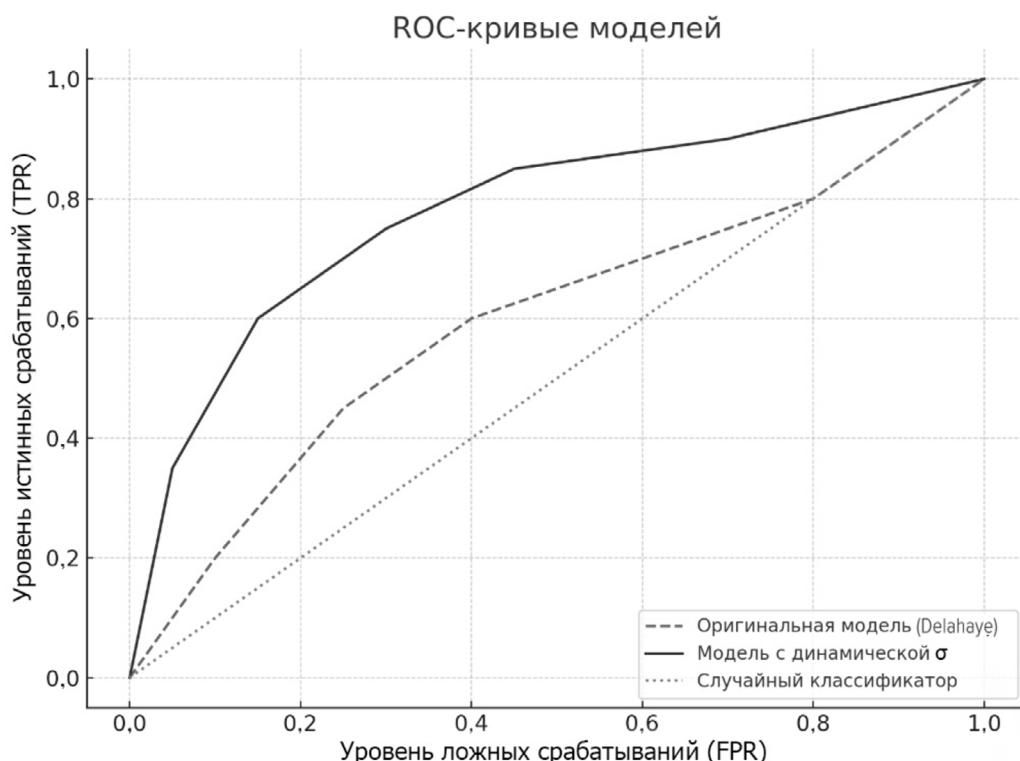


Рис. 3. ROC-кривые моделей

Для построения кривой выбирается множество порогов $\sigma_{\text{крит}} \in [0; 1]$, для каждого порога рассчитывается $TPR = TP/(TP+FN)$ и $FPR = FP/(FP+TN)$, где TP – число верных предсказаний перегрузки; FP – число её ошибочных обнаружений; FN – количество пропусков перегрузки, хотя она была; TN – количество верных предсказаний отсутствия перегрузки. Пороговое значение $\sigma_{\text{крит}} = 0,75$ было определено ранее. Метрика AUC (Area Under Curve, площадь под кривой) показывает, насколько хорошо модель отделяет классы. Чем ближе значение AUC к 1, тем лучше модель.

Таким образом, выделенные три группы тепловых паттернов – с низким, средним и высоким уровнем риска – могут быть интерпретированы как нормальное состояние, переходное состояние и состояние перегрузки ВП соответственно. Это даёт возможность при поступлении нового сценария воздушной обстановки оперативно генерировать соответствующую тепловую карту и, сравнив её с заранее классифицированными паттернами, определить текущее состояние сектора: работает ли он в штатном режиме, приближается ли к перегрузке или уже находится в критическом состоянии.

Заключение

Предложено усовершенствование базового метода через переход от анализа СРА к построению взвешенного графа потенциальных столкновений, где рёбра указывают на возможность возникновения конфликта в заданном горизонте прогноза. Ключевой компонент этой модели – динамическая метрика $\sigma(t)$, рассчитываемая как среднее значение суммы весов всех рёбер, инцидентных каждому узлу (ВС).

Дополнительно был предложен критерий перегрузки на основе превышения критического значения $\sigma_{\text{крит}}$, зависящего от логарифма числа активных ВС. Такой подход позволяет формализовать понятие «перегрузка сектора» в количественных терминах и интегрировать его в системы поддержки принятия решений для диспетчерских служб.

Представленный метод сохраняет лучшие свойства оригинального подхода [1], такие как эмпирическое обоснование паттернов и использование данных реального движения, но при этом устраняет его слабые стороны за счёт прогностической компоненты, гибкой метрики и математической строгости. Практическая применимость подтверждается примером на данных сектора ГЗГ4 РПИ Москвы с интенсивностью 50 ВС/час, где графовый анализ позволил определить момент возникновения перегрузки на основе объективного показателя $\sigma(t)$.

Таким образом, развитие метода [1] в сторону графового анализа и динамических метрик открывает путь к созданию более точных и интерпретируемых инструментов мониторинга пропускной способности ВП.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Nguyen M.-H., Alam S. Airspace collision risk hot-spot identification using clustering models. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017, vol. 18, no. 4, pp. 950–960.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2691000>
2. Marque A., Delahaye D., Marechal P., Berry I. Air traffic classification using convolutional neural networks. *International Workshop on ATM/CNS (IWAC 2024)*, ENRI, Tokyo, Japan, 2024 [Electronic resource]. URL: https://enac.hal.science/hal-04792269v1/file/IWAC2024_T1-1-A.pdf (дата обращения 01.06.2025).
3. Ерохин В. В., Лежанкин Б. В., Урбанский Д. Ю. Оценка возможности реализации процесса наблюдения в региональных центрах системы организации воздушного движения России // Crede Experto: Транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 2. С. 96–118.

4. Nugroho S., Taha A., Claudel C. A control-theoretic approach for scalable and robust traffic density estimation using convex optimization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 64–78. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2953023>
5. Delahaye D., García A., Lavandier J., Chaimatanan S., Soler M. Air traffic complexity map based on linear dynamical systems. *Aerospace*, 2022, vol. 9, no. 5, 230. <https://doi.org/10.3390/aerospace9050230>
6. Loft S., Sanderson P., Neal A., Mooij M. Modeling and Predicting Mental Workload in En Route Air Traffic Control: Critical Review and Broader Implications. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2007, vol. 49, no. 3, pp. 376–399. <https://doi.org/10.1518/001872007X197017>
7. Yazgan E., Sert E., Simsek D. Overview of Studies on the Cognitive Workload of the Air Traffic Controller. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 28–36. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm02is01.0104>
8. ИКАО DOC 4444. Правила аeronавигационного обслуживания. Организация воздушного движения. Изд. 16. ИКАО, 2016. 546 с.
9. ИКАО Cir 319-AN/181. Единые принципы моделирования риска столкновения в обоснование Руководства по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования (DOC 9689). ИКАО, 2009. 74 с.
10. Княжский А. Ю., Плясовских А. П. Повышение эффективности использования воздушного пространства путём разделения потоков воздушных судов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 1(38). С. 72–82.
11. Wang X., Delahaye D., Xu L. Distribution Prediction of Strategic Flight Delays via Machine Learning Methods. *Sustainability*, 2022, no. 14, 15180. <https://doi.org/10.3390/su142215180>
12. ИКАО DOC 9689-AN/953. Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования. Изд. 1. ИКАО, 1998. 230 с.
13. Suarez M., Valdes R., Moreno F., Jurado R., de Frutos P., Gomez V. Understanding the research on air traffic controller workload and its implications for safety: A science mapping-based analysis. *Safety science*, 2024, vol. 176, 106545. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106545>
14. Hernández S. S., Valenzuela A. G., Rivas D. Probabilistic Aircraft Conflict Detection Considering Ensemble Weather Forecast. *Proceedings of the 6th International Conference on Research in Air Transportation (ICRAT)*, Delft, Netherlands, 2016.
15. Moreno F., Ibanez F., Gomez V., Jurado R., Suarez M., Valdes R. Prediction of air traffic complexity through a dynamic complexity indicator and machine learning models. *Journal of Air Transport Management*, 2024, vol. 119, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102632>
16. Куклев Е. А. Конструирование конфликтной ситуации при УВД на основе методологии STCA («Треугольник риска») // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 1(38). С. 83–89.
17. Costas J., Singh S., Chinnam R., Gutierrez E., Yadav A., Gupta M. An agent-based simulator for quantifying the cost of uncertainty in production systems. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, vol. 172, 108501. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.102660>

References

1. Nguyen M.-H., Alam S. Airspace collision risk hot-spot identification using clustering models. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017, vol. 18, no. 4, pp. 950–960. <https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2691000>
2. Marque A., Delahaye D., Marechal P., Berry I. Air traffic classification using convolutional neural networks. *International Workshop on ATM/CNS (IWAC 2024), ENRI*, Tokyo, Japan, 2024, available at: https://enac.hal.science/hal-04792269v1/file/IWAC2024_T1-1-A.pdf (accessed: 01.06.2025).

3. Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Urbansky D. Yu. Assessment of the possibility to implement the surveillance process in the regional centers of the air traffic management system of the Russian Federation. *Crede Experto: transport, society, education, language*, 2024, no. 2, pp. 96–118. (In Russ.).
4. Nugroho S., Taha A., Claudel C. A control-theoretic approach for scalable and robust traffic density estimation using convex optimization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 64–78. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2953023>
5. Delahaye D., Garcia A., Lavandier J., Chaimatanan S., Soler M. Air traffic complexity map based on linear dynamical systems. *Aerospace*, 2022, vol. 9, no. 5, 230. <https://doi.org/10.3390/aerospace9050230>
6. Loft S., Sanderson P., Neal A., Mooij M. Modeling and Predicting Mental Workload in En Route Air Traffic Control: Critical Review and Broader Implications. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2007, vol. 49, no. 3, pp. 376–399. <https://doi.org/10.1518/001872007X197017>
7. Yazgan E., Sert E., Simsek D. Overview of Studies on the Cognitive Workload of the Air Traffic Controller. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 28–36. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm02is01.0104>
8. ICAO DOC 4444. Procedures for Air Navigation Services. Air Traffic Management. Sixteenth Ed., ICAO, 2016, 502 p.
9. ICAO Cir 319-AN/181. A Unified Framework for Collision Risk Modeling in Support of the Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima (DOC 9689). ICAO, 2009, 70 p.
10. Knyazhsky A. Y., Plyasovskikh A. P. Improving the efficiency of airspace use by separating aircraft flows. *Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation*, 2023, no. 1, pp. 72–82. (In Russ.)
11. Wang X., Delahaye D., Xu L. Distribution Prediction of Strategic Flight Delays via Machine Learning Methods. *Sustainability*, 2022, no. 14, 15180. <https://doi.org/10.3390/su142215180>
12. ICAO DOC 9689-AN/953. Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima. First Ed., ICAO, 1998, 205 p.
13. Suarez M., Valdes R., Moreno F., Jurado R., de Frutos P., Gomez V. Understanding the research on air traffic controller workload and its implications for safety: A science mapping-based analysis. *Safety science*, 2024, vol. 176, 106545. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106545>
14. Hernández S. S., Valenzuela A. G., Rivas D. Probabilistic Aircraft Conflict Detection Considering Ensemble Weather Forecast. *Proceedings of the 6th International Conference on Research in Air Transportation (ICRAT)*, Delft, Netherlands, 2016.
15. Moreno F., Ibanez F., Gomez V., Jurado R., Suarez M., Valdes R. Prediction of air traffic complexity through a dynamic complexity indicator and machine learning models. *Journal of Air Transport Management*, 2024, vol. 119, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102632>
16. Kuklev E. A. Not stochastic modeling technological processes in traffic control of aviation systems. *Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation*, 2023, no. 1, pp. 83–89. (In Russ.)
17. Costas J., Singh S., Chinnam R., Gutierrez E., Yadav A., Gupta M. An agent-based simulator for quantifying the cost of uncertainty in production systems. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, vol. 172, 108501. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.102660>

Информация об авторах

Гаспарян Григорий Арменович, аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации; диспетчер РДЦ, Московский центр автоматизированного управления воздушным движением, Москва, Россия, grigory.rw@gmail.com

Чехов Игорь Анатольевич, кандидат военных наук, доцент кафедры управления воздушным движением, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, chegov@rambler.ru

Authors information

Gasparyan Grigory A., Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation; En-route Air Traffic Controller, Moscow Automated Air Traffic Control Center, Moscow, Russia, grigory.rw@gmail.com

Chekhover Igor A., Candidate of Sciences (Military), Associate Professor of the Department of Air Traffic Control, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, cheigov@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 24.06.2025; одобрена после рецензирования 31.10.2025; принята к публикации 07.11.2025.

The article was submitted 24.06.2025; approved after reviewing 31.10.2025; accepted for publication 07.11.2025.

Научная статья
УДК 629.7.083

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРИОРИТИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Г. Д. ФАЙНБУРГ¹, Р. И. АСИБАКОВ², Б. А. АБРАМОВ³, И. А. ФАЙНБУРГ¹

¹ Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

² ООО «Аэропрактика», Москва, Россия

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

Аннотация. В работе описано построение календарного графика выполнения программы проектов организации по техническому обслуживанию авиационной техники на основе ранее предложенной концепции методики приоритизации проектов авиационной организации. Программа включает 30 проектов, в его реализации задействовано 12 ключевых участников, являющихся руководителями организации и её подразделений. Исходные данные для последующего моделирования включают характеристики проектов, являющиеся параметрами критерия приоритизации и ограничениями по ресурсам: бюджет и длительность проекта, эффект от его реализации, требуемые ресурсы участников программы. Эти характеристики были получены в результате экспертизы оценок с учётом рейтинга эксперта. Рейтинг определялся в результате анализа согласованности оценок конкретного эксперта с оценками других экспертов. Моделирование календарного графика программы основано на максимизации целевой функции суммарного приоритета при соблюдении условий достаточности бюджета и организационных ресурсов. Алгоритм определения последовательности выполнения проектов с возможностью их параллельного запуска реализован в программной среде Python. В результате моделирования получен базовый календарный график программы и его различные сценарии при изменении параметра операционного бюджетирования. Определена величина операционного бюджетирования для минимально возможного срока выполнения всех проектов программы при неизменности остальных параметров проектов.

Ключевые слова: программа проектов, календарный график программы, организация по техническому обслуживанию авиационной техники, критерий приоритизации проектов, экспертная оценка, эксплуатация авиационной техники

Для цитирования: Файнбург Г. Д., Асибаков Р. И., Абрамов Б. А., Файнбург И. А. Реализация методики приоритизации проектов организации по техническому обслуживанию авиационной техники // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 68–79.

IMPLEMENTATION OF THE PROJECT PRIORITIZATION METHODOLOGY OF THE AIRCRAFT MAINTENANCE ORGANIZATION

G. D. FAINBURG¹, R. I. ASIBAKOV², B. A. ABRAMOV³, I. A. FAINBURG¹

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

² Aeropraktika LLC, Moscow, Russia

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

Abstract. The paper implements the task of constructing a calendar schedule for the implementation of a program of projects of an organization for the maintenance of aircraft equipment based on the previously proposed concept of the methodology for prioritizing projects of an aviation organization. The program includes 30 projects, 12 key participants, who are the heads of the organization and its departments, are involved in its implementation. The initial data for subsequent modeling include project characteristics that are the parameters of the prioritization criterion and resource constraints: the budget and duration of the project, the effect of its implementation, the required resources of the program participants. These characteristics were obtained as a result of expert assessments taking into account the expert rating. The rating was determined as a result of the analysis of the consistency of the assessments of a specific expert with the assessments of other experts. Modeling of the program calendar schedule is based on maximizing the objective function of the total priority while meeting the conditions of budget sufficiency and organizational resources. The algorithm for determining the sequence of projects with the possibility of their parallel launch is implemented in the Python software environment. As a result of modeling, a basic calendar schedule of the program and its various scenarios were obtained when changing the operational budgeting parameter. The amount of operational budgeting has been determined for the minimum possible period of implementation of all projects of the program, while the other parameters of the projects remain unchanged.

Keywords: project program, program schedule, aviation maintenance organization, project prioritization criterion, expert assessment, operation of aircraft

For citation: Fainburg G. D., Asibakov R. I., Abramov B. A., Fainburg I. A. Implementation of the project prioritization methodology of the aircraft maintenance organization. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 68–79. (In Russ.)

Введение

В статье [1] представлена концепция методики приоритизации проектов авиационной организации. Портфель проектов авиационной организации был рассмотрен во взаимосвязи с её процессами с учётом классификации проектов на основе однородности организационных ресурсов проекта [2].

Предложен критерий приоритизации F_i :

$$F_i = \frac{E_i}{V_i L_i}; \quad (1)$$

$$L_i = \frac{1}{100 m_i} \sum_{j=1}^m L_{ij}, \quad (2)$$

где E_i – эффект от реализации i -го проекта (тыс. руб./день); $V_i = C_i / T_i$; C_i – бюджет i -го проекта (тыс. руб.); T_i – длительность i -го проекта (рабочих дней); L_i – ресурсоёмкость i -го проекта; L_{ij} – ресурс j -го участника в i -м проекте (%); m_i – число ключевых участников, занятых в i -м проекте; m – общее число ключевых участников, необходимых для реализации портфеля проектов авиационной организации; $m_i \in m$.

Структура портфеля проектов организации, как правило, включает отдельные проекты и проекты, объединённые в программы¹.

Совокупность взаимосвязанных проектов и другой деятельности является программой проектов, если все её части направлены на достижение общей цели и реализуются в условиях общих ограничений².

¹ ГОСТ Р ИСО 21504-2016. Управление проектами, программами и портфелем проектов. Руководство по управлению портфелем проектов.

² ГОСТ Р 54871-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению программой.

Предложенная в [1] концепция методики определения приоритетов проектов авиационной организации может быть применена для управления портфелем или программой проектов разработчиков, эксплуатантов и организаций по техническому обслуживанию (ТО) авиационной техники (АТ).

В данной работе объект исследования – программа проектов организации по ТО АТ, объединяющая проекты, целью которых является совершенствование её операционных процессов [3].

В работе [4] рассмотрены общие подходы к управлению портфелем проектов организации с учётом критерия приоритизации и ресурсных ограничений. Одна из моделей определения последовательности выполнения проектов в рамках одного из подходов предложена в работе [5].

Настоящая статья описывает реализацию модели [5] и концепции методики приоритизации проектов авиационной организации.

Формирование исходных характеристик программы проектов организации по ТО АТ

Программа проектов организации по ТО АТ включает 30 проектов, сформированных в соответствии с их классификацией по проектным группам.

В реализации программы задействовано 12 ключевых участников, входящих в организационную структуру проектов, возможность участия которых в параллельно реализуемых проектах ограничена их временным ресурсом.

Состав участников программы: 1. Генеральный директор. 2. Руководитель коммерческой службы. 3. Руководитель службы ОТО (оперативное техническое обслуживание). 4. Руководитель службы ПТО (периодическое техническое обслуживание). 5. Руководитель службы безопасности полётов. 6. Руководитель службы качества. 7. Руководитель инженерно-технологической службы. 8. Руководитель службы МТО (материально-техническое обеспечение). 9. Главный инженер. 10. Руководитель службы информационных технологий. 11. Руководитель службы управления персоналом. 12. Руководитель службы управления запасами.

В соответствии с методикой [1] значения характеристик проектов определяются на основе экспертных оценок с разделением диапазонов каждой характеристики на интервалы (интервальные оценки). Для каждой характеристики экспертам предлагалось определить диапазон её возможного значения, выбирая из 5 интервалов.

В состав группы экспертов входят руководители организации и ведущие специалисты, задействованные в проектной деятельности. Экспертная оценка выполняется индивидуально на основе личного опыта эксперта и информации (при её наличии) о характеристиках ранее выполненных проектов с учётом их классификации [6].

Эксперты определяли интервальные оценки бюджета, длительности и срока окупаемости проекта. Последняя оценка использовалась для определения эффекта проекта E_i , являющегося параметром критерия приоритизации, как отношения бюджета к сроку окупаемости проекта.

Интервальную оценку ресурса j -го участника в i -м проекте экспертам предлагалось определить через время t_{ij} , затрачиваемое j -м участником на i -й проект. При этом также требовалось оценить долю рабочего времени K_j , которой располагает j -й участник для проектной деятельности.

При 8-часовом рабочем дне ресурс участника может быть определён, с учётом длительности проекта в рабочих днях, как

$$L_{ij} = \frac{t_{ij}}{8T_i K_j} \cdot 100.$$

Количественное значение каждой характеристики проекта рассчитывается с учётом рейтинга эксперта w_k , являющегося весовым коэффициентом.

Обозначим p -ю характеристику в i -м проекте как X_{ip} , а её оценку, данную k -м экспертом, как X_{ip}^k . При этом оценка X_{ip}^k является серединой интервала значений характеристики, выбранного экспертом. Тогда с учётом рейтинга эксперта:

$$X_{ip} = \sum_{k=1}^r w_k X_{ip}^k,$$

где r – число экспертов.

Рейтинг эксперта определяется согласованностью его оценок: чем чаще индивидуальная оценка эксперта совпадает с оценками других экспертов, тем выше индивидуальный рейтинг [7]: $w_k = B^k / B$, где B^k – суммарное количество баллов, набранных k -м экспертом,

$$B = \sum_{k=1}^r B^k; B^k = \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^l B_{ip}^k,$$

где B_{ip}^k – балл, полученный экспертом k за оценку X_{ip}^k ; n – количество проектов; l – количество оцениваемых характеристик i -го проекта, которое равно числу ключевых участников, занятых в i -м проекте, плюс три характеристики проекта (C_i, T_i, E_i): $l = m_i + 3$.

В общем виде:

$$B_{ip}^k = u - r',$$

где r' – число оценок экспертов, не совпадающих с оценкой характеристики, данной экспертом k ; u – число интервалов (вариантов) оцениваемой характеристики.

Таким образом, при $u=5$ и $r=5$ B_{ip}^k принимает максимальное значение 5 при совпадении оценок характеристики всех экспертов и минимальное значение 1 в случае, когда все эксперты дали разные оценки.

Полученные в результате обработки экспертных оценок значения параметров проектов, входящих в программу, представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1
Характеристики проектов (i – номер проекта) программы организации по ТО АТ

i	Название проекта	C_i , тыс. руб.	T_i , дней	E_i , тыс. руб./день
1	Разработка стратегии внедрения технологий искусственного интеллекта в управление процессами ТО воздушных судов (ВС)	3910	147	8,41
2	Внедрение автоматизированной системы планирования особо сложных работ при возникновении нештатных ситуаций	1130	105	4,71
3	Внедрение беспилотных авиационных систем для проведения внешних детальных инспекций ВС	7110	276	15,00
4	Разработка виртуальной системы обучения для технических специалистов	3580	351	5,36
5	Разработка и внедрение инновационной системы обучения ИТП (инженерно-технического персонала) на основе дополненной реальности	3820	264	5,49
6	Разработка комплекса мер по улучшению условий и повышению эффективности работы персонала	1260	60	3,48
7	Создание предиктивной системы мониторинга состояния оборудования для обслуживания ВС	1410	87	5,81
8	Внедрение автоматизированного складского учёта	1640	171	9,43
9	Создание комфортных и функциональных зон отдыха ИТП	1810	66	4,83
10	Интеграция системы учёта данных по ТО с блокчейн-технологией	2750	99	4,78
11	Разработка централизованной цифровой платформы управления документооборотом	690	33	8,85

Окончание таблицы 1

<i>i</i>	Название проекта	<i>C_i</i> , тыс. руб.	<i>T_i</i> , дней	<i>E_i</i> , тыс. руб./день
12	Разработка программы для заполнения документации по ТО	940	51	8,96
13	Внедрение специального передвижного технического средства для заполнения азотом пневмосистем ВС	4310	228	7,49
14	Внедрение комплекса противообледенительной обработки ВС	9470	204	18,15
15	Создание мобильного модуля для ремонта двигателей ВС	5160	231	8,08
16	Создание оптимизированных складских помещений на перроне	2940	234	4,27
17	Внедрение системы учёта электроинструмента на складе с применением специальной маркировки	3910	156	25,07
18	Организация транспортных маршрутов между закрытыми и открытыми участками ремонтной базы аэропорта	6740	261	9,77
19	Разработка платформы для контроля качества и анализа эффективности работы специалистов с использованием искусственного интеллекта	1580	150	14,24
20	Внедрение робота-доставщика небольших запчастей и инструмента для выполнения работ на авиационно-технической базе	3630	111	9,31
21	Разработка платформы для заказа запчастей и оперативной технической поддержки	1460	270	4,92
22	Разработка системы прогнозирования возможных дефектов ВС с применением машинного обучения	1310	111	3,04
23	Автоматизация стандартных процессов обработки документации с использованием ИИ	920	36	10,58
24	Автоматизация процедуры выдачи инструмента в подразделении МТО	790	141	6,13
25	Внедрение мобильного цифрового комплекса для автоматизации процессов работы с документацией при выполнении работ по ТО АТ	1210	105	1,80
26	Внедрение системы по отслеживанию расположения компонентов ВС при выполнении тяжёлых форм технического обслуживания	510	78	1,13
27	Открытие новой линейной станции ТО ВС	2440	102	3,74
28	Организация участка по покраске деталей ВС	15190	420	21,28
29	Организация участка по ремонту компонентов ВС	6740	387	16,90
30	Организация участка по производству запчастей для ремонта ВС	5340	315	14,96

Таблица 2Затраты ресурсов ключевых участников программы, % (*i* – номер проекта, *j* – номер участника)

<i>i</i> \ <i>j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8,2	0	18,9	15,4	8,6	26,8	18,5	0	0	34,7	9,2	0
2	1,8	0	17,1	13,3	2,7	2,1	0	0	4,7	0	2,0	0
3	9,9	0	0	17,5	0	9,9	19,4	40,9	0	23,2	9,6	0
4	3,2	0	4,4	2,2	0	38,7	12,7	0	0	21,6	17,3	0
5	6,7	0	6,9	7,2	0	11,5	13,0	0	0	12,6	19,6	0

Окончание таблицы 2

<i>i \ j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	3,7	0	4,8	4,9	0	0	0	0	6,6	0	7,9	28,7
7	7,9	0	0	0	0	16,4	9,4	18,5	8,4	17,2	0	6,5
8	9,4	0	0	0	0	16,6	0	38,2	0	19,4	0	7,6
9	4,5	0	5,7	5,7	0	0	0	0	18,1	0	17,9	0
10	1,7	0	3,5	1,6	2,1	1,1	1,5	0	0	10,6	0	0
11	7,2	0	0	0	8,5	12,6	8,5	0	0	14,1	0	0
12	8,9	0	7,7	9,3	0	8,0	9,9	0	0	4,1	0	0
13	1,6	2,5	1,6	1,1	0	0	1,3	11,4	3,6	0	0	0
14	1,0	1,7	2,6	0	1,5	0	1,1	10,8	11,0	0	1,5	0
15	2,5	0	4,1	0	5,3	2,3	2,6	12,3	11,1	0	0	0
16	4,1	0	5,1	0	0	3,6	0	14,0	15,4	0	0	12,7
17	9,3	0	9,8	9,9	0	9,2	0	19,6	19,2	8,7	0	19,7
18	5,9	0	6,4	6,3	0	5,2	6,8	17,5	0	2,9	0	19,3
19	9,1	0	8,9	0	9,9	16,5	0	0	0	7,6	9,4	0
20	5,3	0	6,3	0	7,7	4,5	5,8	14,9	0	11,0	0	14,5
21	9,0	0	8,7	0	0	8,7	10,0	7,3	0	6,6	0	7,1
22	6,1	0	6,8	6,4	8,3	5,2	7,7	0	0	12,3	0	0
23	8,6	0	7,3	8,9	0	7,6	9,7	0	0	18,1	0	0
24	7,6	0	7,1	8,3	0	7,5	8,6	5,7	0	14,6	0	6,1
25	3,6	0	4,6	3,5	0	3,2	5,0	13,4	14,8	0	0	0
26	6,3	0	0	6,9	0	5,8	8	3,8	0	3,6	0	2,5
27	2,6	5,5	0	0	6,9	2,6	4,8	23,2	14,7	2,0	3,6	1,2
28	6,8	0	0	7,7	0	7,4	8,3	17,8	18,7	0	9,1	0
29	5,5	6,8	0	6,0	0	4,6	6,6	15,3	0	2,5	8,0	0
30	2,8	6,2	0	1,7	0	2,7	4,9	12,6	0	0	6,6	12,0

Модель управления программой проектов организации по ТО АТ

Моделирование календарного графика реализации проектов программы основано на максимизации целевой функции суммарного приоритета F_i при соблюдении условий достаточности бюджета и организационных ресурсов.

Требуется отобрать приоритетные для запуска проекты с возможностью их параллельной реализации с максимизацией суммарного приоритета

$$F_1 P_1 + F_2 P_2 + \dots + F_n P_n \rightarrow \max,$$

с учётом следующих ограничений:

суммарного бюджета запускаемых проектов C :

$$C_1 P_1 + C_2 P_2 + \dots + C_n P_n \leq C;$$

ресурса каждого j -го участника L_j (всего m ограничений):

$$L_{j1}P_1 + L_{j2}P_2 + \dots + L_{jn}P_n \leq L_j.$$

Переменные P_i принимают два значения: 0, если запуск проекта отклоняется, и 1, если проект инициируется для реализации.

Ограничения бюджета C и ресурсов участников L_j изменяются на каждом последующем этапе запуска приоритизированных проектов.

Допущениями модели являются постоянство эффектов от реализации проектов во времени и их независимость, то есть не учитывается синергия: влияние ранее выполненного проекта на возможное увеличение эффектов последующих проектов. Также принимается, что бюджет программы не увеличивается за счёт полученных эффектов завершаемых проектов.

Введём понятие этапа q программы, который определяется запуском хотя бы одного проекта при условии достаточности бюджета и ресурсов всех участников программы, которые частично восстанавливаются при завершении каждого ранее запущенного проекта.

Бюджет этапа q формируется из остатка бюджета после запуска проектов на предыдущем этапе ΔC^{q-1} и накопленной суммы за время выполнения этапа $q-1$:

$$C^q = \Delta C^{q-1} + ST^{q-1}, \quad (3)$$

где S – доход от операционной деятельности, направленной на пополнение бюджета программы (далее – операционное бюджетирование), руб./день; T^{q-1} – время выполнения этапа $q-1$.

Остаток бюджета на этапе $q-1$:

$$\Delta C^{q-1} = C^{q-1} - \sum_{i=1}^{n_{q-1}} C_i, \quad (4)$$

где n_{q-1} – проекты, запущенные на этапе $q-1$, $n_{q-1} \in n$.

Объединяя (3) и (4), получим

$$C^q = C^{q-1} - \sum_{i=1}^{n_{q-1}} C_i + ST^{q-1}.$$

Ресурс j -го участника на начало этапа приоритизации q равен:

$$L_j^q = 100 - \sum_{i=1}^{n_{q-1}} L_{ji} + \sum_{i=1}^{n'_{q-1}} L_{ji},$$

где n'_{q-1} – проекты, завершённые по окончании этапа $q-1$, $n'_{q-1} \in n$.

Разработка алгоритма моделирования календарного графика выполнения проектов в программной среде Python

Моделирование последовательности выполнения проектов программы реализовано в программной среде Python с использованием ряда стандартных библиотек, в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1.

Исходные характеристики проектов загружаются из файла в формате Excel в виде матрицы, включающей параметры: C_i (тыс. руб.); T_i (рабочих дней); E_i (тыс. руб./день); L_{ij} (%) для каждого проекта программы.

Параметры начального бюджета C^0 (тыс. руб.) и операционного бюджетирования S (тыс. руб./день) вводятся посредством специального интерфейса.

На первом этапе в соответствии с (1) и (2) рассчитываются ресурсоёмкости L_i и критерии приоритизации F_i проектов.

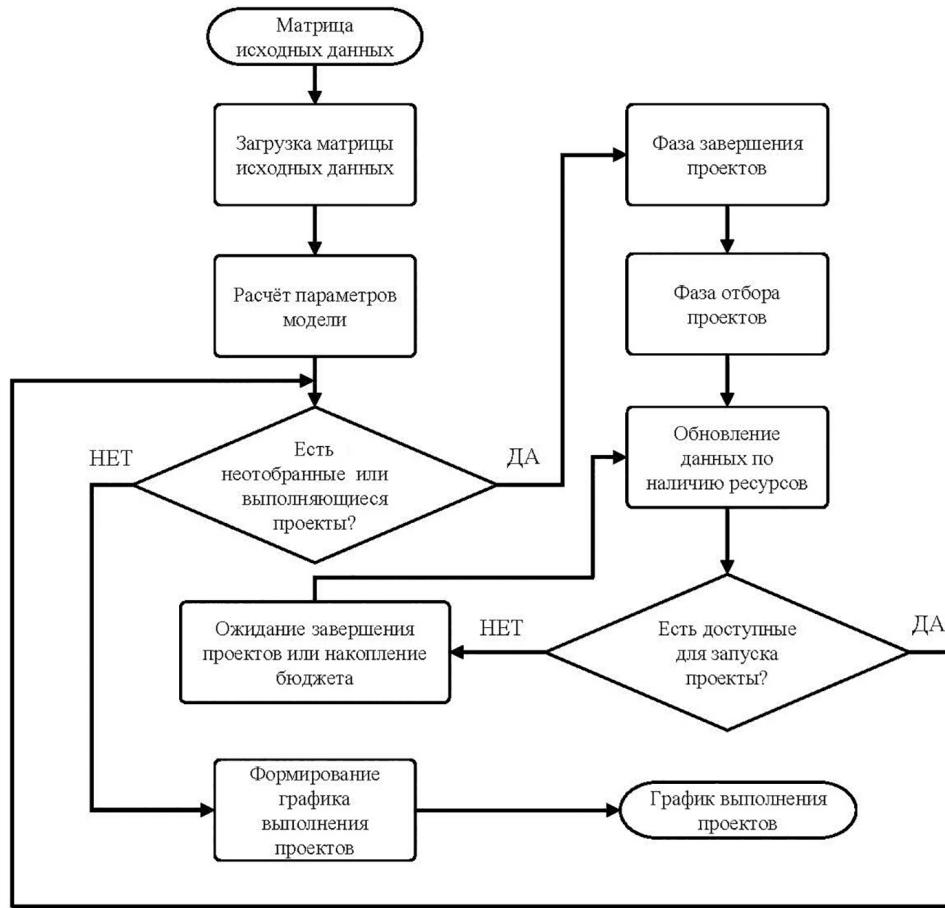


Рис. 1. Алгоритм формирования оптимального графика выполнения проектов программы

Фаза отбора проектов (рис. 1) включает перебор всех комбинаций проектов, удовлетворяющих ограничениям по бюджету и ресурсам каждого участника, и выбор комбинации с максимальным суммарным приоритетом. В качестве дополнительного ограничения задаётся максимальное количество проектов для альтернативных комбинаций (возможности параллельного запуска). Это связано как с управлением сложностями, которые могут возникать в организации даже при достаточности ресурсов, так и с длительностью выполнения расчётов.

Фаза завершения включает проекты, которые достигли своего срока окончания, с высвобождением ранее удерживаемых ими ресурсов участников.

После завершения каждого проекта обновляются доступные ресурсы каждого участника и бюджет с учётом его накопления по времени.

В случае доступности ресурсов для запуска хотя бы одного из проектов, не отобранных ранее, запускается новый цикл отбора. При недостатке бюджета производится его накопление по мере движения по временной шкале, при недостатке ресурса какого-либо из участников завершается очередной по времени проект.

Последним этапом является формирование отчёта и календарного графика выполнения проектов программы после проверки на отсутствие неотобранных и незавершённых проектов.

Результаты моделирования и обсуждение

Моделирование базового календарного плана выполнения программы проводилось с характеристиками, представленными в табл. 1 и табл. 2.

Начальный бюджет был установлен в размере $C^0=5,0$ млн руб., операционное бюджетирование $S=100$ тыс. руб./день. Максимальное количество проектов для параллельного запуска: 5.

Результат моделирования показан на рис. 2. Срок выполнения программы составляет 1473 дня, то есть ориентировочно 4 года.

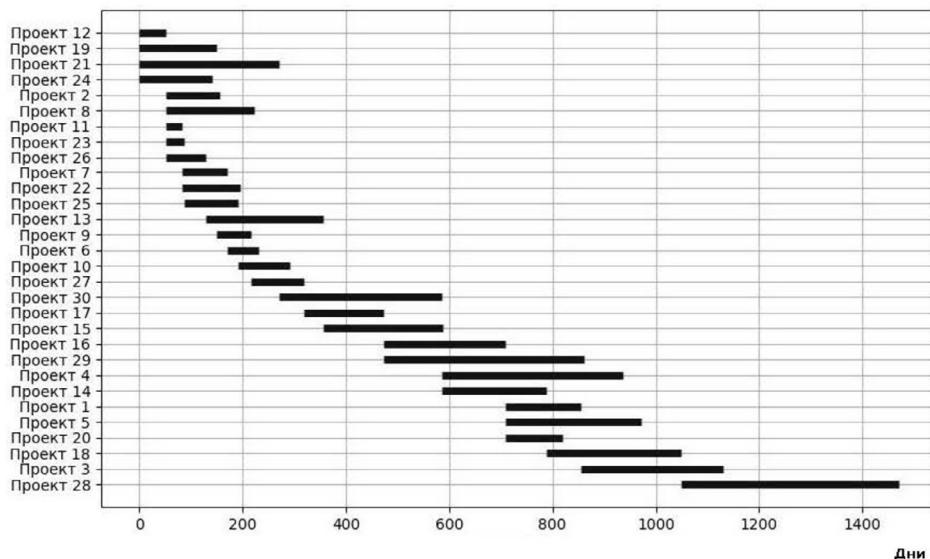


Рис. 2. Базовый календарный план выполнения программы

Одним из параметров, влияющих на срок выполнения программы, является операционное бюджетирование. При увеличении регулярных вложений в проектную деятельность происходит ускорение накопления бюджета, таким образом, ограничения по бюджету в меньшей степени влияют на задержку запуска очередных проектов. При достижении определённой величины операционного бюджетирования на срок выполнения программы будут влиять только ресурсные ограничения участников.

На рис. 3 представлена зависимость срока выполнения программы от операционного бюджетирования, полученная в результате расчётов с изменением данного параметра в исходных данных.

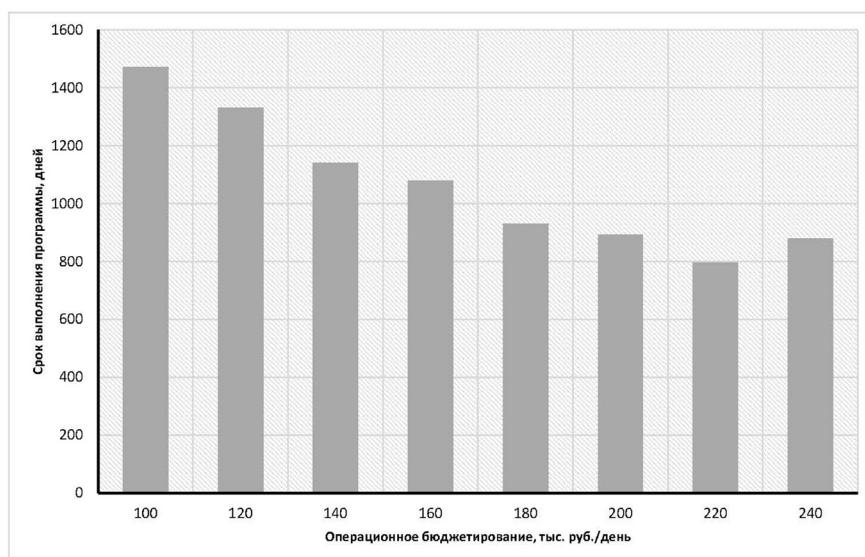


Рис. 3. Моделирование срока выполнения программы при различных значениях параметра операционного бюджетирования

Минимальный срок выполнения программы (797 дней, приблизительно 2 года и 2 месяца) достигается при значении $S = 220$ тыс. руб./день.

Таким образом, возможно сокращение длительности выполнения всех проектов программы в 1,85 раза при увеличении отчислений на проектную деятельность в 2,2 раза. Некоторое увеличение длительности программы при росте финансирования (240 тыс. руб./день) объясняется поливариантностью комбинаций проектов в структуре графика. График выполнения программы с минимальным сроком показан на рис. 4.

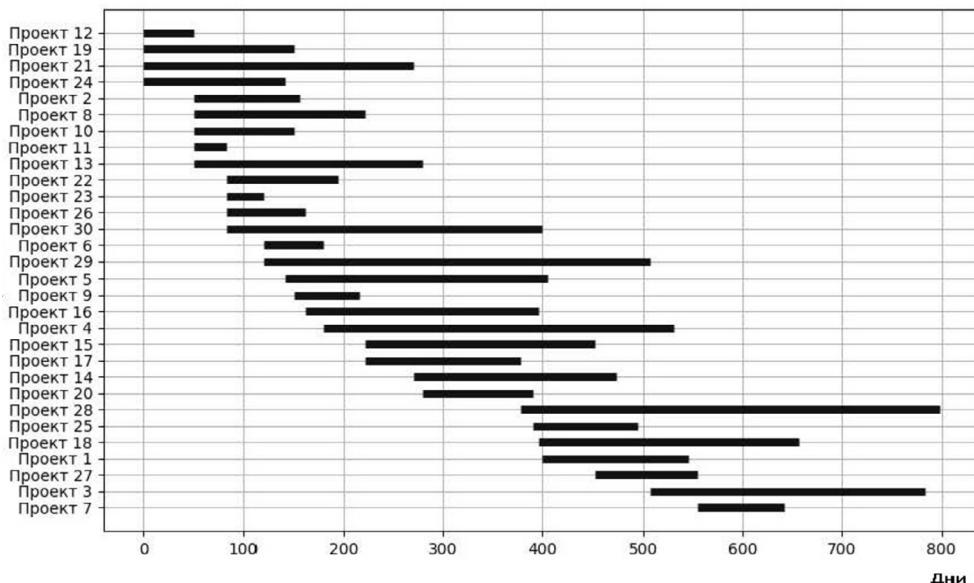


Рис. 4. Календарный план с минимальным сроком выполнения программы

Заключение

Моделирование программы проектов организации по ТО АТ позволяет получить системную информацию об оптимальной последовательности выполнения проектов и возможности их параллельного запуска с учётом ограничений по финансовым и организационным ресурсам. Эта информация может быть использована для принятия обоснованных управленческих решений с учётом различных не учитываемых в модели факторов, оказывающих влияние на важность каких-либо проектов в конкретный момент времени. При этом разработанная методика является гибкой: долгосрочное планирование не исключает возможности проводить моделирование после каждого завершённого проекта, и не только вносить изменения в параметры проектов, но и изменять сам состав программы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Асибаков Р. И., Файнбург Г. Д., Абрамов Б. А. Концепция методики приоритизации проектов в авиационной организации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2024. № 47. С. 109–118.
2. Асибаков Р. И., Ицкович А. А., Файнбург Г. Д. Классификация проектов в организации по техническому обслуживанию воздушных судов в рамках программы совершенствования процессов поддержания лётной годности // Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н. Е. Жуковского. 2024. № 12. С. 471–480.

3. Ицкович А. А., Файнбург Г. Д., Файнбург И. А., Чернов А. О. Система процессов и проектов поддержания лётной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21. № 1. С. 164–173.
4. Аньшин В. М., Демкин И. В., Никонов И. М., Царьков И. Н. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности. Москва: Издательский центр МАТИ, 2007. 117 с.
5. Марон А. И., Файнбург Г. Д. Определение последовательности реализации проектов программы повышения эффективности бизнес-процессов // Бизнес-информатика. 2025. Т. 19. № 1. С. 22–33.
6. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование. Ч. 2. Экспертные оценки. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 486 с.
7. Hughes R. T. Expert judgement as an estimating method. *Information and Software Technology*, 1996, vol. 38, no. 2, pp. 67–75.

References

1. Asibakov R. I., Fainburg G. D., Abramov B. A. The concept of the methodology for prioritizing aviation organization projects. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2024, no. 47, pp. 109–118. (In Russ.)
2. Asibakov R. I., Itskovich A. A., Fainburg G. D. Classification of projects in an aircraft maintenance organization within the framework of the program for improving airworthiness maintenance processes. *Scientific readings on aviation dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky*, 2024, no. 12, pp. 471–480. (In Russ.)
3. Itsikovich A. A., Fainburg G. D., Fainburg I. A., Chernov A. O. The system of processes and projects of the aircraft airworthiness maintenance. *Civil Aviation High Technologies*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 164–173. (In Russ.)
4. Anshin V. M., Demkin I. V., Nikonov I. M., Tsarkov I. N. *Project portfolio management models under uncertainty*. Moscow, MATI Publishing Center, 2007, 117 p. (In Russ.)
5. Maron A. I., Fainburg G. D. Determining the sequence of project implementation for the program of improving the efficiency of business processes. *Business Informatics*, 2025, vol. 19, no. 1, pp. 22–33. (In Russ.)
6. Orlov A. I. *Organizational and economic modeling. Part 2. Expert assessments*. Moscow, Publishing house of Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 2011, 486 p. (In Russ.)
7. Hughes R. T. Expert judgement as an estimating method. *Information and Software Technology*, 1996, vol. 38, no. 2, pp. 67–75.

Информация об авторах

Файнбург Григорий Давидович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, g.fainburg@mstu.ru

Асибаков Ренат Исмагилович, генеральный директор, ООО «Аэропрактика», Москва, Россия, asibakov@gmail.com

Абрамов Борис Александрович, заместитель начальника отдела – эксперт отдела сертификации экземпляра воздушного судна, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, abramov@gosniiga.ru

Файнбург Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, innafayn@mail.ru

Authors information

Fainburg Grigory D., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, g.fainburg@mstu.ru

Asibakov Renat I., General Director, Aeropraktika LLC, Moscow, Russia, asibakov@gmail.com

Abramov Boris A., Deputy Head of Department – Expert of the Department of Certification, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, abramov@gosniiga.ru

Fainburg Inna A., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation Moscow, Russia, innafayn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2025; одобрена после рецензирования 24.07.2025; принята к публикации 29.10.2025.

The article was submitted 17.07.2025; approved after reviewing 24.07.2025; accepted for publication 29.10.2025.

Научная статья
УДК 347.82

О НЕОБХОДИМОСТИ ГАРМОНИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА С МЕЖДУНАРОДНЫМИ СТАНДАРТАМИ ИКАО: МЕХАНИЗМЫ ГАРМОНИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА СООТВЕТСТВИЯ

Г. Е. ГЛУХОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены разработанные в Российской Федерации инструменты для гармонизации национального авиационного законодательства со стандартами Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Проведён анализ эволюции подходов ИКАО к контролю безопасности авиационной деятельности (БАД) – от периодических инспекций к концепции непрерывного мониторинга (МНМ). Установлено, что внедрение российских информационных систем – Системы информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности (СИМБАД) и Информационной системы контроля за обеспечением авиационной безопасности (ИСКАБ) – представляет собой эффективный и своевременный ответ на современные международные требования МНМ, позволяя автоматизировать сбор, обработку и представление данных для обеспечения устойчивого соответствия стандартам ИКАО на национальном уровне. Обоснована необходимость консолидации существующих систем в единую платформу для устранения дублирования функций, оптимизации ресурсов и внедрения интегрального показателя оценки безопасности авиационной деятельности. Предложена математическая модель для расчёта такого показателя, позволяющая комплексно оценивать уровень соответствия стандартам ИКАО.

Ключевые слова: ИКАО, безопасность полётов, авиационная безопасность, гармонизация законодательства, непрерывный мониторинг, СИМБАД, ИСКАБ, интегральный показатель безопасности авиационной деятельности, транспортные и транспортно-технологические системы страны

Для цитирования: Глухов Г. Е. О необходимости гармонизации национального авиационного законодательства с международными стандартами ИКАО: механизмы гармонизации и мониторинга соответствия // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 80–88.

NECESSITY OF HARMONIZATION OF NATIONAL AVIATION LEGISLATION WITH ICAO INTERNATIONAL STANDARDS: HARMONIZATION AND COMPLIANCE MONITORING MECHANISMS

G. E. GLUKHOV

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

Abstract. The article examines the tools developed in the Russian Federation for harmonizing national aviation legislation with the standards of the International Civil Aviation Organization (ICAO). An analysis is conducted of the evolution of ICAO's approaches to the oversight of aviation safety (Aviation Safety Oversight) – from periodic inspections to the concept of Continuous Monitoring Approach (CMA). It is established that the implementation of Russian information systems – the System of Information Monitoring of Aviation Safety

and the Information System for Control of Aviation Security – represents an effective and timely response to the modern international CMA requirements, enabling automation of the collection, processing, and presentation of data to ensure sustainable compliance with ICAO standards at the national level. The necessity for consolidating existing systems into a single platform to eliminate functional duplication, optimize resources, and introduce an integrated indicator for assessing aviation safety is substantiated. A mathematical model is proposed for calculating this indicator, allowing a comprehensive evaluation of compliance with ICAO standards.

Keywords: ICAO, flight safety, aviation security, legislative harmonization, continuous monitoring, integral safety indicator, transport and transport-technological systems of the country

For citation: Glukhov G. E. Necessity of harmonization of national aviation legislation with ICAO international standards: harmonization and compliance monitoring mechanisms. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 80–88. (In Russ.)

Введение

В рамках темы настоящей статьи в предыдущей работе [1] была детально рассмотрена критическая важность гармонизации национального авиационного законодательства Российской Федерации со Стандартами и Рекомендуемой практикой (SARPs) ИКАО, а также проанализированы последствия несоответствия. Настоящая статья является логическим продолжением данного исследования и переходит от теоретического обоснования к анализу практических механизмов, созданных в России для решения этой задачи. Цель статьи – продемонстрировать, что Российская Федерация не только полностью отвечает требованиям ИКАО в части гармонизации национального авиационного законодательства и непрерывного мониторинга его соответствия международным стандартам, но и создала собственные эффективные инструменты (СИМБАД и ИСКАБ), учитывающие специфику государства в области безопасности авиационной деятельности. Кроме того, работа по совершенствованию этих систем продолжается: планируемая консолидация СИМБАД и ИСКАБ в единую платформу направлена на дальнейшую оптимизацию процессов мониторинга и повышение общей эффективности государственной системы управления безопасностью авиационной деятельности в гражданской авиации.

Российские инструменты гармонизации авиационного законодательства

Для эффективного выполнения требований ИКАО и обеспечения непрерывного мониторинга соответствия национального законодательства международным стандартам в Российской Федерации были разработаны и внедрены две специализированные информационные системы:

1. Система информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности, предназначенная для контроля в области безопасности полётов (БП).

2. Информационная система контроля в сфере авиационной безопасности, сфокусированная на вопросах авиационной безопасности (АБ).

Детальный анализ архитектуры, функциональных возможностей и этапов реализации данных систем был представлен авторами в ряде отчётов и публикаций [2–4].

Механизмы непрерывного мониторинга ИКАО и российская практика

Подход ИКАО к контролю за обеспечением безопасности эволюционировал от проведения периодических комплексных проверок в рамках Универсальной программы проверок организаций контроля за обеспечением безопасности полётов (УППКБП) и авиационной безопасности (УППАБ) к концепции непрерывного мониторинга. Этот переход потребовал

от государств-членов создания постоянно действующих механизмов сбора, анализа и представления данных о состоянии национальной системы БАД.

Внедрение в России СИМБАД и ИСКАБ стало практическим ответом на данный вызов. Эти системы автоматизировали процесс сбора данных от предприятий отрасли, их анализа и формирования отчётности в форматах, совместимых с онлайн-платформой ИКАО. Заложенный функционал данных систем позволяет авиационным властям России в режиме реального времени отслеживать уровень внедрения стандартов ИКАО, выявлять проблемные области и своевременно разрабатывать корректирующие планы действий, что полностью соответствует методологии МНМ.

Эффективность российских инструментов в области БАД

Эффективность разработанных инструментов подтверждается конкретными результатами проверок ИКАО. Так, до внедрения СИМБАД и ИСКАБ подготовка к аудиту представляла собой трудоёмкий и неэффективный процесс: рабочие группы вручную заполняли табличные формы по сотням протокольных вопросов (PQ), что занимало большое количество времени, приводило к значительному проценту ошибок и создавало серьёзную нагрузку на национального координатора, которому приходилось сводить воедино разрозненные и зачастую противоречивые данные.

Активное использование СИМБАД и ИСКАБ в ходе подготовки к аудиту ИКАО по БП в 2015 году и АБ в 2019 году позволило кардинально изменить ситуацию. Автоматизация процесса обеспечила централизованную координацию рабочих групп, участвовавших в проверке, и значительно сократила трудозатраты. Система сняла с национального координатора необходимость многократной ручной проверки ответов, позволив ему сосредоточиться на анализе данных, разработке стратегических корректирующих мер и оперативном взаимодействии с аудиторами ИКАО.

После проверок 2015 и 2019 годов удалось достичь показателя эффективного внедрения стандартов ИКАО (Effective Implementation, EI) по БП на уровне 70,58 %, что превышает среднемировой уровень (~69,5 %) [5], а по АБ показатель соответствия РФ стандартам вырос до 94,14 %, значительно превысив среднемировой уровень 71,7 % [6] (рис. 1).

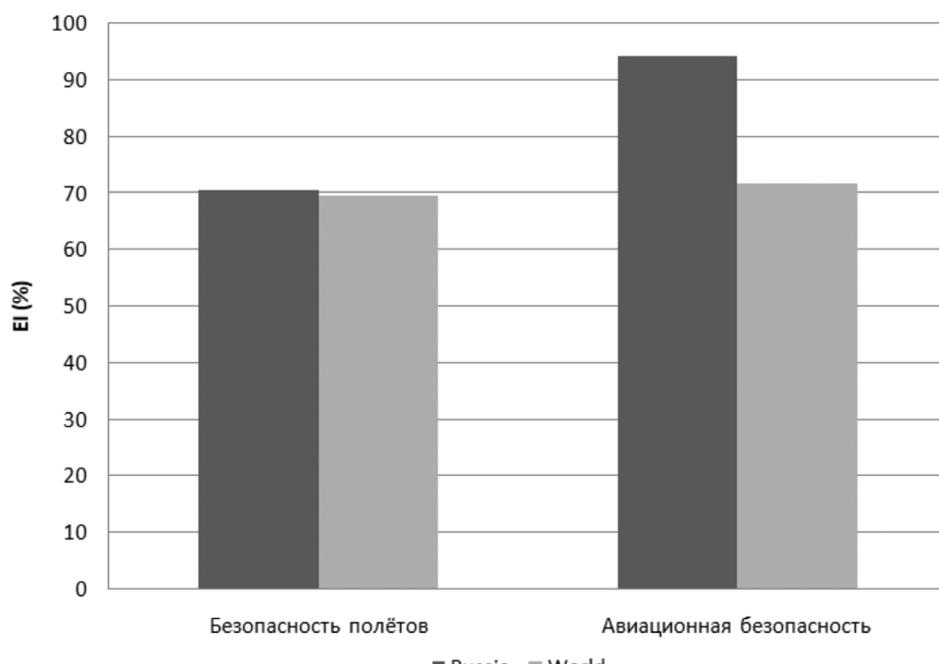


Рис. 1. Сравнение показателя EI России и среднемирового уровня по БП и АБ

Данные результаты стали возможны благодаря комплексу факторов, важный вклад в которые внесли СИМБАД и ИСКАБ, которые повысили координацию и прозрачность процессов подготовки, минимизировали риск несогласованности информации и обеспечили необходимую оперативность передачи данных для аудита, что способствовало достижению высоких показателей ЕІ наряду с совершенствованием нормативной базы и повышением квалификации специалистов отрасли.

Проблемы дублирования и необходимость консолидированного подхода к системам мониторинга

Несмотря на доказанную эффективность, параллельное функционирование двух систем (СИМБАД и ИСКАБ) привело к возникновению отдельных организационно-технических затруднений, требующих дальнейшего совершенствования архитектуры информационного сопровождения безопасности авиационной деятельности. Во-первых, наблюдается значительное функциональное дублирование: обе системы реализуют схожие алгоритмы сбора, обработки и анализа данных. Во-вторых, в системах пересекается достаточное количество пользователей (рис. 2), что создаёт дополнительную когнитивную нагрузку и снижает операционную эффективность труда специалистов, вынужденных постоянно переключаться между двумя интерфейсами с различной логикой работы.

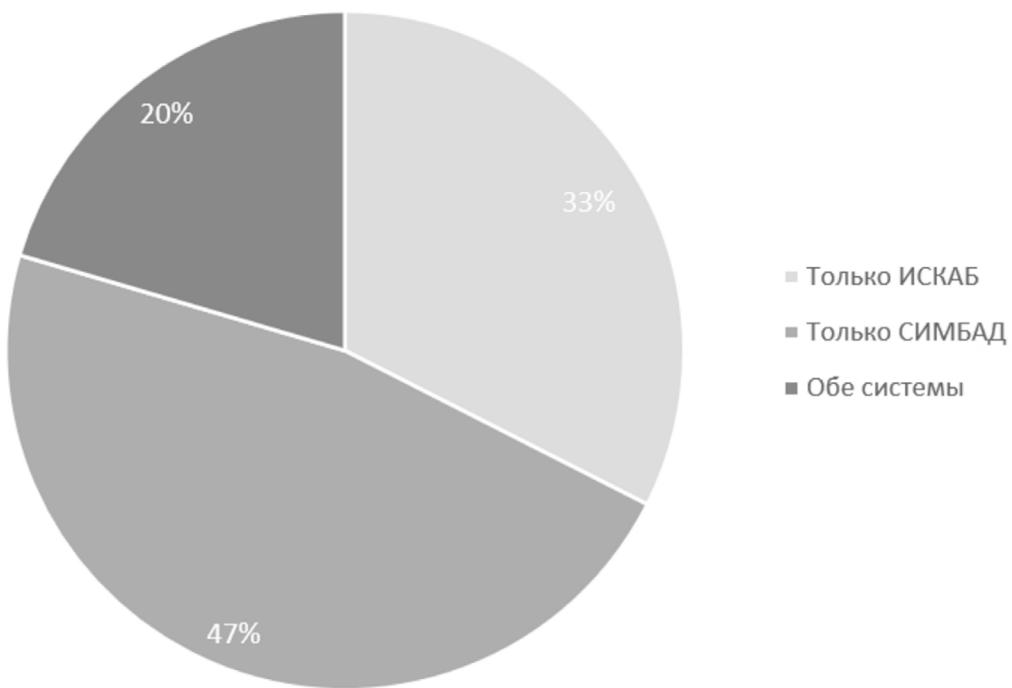


Рис. 2. Пересечение пользователей в ИСКАБ и СИМБАД

В-третьих, поддержание и развитие двух отдельных программно-аппаратных комплексов требует значительных финансовых затрат на, по сути, дублирующее техническое сопровождение. Анализ показывает, что консолидация систем позволит сократить расходы на сопровождение и повысить удобство взаимодействия для пользователей, обеспечив единый интерфейс, оптимизацию процедур и реализацию комплексного интегрального индикатора БАД для всесторонней и объективной оценки уровня соответствия стандартам ИКАО.

Обе системы решают концептуально идентичные задачи – обеспечение соответствия национального законодательства международным стандартам ИКАО в рамках МНМ,

различаясь лишь предметной областью (БП и АБ). При этом структура критических элементов государственной системы контроля, методология оценки ЕІ, процедуры взаимодействия с ИКАО являются практически идентичными для обеих программ – УППКБП-МНМ и УППАБ-МНМ.

Значимое принципиальное различие между двумя направлениями отражено в официальных документах ИКАО. В Руководстве [7] подчёркивается необходимость максимальной прозрачности процессов в области БП для обмена данными и обеспечения открытого контроля, тогда как в Приложении [8] оговариваются строгие ограничения по доступу к сведениям об АБ в силу её конфиденциального характера.

Таким образом, при консолидации систем необходимо предусмотреть два отдельных контура информационного обмена:

- открытый контур для данных по БП, обеспечивающий прозрачность и широкую доступность информации [7];
- закрытый контур для данных по АБ, где доступ ограничен уполномоченными лицами и защищён в соответствии с требованиями [8].

Это позволит сохранить баланс между необходимостью свободного обмена данными для улучшения безопасности и обязательством по защите чувствительной информации, связанной с АБ.

Предлагаемая модель консолидированной системы

На основе проведённого анализа предлагается провести оптимизацию существующих инструментов путём их консолидации в единую интегрированную систему. В качестве базовой платформы целесообразно использовать СИМБАД как более комплексное решение, дополнив его функционалом ИСКАБ в виде отдельного модуля «Авиационная безопасность».

Кроме того, в соответствии с ГОСТ Р 57240-2016¹, термин «авиационная деятельность» охватывает не только непосредственно полёты и их безопасность, но и весь комплекс процессов, обеспечивающих функционирование воздушного транспорта. В частности, авиационная деятельность включает такие направления как АБ, БП, производственная безопасность, информационная безопасность, экологическая безопасность. Название «Система информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности» отражает широкий охват задач по АБ и БП с возможностью дальнейшего охвата производственной, информационной и экологической безопасности (рис. 3).

Такая модель позволит:

- создать единое информационное пространство для мониторинга соответствия стандартам ИКАО как в области БП, так и в области АБ;
- исключить дублирование функций и данных;
- обеспечить расчёт интегрального показателя эффективности реализации БАД;
- оптимизировать работу экспертного сообщества за счёт использования единого интерфейса и общей базы знаний;
- существенно сократить затраты на техническую поддержку и дальнейшее развитие системы.

В результате будет сформирован единый, более мощный и экономически эффективный инструмент для решения задач гармонизации национального законодательства с международными требованиями, обеспечивающий комплексную оценку состояния БАД через соответствующий интегральный показатель.

¹ ГОСТ Р 57240-2016. Воздушный транспорт. Менеджмент безопасности авиационной деятельности в гражданской авиации. Основные положения.



Рис. 3. Модель консолидированной системы СИМБАД

Математическая модель оценки эффективности и интегральный показатель БАД

Для оценки эффективности системы надзора за АБ и БП ИКАО использует два ключевых показателя: Индикатор устойчивости и Индикатор соответствия [6, 9–11]. Важно понимать различия в их расчёте для комплексного анализа.

Индикатор устойчивости (Sustainability Indicator): Усреднение по критическим элементам

Индикатор устойчивости рассчитывается как среднее арифметическое показателей эффективного внедрения по каждому из восьми критических элементов². Этот метод позволяет оценить

² Критические элементы, или Critical Elements (CE), – это фундаментальные блоки, которые ИКАО определила как основу для построения и поддержания эффективной системы государственного надзора за АБ и БП.

сбалансированность государственной системы надзора, показывая, насколько равномерно развиты все восемь её ключевых компонентов. Однако он имеет статистическую особенность: поскольку критические элементы содержат разное количество протокольных вопросов (PQ) – от 8 в СЕ-8 до 105 в СЕ-4 – элемент с меньшим числом требований имеет такой же вес в итоговой оценке, как и более комплексный элемент. Это может приводить к искажению общей картины, если высокие показатели по «лёгким» элементам маскируют недостатки в более значимых областях.

Индикатор соответствия (Compliance Indicator): Расчёт на основе общего числа вопросов

Второй официальный показатель ИКАО – это Индикатор соответствия SARPs, который рассчитывается на основе общего числа «удовлетворительных» ответов на протокольные вопросы (PQ):

$$EI = \frac{Ns}{Nt} \cdot 100 \%,$$

где Ns – число PQ, оценённых как «удовлетворительно (satisfactory)»; Nt – общее число (total) применимых PQ.

Этот метод даёт более точное представление о выполнении конкретных требований стандартов ИКАО, так как каждый протокольный вопрос вносит равный вклад в итоговую оценку. Он позволяет выявить общий процент несоответствий на самом детальном уровне и является ключевым для отчётности перед ИКАО по выполнению стандартов.

Для всесторонней оценки национальной системы по-прежнему важно анализировать оба показателя ИКАО: Индикатор устойчивости для оценки сбалансированности системы и Индикатор соответствия для оценки выполнения конкретных требований. Однако при создании единого интегрального показателя $EI_{БАД}$ для консолидированной системы, объединяющей БП и АБ, методология расчёта Индикатора устойчивости неприменима из-за риска искажения данных.

Интегральный показатель для консолидированной системы

При консолидации СИМБАД и ИСКАБ в единую интегрированную платформу мониторинга соответствия международным стандартам ИКАО целесообразно ввести интегральный показатель эффективности реализации безопасности авиационной деятельности $EI_{БАД}$, который учитывает обе области – БП и АБ.

$$EI_{БАД} = \frac{Ns_{БП} + Ns_{АБ}}{Nt_{БП} + Nt_{АБ}} \cdot 100 \%.$$

Альтернативно для управленческих целей может использоваться показатель с заданными весами α и β :

$$EI_{БАД} = \alpha EI_{БП} + \beta EI_{АБ},$$

где $EI_{БП}$ – показатель эффективного внедрения стандартов в области БП; $EI_{АБ}$ – показатель эффективного внедрения стандартов в области АБ; α и β – весовые коэффициенты, отражающие приоритетность каждой из областей в общей системе БАД, при этом $\alpha + \beta = 1$.

Возможно, такой альтернативный показатель позволит сформировать национальный индекс с учётом приоритетов в различных областях БАД.

Применение данной математической модели в консолидированной системе СИМБАД позволяет не только получать объективную количественную оценку текущего состояния соответствия стандартам ИКАО по каждой из областей, но и рассчитывать интегральный показатель эффективности национальной системы БАД в целом. Это является ключевым элементом проактивного управления безопасностью БАД и обеспечивает возможность прогнозирования результатов предстоящих проверок ИКАО.

Заключение

Российская Федерация не только полностью соответствует требованиям ИКАО в части гармонизации авиационного законодательства с международными стандартами и МНМ в рамках УППАБ и УППКБП, но и создала собственные эффективные информационные системы СИМБАД и ИСКАБ, учитывающие национальную специфику в области БАД. Результаты проверок ИКАО подтверждают высокую зрелость российской системы государственного контроля: показатель эффективной реализации EI по БП превышает среднемировой уровень, а в области АБ Россия демонстрирует заметное опережение глобальных показателей.

Тем не менее для дальнейшего повышения устойчивости и эффективности государственной системы управления БАД целесообразна оптимизация действующих инструментов. Консолидация СИМБАД и ИСКАБ на единой платформе позволит устраниить дублирование функций, оптимизировать использование ресурсов и создать более гибкий механизм для оперативного реагирования на изменения в международных стандартах. Это особенно актуально в преддверии следующего планового аудита в рамках МНМ УППАБ, который ожидается в 2026 году и потребует демонстрации не только высоких текущих показателей EI, но и устойчивости системы мониторинга в долгосрочной перспективе.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Глухов Г. Е. О необходимости гармонизации национального авиационного законодательства с международными стандартами ИКАО: требования и последствия несоответствия // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 51. С. 83–92.
2. Благоразумов А. К., Глухов Г. Е., Кирпичев И. Г. Разработка системы информационного мониторинга авиационной безопасности // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 218. С. 67–70.
3. Разработка системы информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности, обеспечивающей функционирование механизма непрерывного мониторинга в рамках Универсальной программы проверок организации контроля за обеспечением безопасности полётов (МНМ УППКБП) в Российской Федерации: Отчёт о НИР. Москва: ГосНИИ ГА, 2015.
4. Разработка научно-обоснованных подходов к созданию системы непрерывного мониторинга соответствия стандартов и рекомендуемой практики ИКАО требованиям нормативных документов Российской Федерации в области контроля за обеспечением авиационной безопасности в рамках механизма непрерывного мониторинга универсальной программы проверок в сфере обеспечения авиационной безопасности: Отчёт о НИР. Москва: ГосНИИ ГА, 2017.
5. Final report of the USOAP CMA audit of the civil aviation system of the Russian Federation (19–30 October 2015). Montreal, ICAO, 2016.
6. The Universal Security Audit Programme Continuous Monitoring Approach: Analysis of Audit Results, Reporting period ending 31 December 2024, Fourteenth Edition. Montreal, ICAO, 2024, 36 p.
7. ИКАО Doc 9859. Руководство по управлению безопасностью (SMM). 4-е изд. ИКАО, 2018. 218 с.
8. Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации. Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Изд. 12. Монреаль: ИКАО, 2022. 74 с.
9. ИКАО Doc 9735. Руководство по непрерывному мониторингу в рамках Универсальной программы проверок организации контроля за обеспечением безопасности полётов. 5-е изд. ИКАО, 2023. 136 с.
10. ИКАО Doc 9807. Руководство по непрерывному мониторингу в рамках Универсальной программы проверок в сфере обеспечения авиационной безопасности. 3-е изд. ИКАО, 2021. 120 с.

11. ИКАО Doc 10047. Руководство по организации контроля за обеспечением авиационной безопасности. Создание государственной системы контроля за обеспечением авиационной безопасности и управление этой системой. Издание второе. ИКАО, 2021. 56 с.

References

1. Glukhov G. E. Necessity of harmonization of national aviation legislation with ICAO international standards: requirements and consequences of non-compliance. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 51, pp. 83–92. (In Russ.)
2. Blagorazumov A. K., Glukhov G. E., Kirichev I. G. Development of the aviation safety information monitoring system. *Civil Aviation High Technologies*, 2015, no. 218, pp. 67–70. (In Russ.)
3. Development of an information monitoring system for aviation activity safety, ensuring the functioning of the continuous monitoring mechanism within the framework of the Universal Safety Oversight Audit Programme in the Russian Federation. Research report. Moscow, GosNII GA Publ., 2015. (In Russ.)
4. Development of scientifically based approaches to creating a system for continuous monitoring of compliance of ICAO standards and recommended practices with the requirements of regulatory documents of the Russian Federation in the field of aviation security oversight within the framework of the continuous monitoring mechanism of the Universal Security Audit Programme. Research report. Moscow, GosNII GA Publ., 2017. (In Russ.)
5. Final report of the USOAP CMA audit of the civil aviation system of the Russian Federation (19–30 October 2015). Montreal, ICAO, 2016.
6. The Universal Security Audit Programme Continuous Monitoring Approach (USAP-CMA) and its Objective. Reporting period ending 31 December 2024, Fourteenth Edition. Montreal, ICAO, 2024, 36 p.
7. ICAO Doc 9859. Safety Management Manual. Fourth Ed. ICAO, 2018, 182 p.
8. Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Aviation Security. Safeguarding International Civil Aviation against Acts of Unlawful Interference, Twelfth Ed. Montreal, ICAO, 2022, 66 p.
9. ICAO Doc 9735. Universal Safety Oversight Audit Programme Continuous Monitoring Manual. Fifth Ed. ICAO, 2023, 120 p.
10. ICAO Doc 9807. Universal Security Audit Programme Continuous Monitoring Manual. Third Ed. ICAO, 2021, 104 p.
11. ICAO Doc 10047. Aviation Security Oversight Manual: The Establishment and Management of a State Aviation Security Oversight System. 2nd Edition, ICAO, 2021, 50 p.

Информация об авторе

Глухов Геннадий Евгеньевич, заместитель директора – начальник отдела Информационно-аналитического центра, эксперт Системы добровольной сертификации объектов гражданской авиации (СДС ОГА), Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, gge@gosniiga.ru

Author information

Glukhov Gennady E., Deputy Director – Head of the Information and Analytical Center Department, Expert of the Voluntary Certification System for Civil Aviation Security (SDS OGA), The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, gge@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 15.10.2025; одобрена после рецензирования 21.10.2025; принята к публикации 06.11.2025.
The article was submitted 15.10.2025; approved after reviewing 21.10.2025; accepted for publication 06.11.2025.

Научная статья
УДК 665.767

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ КАЧЕСТВА ПРОТИВОВОДОКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Л. В. КОВБА², С. А. БУРАЯ¹, С. И. ПОПЛЕТЕЕВ¹, О. Б. АЗЖЕУРОВА¹, Е. С. АЗЖЕУРОВА¹

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

² Газпромнефть-Аэро, Москва, Россия

Аннотация. Одним из факторов, оказывающих влияние на безопасность полётов, является присутствие кристаллов льда в топливном баке воздушного судна (ВС). Для предотвращения их образования применяется присадка – противоводокристаллизационная жидкость (ПВКЖ), эффективность и функциональное действие которой зависят в основном от состава и качества применяемой присадки. В процессе хранения и эксплуатации противоводокристаллизационные жидкости в силу своей гигроскопичности и реакционной способности легко окисляются и могут вступать во взаимодействие с конструкционными материалами технологического оборудования, что впоследствии приводит к ухудшению качества, потере кондиционности присадки, возможному загрязнению авиационного топлива и нарушению работы топливной системы ВС. Начало процесса изменения качества ПВКЖ обычно характеризуется наличием в ней следовых количеств ионов металлов, преимущественно соединений железа. Для определения содержания соединений металлов в ПВКЖ применяется метод качественной оценки в соответствии со стандартом на продукт. Отсутствие количественной характеристики содержания металлов в ПВКЖ не позволяло установить для него значения допустимых и браковочных норм. В настоящей работе дана количественная характеристика наличия ионов железа в ПВКЖ, определяющая допустимые и браковочные нормы содержания металла. Исследована возможность применения метода определения концентрации ионов железа (Π) в ПВКЖ в предприятиях гражданской авиации для прогнозирования срока применения по назначению и определения сроков хранения в реальных условиях эксплуатации ПВКЖ.

Ключевые слова: противоводокристаллизационная жидкость, содержание растворимых соединений металлов, авиационные топлива, ионы железа (Π), гексацианоферрат калия, транспортно-технологические системы страны

Для цитирования: Ковба Л. В., Бурая С. А., Поплетеев С. И., Азжеурова О. Б., Азжеурова Е. С. Актуальные вопросы качества противоводокристаллизационных жидкостей // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 89–99.

THE TOPICAL QUALITY ISSUES OF FUEL SYSTEM ICING INHIBITORS

Л. В. КОВБА², С. А. БУРАЯ¹, С. И. ПОПЛЕТЕЕВ¹, О. Б. АЗЖЕУРОВА¹, Е. С. АЗЖЕУРОВА¹

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

² Gazpromneft-Aero, Moscow, Russia

Abstract. The presence of ice crystals in aircraft fuel tanks is one of the key factors affecting flight safety. Fuel system icing inhibitors (FSII) are used to prevent their formation. The effectiveness and functionality of these additives primarily depend on their composition and quality. Due to their hygroscopic and reactive

nature, FSIIIs are prone to oxidation during storage and use and may interact with the structural materials of technological equipment. This can lead to degradation of additive quality, loss of performance, potential aviation fuel contamination, and malfunction of the aircraft fuel system. The early stages of FSII degradation are typically indicated by trace amounts of metal ions, predominantly iron compounds. Currently, only qualitative methods based on product standards are used to detect the presence of soluble metal compounds. The absence of quantitative criteria forbade from setting the acceptable and rejection limits of metal content in FSIIIs. This study presents a quantitative assessment of iron ion content in FSII, establishing permissible and rejection thresholds. It also investigates the applicability of a method for determining the concentration of ferrous ions (II^+) in civil aviation facilities to predict service life, and evaluate storage conditions under real-world operational scenarios.

Keywords: fuel system icing inhibitors, determination of soluble metal compounds content, aviation fuel, iron ions (II^+), potassium hexacyanoferrate, transport-technological systems of the country

For citation: Kovba L.V., Buraya S. A., Poplетеев S. I., Azzheurova O. B., Azzheurova E. S. The topical quality issues of fuel system icing inhibitors. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 89–99. (In Russ.)

Введение

Для улучшения эксплуатационных свойств и характеристик авиационных горюче-смазочных материалов (авиагСМ) во всём мире широко используются присадки – вещества, которые добавляют в незначительных количествах для улучшения свойств авиаГСМ. Основным требованием к присадкам является высокая эффективность основного действия при сохранении качества авиаГСМ по остальным показателям. Присадки к реактивным топливам для газотурбинных двигателей (ГТД) по своему назначению делят на антиокислительные, противоизносные, антистатические, противоводокристаллические и ряд других.

Настоящая работа посвящена рассмотрению проблемных вопросов применения противоизносных присадок.

Строение молекулы и свойства ПВКЖ

Известно, что в топливе всегда содержится вода, которая является опасным спутником реактивного топлива. Вода в топливе может находиться в растворённом, эмульсионном, свободном состояниях. Механизмы и скорости насыщения водой обусловлены химическим составом топлива, технологическими процессами его производства, условиями эксплуатации, транспортировки, хранения и др.

При охлаждении топлива в полёте на большой высоте и при наборе высоты вода может выделяться в виде мелких капель, которые при отрицательных температурах переходят из жидкого состояния в кристаллическое. Прежде всего это происходит в местах соприкосновения авиаГСМ с твёрдой поверхностью, а именно на топливном фильтре перед насосом, что приводит к снижению пропускной способности фильтра, нарушению работы топливной системы самолёта и в конечном итоге может привести к отказу двигателя.

Для предотвращения образования кристаллов льда в топливной системе ВС в качестве присадок к авиатопливам для реактивных двигателей (РД) применяют ПВКЖ, что снижает вероятность обмерзания топливных фильтров, не имеющих системы подогрева топлива перед фильтрами. Присадку вводят в топливо преимущественно при температуре наружного воздуха ниже плюс 5 °С.

В настоящее время на ВС гражданской авиации Российской Федерации используют следующие марки ПВКЖ:

- ПВКЖ «И-М»: смесь этилцеллозольва высшего сорта и метанола, взятых в равных весовых частях, соответствующая ОСТ 54-3-175-73-99 с изменением 1¹;

- ПВКЖ «И», соответствующая нормативным документам ГОСТ 8313 с изменением 1² и Рекомендациям³.

Эксплуатационные свойства ПВКЖ основаны на её способности растворяться в топливе и смешиваться с водой в любых концентрациях. По этой причине смесь ПВКЖ с водой легко выделяется из топлива при определённых условиях. Свойства ПВКЖ объясняются её химическим строением.

Способность молекул органического вещества образовывать водородные связи с молекулами воды обусловлена наличием в их составе полярных функциональных групп, таких как $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$ и других.

В составе молекулы ПВК жидкости присутствует гидроксогруппа ($-\text{OH}$) (рис. 1), которая вызывает практически неограниченную растворимость в воде ПВКЖ за счёт образования водородных связей (рис. 2).

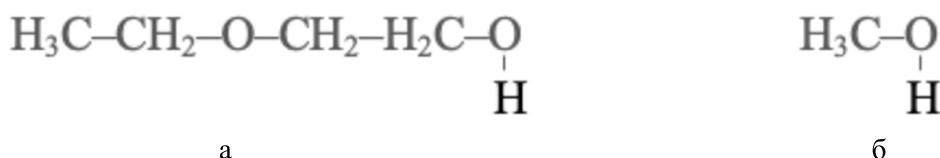


Рис. 1. Строение молекул ПВКЖ: этилцеллозольв – а; метанол – б

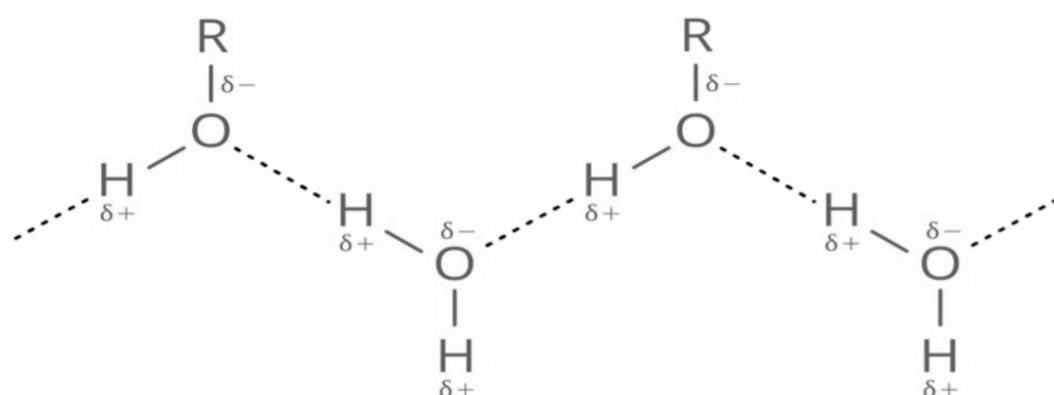


Рис. 2. Образование водородных связей между молекулами ПВКЖ и воды: δ – частичный заряд (смещение общей электронной пары), R – радикал (частица, содержащая один или несколько неспаренных электронов на внешней электронной оболочке)

Рассмотренные выше строение и полярность молекулы ПВКЖ объясняют эксплуатационные и функциональные свойства присадки.

Применение и оценка качества ПВКЖ

Качество применяемых в гражданской авиации ПВКЖ регламентируется нормативными документами и подлежит строгому контролю. Загрязнённая или обводнённая присадка теряет

¹ ГОСТ 54-3-175-73-99. Авиатопливообеспечение. Применение авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей. Противоводокристаллизационная жидкость «И-М». Технические требования (с изменением 1). 2000.

² ГОСТ 8313. Этилцеллозольв технический. Технические условия (с изменением 1).

³ Рекомендации по применению авиаГСМ и СЖ. НЦ-28. Издание 2, август 2021 г. ГосНИИ ГА, 2021.

свои функциональные свойства. Кроме того, загрязнения (примеси), привнесённые присадкой в топливо, могут напрямую влиять на эксплуатационные характеристики топлива и ставить под угрозу прокачиваемость через фильтры и бесперебойную работу топливо-регулирующей аппаратуры, негативно влиять на коррозионные свойства, термоокислительную стабильность и другие характеристики топлива. Применение ПВКЖ с показателями, выходящими за пределы требований нормативных документов, недопустимо.

Опыт эксплуатации свидетельствует о частых фактах потери кондиционности ПВКЖ в пределах гарантийного срока хранения, в том числе по причине ухудшения показателя «содержание растворимых соединений металлов». Рассмотрим некоторые возможные причины потери качества присадки.

В процессе хранения и эксплуатации ПВКЖ контактируют с металлическими поверхностями и вследствие значительной реакционной способности, которая обусловлена наличием в составе эфирной и спиртовой функциональных групп [1], ПВКЖ при определённых условиях могут вступать во взаимодействие с материалами средств транспортировки и технологического оборудования. В результате химических превращений, связанных с особенностями строения, в ПВКЖ накапливаются посторонние вещества – примеси или загрязнения.

Согласно нормативным документам ПВКЖ рекомендуется хранить в герметичных стальных резервуарах с применением влагопоглотителя или использовать для длительного хранения ёмкости из нержавеющей стали, поскольку нержавеющая сталь обладает коррозионной стойкостью и химической инертностью. Сегодня на рынке предложены практически безальтернативно стальные бочки (ёмкости), выпущенные по ГОСТ 13950⁴, тогда как стандартом на ПВКЖ регламентированы ёмкости, соответствующие ГОСТ 6247⁵. В результате в местах применения (на предприятиях авиатопливообеспечения) ПВКЖ хранят в ёмкостях, не предусмотренных стандартом. Нарушение требований стандарта приводит к изменению качества присадки, в том числе к накоплению продуктов окисления и растворимых соединений металлов.

Следует отметить, что на качество жидкости, хранящейся в ёмкости, может оказывать влияние не только состав стали, из которой изготовлена ёмкость, но и комплектующие к этой ёмкости, например, прокладочные материалы. В 2024 году при проведении контроля качества на месте применения жидкости, хранящейся в ёмкости из нержавеющей стали, был выявлен факт наличия в ПВКЖ посторонних органических веществ с последующим исключением применения этой ПВКЖ по прямому назначению ввиду некондиционности присадки. Анализ причин потери качества ПВКЖ в гарантийный срок хранения показал, что загрязнение посторонней органикой возникло в результате взаимодействия присадки с пластиковым прокладочным материалом. В качестве уплотнительного материала был использован пластик, растворяющийся в ПВКЖ (рис. 3).

Согласно нормативному документу на продукт в качестве прокладочных материалов для тары необходимо использовать пластмассы на основе полиэтилена (ПОВ-50, -67, -90), паронит по ГОСТ 481⁶. Установить марку применённого в этом случае пластикового герметика не представилось возможным.

Ещё одной причиной нестабильности физико-химических характеристик присадки в гарантийный срок хранения может быть изменение технологии производства двухкомпонентной ПВКЖ. Например, в качестве одного из компонентов может использоваться этилцеллозольв первого сорта вместо этилцеллозольва высшего сорта. Этиловый эфир этиленгликоля первого сорта имеет более низкую химическую стабильность, склонен к накоплению органических кислот, которые в том числе могут взаимодействовать с металлическими поверхностями и ускорять процесс накопления металлов в ПВКЖ.

⁴ ГОСТ 13950-91. Бочки стальные сварные и закатные с гофрами на корпусе. Технические условия

⁵ ГОСТ 6247-79. Бочки стальные сварные с обручами катания на корпусе. Технические условия.

⁶ ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. Технические условия.

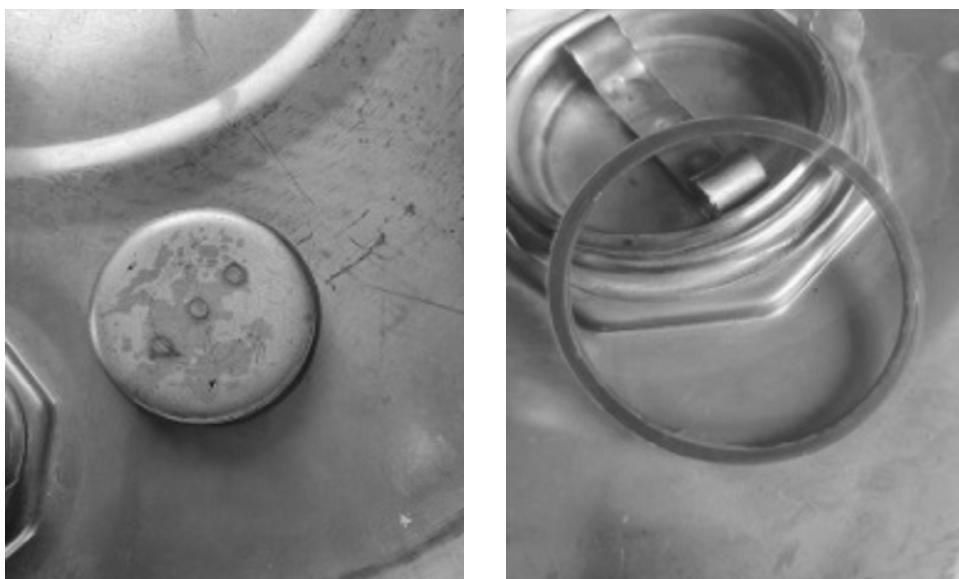


Рис. 3. Прокладочный материал для бочки из нержавеющей стали – источник загрязнения ПВКЖ

Обобщение опыта эксплуатации и результаты исследования [2] отказов агрегатов топливных систем ВС показали, что случаи забивки топливных фильтров соединениями железа и цинка обусловлены в том числе применением ПВКЖ, загрязнённых растворимыми соединениями металлов, которые в виде нерастворимых гидроокисей оседают на фильтрах тонкой очистки и влияют на их пропускную способность.

Примеси металлов (железо, цинк, медь и др.) также существенно ухудшают термоокислительную способность топлива. Исследование качества топлива, связанное с расследованием реальных авиационных событий (отказ двигателя), в ряде случаев выявило 100–1000-кратное превышение, порядка 10^{-5} – 10^{-4} %, относительно статистических величин 10^{-7} % содержания металлов в авиационном керосине при работающем в штатном режиме двигателе. Топливо той же партии из двигателя ВС не прошло испытание на термоокислительную стабильность на приборе JFTOT, имитирующем условия работы топливной аппаратуры авиационного двигателя.

Анализ и обобщение опыта эксплуатации авиатехники и результаты систематических исследований показывают существенное влияние содержания металлов в авиационном керосине на надёжность работы топливной системы ВС.

Согласно нормативным документам, наличие следовых количеств растворимых соединений металлов в ПВКЖ при хранении в местах применения не является браковочным признаком и продукт допускается для использования по прямому назначению. Наличие металлов в жидкости в количествах более, чем следовые, является браковочным признаком и исключает применение продукта по прямому назначению.

Определение содержания растворимых соединений металлов регламентируется пунктом 6.7 ОСТ 54-3-175-73-99 с изменением 1. Метод заключается в визуальной оценке наличия металлов в присадке по интенсивности окрашивания ПВКЖ в кислой среде и в присутствии индикатора ксиленолового оранжевого.

В лабораторной практике применение методов качественной оценки зачастую не позволяет однозначно трактовать полученные данные и может вызывать сложности по причине субъективизма в оценке результатов. Результат оценки (оранжевая окраска – «следы» – не браковочный признак, тёмно-оранжевая, или коричневая – браковочный признак) зависит от индивидуального цветовосприятия. Получение достоверных результатов методов качественной оценки осложнено также появлением на современном рынке химической продукции индикаторов, спорных по качеству и степени очистки.

Постановка задачи

Количественной характеристики содержания металлов в ПВКЖ, соответствующей результатам метода качественной оценки, на сегодняшний день не существует. Значение концентраций ионов металлов в ПВКЖ позволит установить количественные нормы их содержания в присадке, предоставит более полную информацию для разработки целенаправленных решений и полезных рекомендаций по применению ПВКЖ, изучения возможных причин и путей предотвращения присутствия металлов в топливе.

В связи с этим, по мнению авторов, целесообразно установить количественные критерии браковочного предела содержания железа и дополнить анализ качества ПВКЖ методом определения количества растворимых соединений металлов для применения в случаях разногласий и сомнительных оценок результатов метода качественной оценки.

Настоящая работа посвящена установлению количественных критериев допустимых и браковочных норм содержания железа в ПВКЖ с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанный плазмой и исследованию возможности применения метода определения количества содержания ионов Fe (II) в ПВКЖ, основанного на взаимодействии металла с гексацианоферратом (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$ с образованием окрашенного в голубой цвет комплексного соединения.

Методика исследований и экспериментальная часть

В основу теоретического обоснования предлагаемой методики положено электронное строение атома химического элемента «железо».

Химический элемент «железо» относится к группе переходных металлов, и его катион является отличным комплексообразователем за счёт имеющихся вакантных орбиталей, которые позволяют металлу вступать в реакции комплексообразования. Заполнение предвнешнего d-подуровня атома Fe представлено на рис. 4.

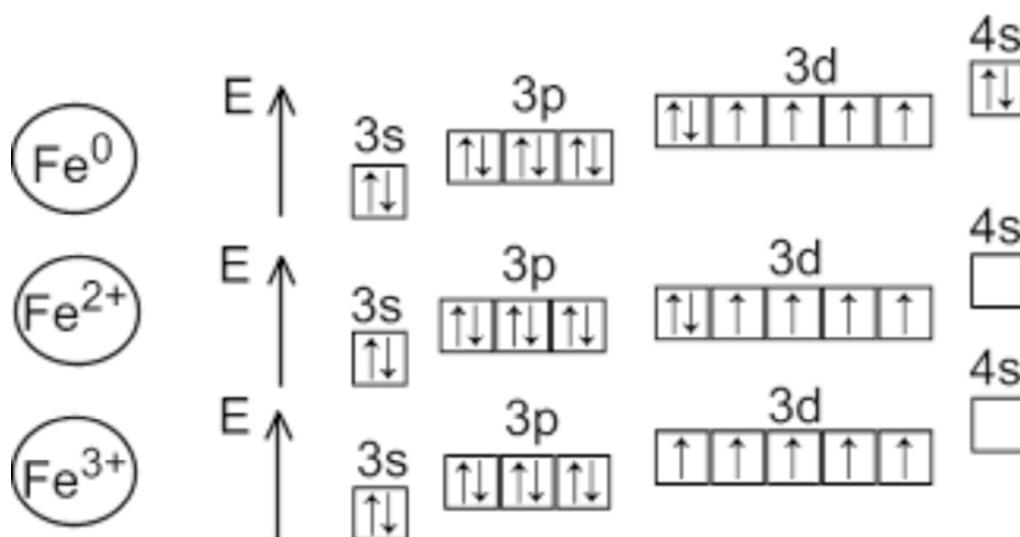


Рис. 4. Электронная конфигурация предвнешнего и внешнего уровней железа

Согласно классической химии в реакциях окисления под действием менее сильных окислителей железо окисляется до степени окисления 2+, при контакте с сильными окислителями – до 3+.

Опыт эксплуатации свидетельствует, что ПВКЖ при хранении в местах применения не взаимодействует с агрессивными окислителями и при окислении первоначально накапливает железо со степенью окисления 2+.

На первом этапе исследования были получены количественные данные содержания ионов Fe в ПВКЖ.

Объектами исследований являются пять образцов ПВКЖ, поступивших из предприятий гражданской авиации с содержанием ионов Fe – «следы» и «наличие», установленных согласно методу, регламентированному стандартом на продукт.

1. ПВКЖ «И-М» (1) – содержание растворимых соединений Fe – оранжевое окрашивание, следовые количества.

2. ПВКЖ «И-М» (2) – содержание растворимых соединений Fe – оранжевое окрашивание, следовые количества.

3. ПВКЖ «И» (3) – содержание растворимых соединений Fe – оранжевое окрашивание, следовые количества.

4. ПВКЖ «И-М» (4) – содержание растворимых соединений Fe – тёмно-оранжевое окрашивание – «следовые количества», сомнительная.

5. ПВКЖ «И-М» (5) – содержание растворимых соединений Fe – коричневое окрашивание – наличие растворимых соединений Fe.

Определение количества металла в образцах ПВКЖ проведено методом эмиссионной спектрометрии с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанный плазмой «iCAP 7400 Duo», откалиброванного по государственным стандартным образцам с аттестованным значением содержания металлов Fe, Cu и Zn.

Для исследования указанным методом составлены семь модельных смесей штатного авиационного топлива марки ТС-1 с различным процентным содержанием пяти образцов ПВКЖ. Процентное содержание ПВКЖ в топливе выбрано с учётом содержания растворимых соединений железа в присадке и чувствительности выбранного метода. Для составления модельных смесей с содержанием ПВКЖ в топливе свыше 1 % проведена специальная пробоподготовка.

Полученные результаты измерений концентраций металлов в семи образцах модельных смесей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрации содержания металлов в семи образцах модельных смесей.

Нижняя граница калибровки 0,05 ppm

Элементы	Fe	Cu	Zn
<i>ПВКЖ «И-М» (1) – оранжевая окраска, следовые количества ионов Fe</i>			
ПВКЖ «И-М» (1)	2 ppm	0,25 ppm	–
Образец № 1 – ТС-1 + 0,4 % «И-М» (1)	<0,05 ppm	<0,05 ppm	<0,05 ppm
Образец № 2 – ТС-1+ 1 % «И-М» (1)	0,02 ppm	<0,05 ppm	<0,05 ppm
Образец № 3 – ТС-1+ 28 % «И-М» (1)	0,6 ppm	0,07 ppm	<0,05 ppm
<i>ПВКЖ «И-М» (2) – оранжевая окраска, следовые количества ионов Fe</i>			
ПВКЖ «И-М» (2)	1,3 ppm	–	–
Образец № 4 – ТС-1+ 4 % «И-М» (2)	0,2 ppm	<0,05 ppm	<0,05 ppm
<i>ПВКЖ «И» (3) – оранжевая окраска, следовые количества ионов Fe</i>			
ПВКЖ «И» (3)	1,2 ppm	–	–
Образец № 5 – ТС-1+ 4 % «И» (3)	0,2 ppm	<0,05 ppm	<0,05 ppm
<i>ПВКЖ «И-М» (4) – тёмно-оранжевая окраска, следовые количества ионов Fe</i>			
ПВКЖ «И-М» (4)	3,3 ppm	–	–
Образец № 6 – ТС-1+ 12 % «И-М» (4)	0,4 ppm	<0,05 ppm	0,07 ppm
<i>ПВКЖ «И-М» (5) – коричневая окраска, наличие ионов Fe</i>			
ПВКЖ «И-М» (5)	5 ppm	–	–
Образец № 7 – ТС-1+ 4 % «И-М» (5)	0,4 ppm	<0,05 ppm	–

На основании данных измерений концентраций металлов в семи модельных смесях, полученных методом эмиссионной спектрометрии и расчётыным методом, установлены концентрации железа в пяти исследуемых образцах ПВКЖ.

Результаты исследований

Результаты исследований содержания железа методом качественного анализа и установленные концентрации металла в пяти образцах ПВКЖ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты содержания железа в пяти образцах ПВКЖ

Образцы ПВКЖ	ПВКЖ № 1	ПВКЖ № 2	ПВКЖ № 3	ПВКЖ № 4	ПВКЖ № 5
Содержание Fe – п. 6.5 ОСТ 54-3-175-73-99	Оранжевое окрашивание – следовые количества			Тёмно-оранжевое окрашивание – сомнительно	Коричневое окрашивание – присутствие
Содержание Fe – атомно-спектральный метод	2 ppm	1,3 ppm	1,2 ppm	3,3 ppm	5 ppm

На основании приведённых в табл. 2 данных можно сделать выводы:

- оранжевое окрашивание – следовые количества Fe, соответствуют содержанию Fe до 3,3 ppm;
- коричневое окрашивание – наличие соединений Fe, соответствует содержанию Fe от 3,3 ppm и выше.

Таким образом, полученные результаты исследований показывают, что предельно допустимым значением содержания железа в противоводокристаллизационных жидкостях с учётом принципа неопределённости, метрологических характеристик и запаса качества является концентрация 3 ppm.

Практическое применение результатов исследований

Однако метод атомной спектрометрии в большинстве лабораторий эксплуатационных предприятий гражданской авиации практически невозможно применить ввиду экономической нецелесообразности, а именно, высокой стоимости оборудования, его обслуживания и др.

Решению этой задачи был посвящен *второй этап исследовательской части работы*. Изучена возможность применения, в том числе на предприятиях ГА, доступного в осуществлении и чувствительного метода количественного определения Fe (II) в противоводокристаллизационных жидкостях. В основу методики положено взаимодействие ионов Fe (II) с гексацианоферратом (III) калия в кислой среде с образованием окрашенного в зелёно-голубой цвет комплексного соединения. Чувствительность метода определения – 1 мкг/см³.

Для исследования взяты пять образцов ПВКЖ с установленными на первом этапе значениями концентраций железа:

1. ПВКЖ «И-М» (1) – выдерживает испытания – 2 ppm (1,7 мкг/ см³).
2. ПВКЖ «И-М» (2) – выдерживает испытания – 1,3 ppm (1,1 мкг/ см³).
3. ПВКЖ «И» (3) – выдерживает испытания – 1,2 ppm (1,1 мкг/ см³).
4. ПВКЖ «И-М» (4) – выдерживает испытания – 3,3 ppm (2,9 мкг/ см³).
5. ПВКЖ «И-М» (5) – не выдерживает испытания – 5 ppm (4,3 мкг/ см³).

Были приготовлены следующие растворы:

- для приготовления растворов сравнения: стандартный раствор Fe (II) – водный раствор соли Fe (II) с использованием двойного сульфата железа (II) и аммония (соли Мора) $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2 + \text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ (1 мг/см³);

- водный раствор феррицианида калия $K_3[Fe(CN)_6]$ (1 мг/см³);
- 0,1 раствор HCL.

Для приготовления растворов сравнения взят шестой образец ПВКЖ «И-М» (6) – содержание растворимых соединений Fe – жёлтое окрашивание, отсутствие – выдерживает испытания.

На основе стандартного раствора Fe (II) и ПВКЖ «И-М» (6) приготовлены растворы сравнения с концентрацией ионов Fe (II): 1,4; 2,8; 4,3; 5,7; 7,1; 9,9 мкг/см³.

В процессе исследования проводилось визуальное сравнение интенсивности окрашивания гексацианоферратных комплексов образцов ПВКЖ с окраской гексацианоферратных комплексных соединений растворов сравнения. Была установлена оптимальная область pH комплексообразования, в которой образуется наиболее полно комплексное соединение Fe (II) с гексацианоферратом. По результатам оценки интенсивности окрашивания образовавшихся комплексных соединений образцов ПВКЖ с различными значениями pH среды установили, что оптимальная область комплексообразования находится в пределах 2 единиц pH.

Далее определено количество $K_3[Fe(CN)_6]$, необходимое для полного связывания Fe (II) в комплексное соединение. В образцы ПВКЖ с концентрацией Fe (II): 1,4; 2,8; 4,3; 5,7 мкг/см³ в оптимальной области pH добавлены различные объёмы $K_3[Fe(CN)_6]$ от 0,5 см³ до 2 см³. По данным визуальной оценки образовавшихся комплексных соединений установлено, что наиболее полно комплексообразование Fe (II) происходит с объёмом $K_3[Fe(CN)_6]$ 1 см³.

Далее проверено влияние мешающих ионов металлов при определении Fe (II) гексацианоферратным способом, при различных концентрациях Cu и Zn. Проверка проведена для образцов с концентрацией ионов Fe (II): 1,4; 2,8; 4,3; 5,7 мкг/см³.

Результаты интенсивности окрашивания образцов ПВКЖ, содержащих ионы Cu и Zn, с растворами сравнения показали отсутствие мешающего влияния ионов металлов на оценку содержания Fe (II) предложенным методом.

Результаты

Значения концентраций Fe (II) в образцах ПВКЖ, полученные путём визуального сравнения окраски комплексных соединений образцов с окраской растворов сравнения, сопоставимы со значениями, установленными на первом этапе исследования.

Метод является фотометрическим, так как основан на определении концентрации вещества по интенсивности окрашивания раствора.

Теоретические и практические аспекты применения данного фотометрического метода свидетельствуют о возможности эффективного использования фотоколориметра на длине волны, соответствующей поглощению комплексного соединения Fe (II) с гексацианоферратом. Такая возможность была проверена авторами настоящей статьи экспериментально путём измерения фотоколориметром оптической плотности образцов. Прогнозируемая чувствительность метода находится на уровне 1 ppm. Приборное оборудование, его технологическое и метрологическое обслуживание экономически целесообразны и доступны для лабораторий гражданской авиации. Ряд лабораторий имеют подобное оборудование для определения содержания тетраэтилсвинца в авиационных бензинах.

Заключение

Вопросы оценки и поддержания качества ПВКЖ исключительно важны для обеспечения надёжной работы авиационной техники и безопасности полётов и требуют проведения широкого круга исследований.

В рамках настоящей работы определены количественные характеристики содержания растворимых соединений железа в ПВКЖ, соответствующие регламентированным отраслевым

стандартом градациям «следы» и «наличие». Полученные данные имеют большую практическую ценность для установления значений допустимых норм содержания металла и браковочного признака. Характеристике «наличие» содержания ионов железа в ПВКЖ – браковочный признак – соответствует концентрация металла более 3 ppm.

Разработан и изучен метод количественного определения содержания двухвалентного железа в ПВКЖ с помощью гексацианоферратного комплекса. Преимуществом метода является возможность его применения как аналога существующему методу качественного определения металлов с индикатором ксиленоловым оранжевым при получении сомнительных результатов и при необходимости количественного определения содержания металла.

Результаты исследований показали обоснованность разработки фотометрического метода определения содержания ионов железа в ПВКЖ в виде гексацианоферратного комплекса. Предлагаемый для дальнейшей разработки и апробации количественный метод определения содержания железа в присадке является доступным и может быть рекомендован для лабораторий предприятий ГА.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

- Гордиенок Н. И., Фрейдин Б. Г. Кинетические параметры окисления низших олигомеров этиленгликоля // Кинетика и катализ. 1986. Т. 27. № 4. С. 988–990.
- Грядунов К. И. Обеспечение кондиционности авиационных топлив при использовании противоводокристаллизационных жидкостей // Научный вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26. № 6. С. 22–32.
- Денисов Е. Т., Мицкевич Н. И., Агабеков В. Е. Механизм жидкофазного окисления кислородсодержащих соединений. Минск: Наука и техника, 1975. 334 с.
- Кужель А. В., Пучков С. В., Ванин В. В., Перкель А. Л. Особенности жидкофазного окисления этилцеллозольва // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. Вып. 4. С. 104–106.
- Левицкий М. М. Всемогущая слабая связь // Химия. 2003. № 41. URL: <https://him.1sept.ru/index.php?year=2003&num=41> (дата обращения: 08.10.2025).
- Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. Москва: Химия, 1979. 480 с.
- Побойский О. Э., Лушкин О. И. Исследование забивки топливных фильтров «отравленными» ПВК жидкостями // Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей (вопросы авиационной химмотологии): тезисы докладов VII Всесоюзной научно-технической конференции. Киев, 24–26 мая 1989 года. Киев: КИИГА, 1989. С. 6.
- Поплетеев С. И., Маринина Т. Н. Помутнение топлив с присадками ТГФ-М и И-М при охлаждении. В кн.: Вопросы авиационной химмотологии. Сборник научных трудов. Киев: КИИГА, 1982. С. 78–80.
- Поплетеев С. И., Урянская Н. И. Исследование влияния противообледенительных присадок на работу герметиков // Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей (вопросы авиационной химмотологии): тезисы докладов V Всесоюзной научно-технической конференции. Киев, 8–10 октября 1981 года. Киев: КИИГА, 1981. С. 81–82.
- Рудник Л. Р. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение: пер. с англ. яз. 2-го изд. под ред. Данилова А. М. Санкт-Петербург: ЦОП «Профессия», 2013. 928 с.
- Саблина З. А., Широкова Г. Б., Ермакова Т. И. Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив. Москва: Химия, 1978. 238 с.

References

- Gordienok N. I., Freydin B. G. Kinetic parameters of oxidation of lower ethylene glycol oligomers. *Kinetics and Catalysis*, 1986, vol. 27, no. 4, pp. 988–990. (In Russ.)

2. Gryadunov K. I. Ensuring the aviation fuel quality when using anti-water crystallization fluids. *Civil Aviation High Technologies*, 2023, vol. 26, no 6, pp. 22–32. (In Russ.)
3. Denisov E. T., Mitskevich N. I., Agabekov V. E. *Mechanism of liquid-phase oxidation of oxygen-containing compounds*. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1975, 334 p. (In Russ.)
4. Kuzhel A. V., Puchkov S. V., Vanin V. V., Perkel A. L. Features of liquid phase oxidation of ethyl cellosolve. *Bulletin of Kuzbass State Technical University*, 2010, issue 4, pp. 104–106. (In Russ.)
5. Levitskiy M. M. Almighty weak connection. *Chemistry*, 2003, no. 41. (In Russ.)
6. Lurie Yu. Yu. *Analytical Chemistry Handbook*. Moscow, Khimiya Publ., 1979, 480 p. (In Russ.)
7. Poboyiskiy O. Eh., Lushkin O. I. Investigation of clogging of fuel filters with “poisoned” AWC liquids. *Operational properties of aviation fuels, lubricants and special fluids (issues of aviation chemotology). Abstracts of reports of the VII All-Union Scientific and Technical Conference*, Kiev, May 24–26, 1989. Kiev, KIIGA Publ., 1989, p. 6. (In Russ.)
8. Popleteev S. I., Marinina T. N. Turbidity of fuels with additives TGF-M and I-M during cooling. In: *Issues of aviation chemotology. Collection of scientific works*. Kiev, KIIGA Publ., 1982, pp. 78–80. (In Russ.)
9. Popleteev S. I., Uryanskay N. I. Study of the effect of anti-icing additives on the operation of sealants. *Operational properties of aviation fuels, lubricants and special fluids (issues of aviation chemotology). Abstracts of reports of the V All-Union Scientific and Technical Conference*, Kiev, October 8–10, 1981. Kiev, KIIGA Publ., 1981, pp. 81–82. (In Russ.)
10. Rudnick L. R. *Lubricant additives. Chemistry and applications*. London, New York, CRC Press, 2009, 928 p.
11. Sablina Z. A., Shirokova G. B., Ermakova T. I. *Laboratory methods for assessing the properties of motor and jet fuels*. Moscow, Khimiya Publ., 1978, 238 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Ковба Лидия Васильевна, руководитель направления «Программа развития Сибирского и Дальневосточного кластера», Газпромнефть-Аэро, Москва, Россия, Kovba.LV@gazprom-neft.ru

Бурая Светлана Анатольевна, младший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Burayasa@gosniiga.ru

Поплетеев Станислав Иванович, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Popleteevsi@gosniiga.ru

Азжеурова Ольга Борисовна, начальник лаборатории, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Azzheurpvaob@gosniiga.ru

Азжеурова Екатерина Сергеевна, ведущий инженер, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Azzheurpvaes@gosniiga.ru

Authors information

Kovba Lidiya V., Head of Direction Development program of the Siberian and Far Eastern cluster, Gazpromneft-Aero, Moscow, Russia, Kovba.LV@gazprom-neft.ru

Buraya Svetlana A., Junior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Burayasa@gosniiga.ru

Popleteev Stanislav I., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Popleteevsi@gosniiga.ru

Azzheurova Olga B., Head of Laboratory, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Azzheurpvaob@gosniiga.ru

Azzheurova Ekaterina S., Lead Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Azzheurpvaes@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2025; одобрена после рецензирования 24.10.2025; принята к публикации 31.10.2025.
The article was submitted 01.06.2025; approved after reviewing 24.10.2025; accepted for publication 31.10.2025.

Научная статья
УДК 338.4

ESG-ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА В ИНТЕРЕСАХ ДОСТИЖЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ

А. А. ФРИДЛЯНД, В. А. МЕЛАНИН, Н. С. СТОЛЯРОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы и перспективы развития предприятий отечественной гражданской авиации. В целях повышения эффективности их деятельности целесообразно использовать широко применяемые в мировой практике принципы ESG. Данные принципы рассматриваются в статье не только в плане ответственного отношения к охране окружающей среды (экологической безопасности), но и как привлекающие внимание к человеческому фактору. Это может выражаться в обеспечении социальной ответственности бизнеса, формировании высокого уровня деловой культуры и корпоративного управления. Приведённые авторами сравнение российского и зарубежного опыта и анализ практики внедрения ESG-стратегий в деятельность предприятий воздушного транспорта доказывают необходимость комплексных усилий по реализации принципов ESG в гражданской авиации России.

Ключевые слова: ESG-трансформация, предприятия воздушного транспорта, устойчивое развитие, принципы ESG, защита окружающей среды, экологическая безопасность, социальная ответственность, корпоративное управление, корпоративная культура, дискуссионные вопросы, транспортные системы страны

Для цитирования: Фридлянд А. А., Меланин В. А., Столяров Н. С. ESG-трансформации предприятий воздушного транспорта в интересах достижения стратегических целей развития // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 100–108.

ESG-TRANSFORMATIONS OF AIR TRANSPORT ENTERPRISES IN THE INTERESTS OF ACHIEVING STRATEGIC DEVELOPMENT GOALS

А. А. FRIDLYAND, В. А. MELANIN, Н. С. STOLYAROV

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

Abstract. The article discusses the problems and prospects for the development of domestic civil aviation enterprises in order to increase the efficiency of their activities. It is proposed to use the principles of ESG widely used in world practice. These principles are considered in the article not only as ensuring responsible attitude to environmental protection (environmental safety), but above all as a careful attitude to the human factor: ensuring social responsibility of business, achieving a high level of business culture and corporate governance. Comparing Russian and foreign experience and analyzing the practice of implementing ESG strategies in the activities of air transport enterprises, the authors come to the disappointing conclusion that a lot has been missed in this important matter, which will require considerable efforts to overcome obstacles to the sustainable development of domestic aviation.

Keywords: ESG transformation, air transport enterprises, sustainable development, ESG principles, environmental protection, environmental safety, social responsibility, corporate governance, corporate culture, discussion topics, the country's transport systems

For citation: Fridlyand A. A., Melanin V. A., Stolyarov N. S. ESG-transformations of air transport enterprises in the interests of achieving strategic development goals. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 100–108. (In Russ.)

Введение

Президентом нашей страны определены национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года¹, среди которых: укрепление здоровья и повышение благополучия людей, комфортная и безопасная среда для жизни, экологическое благополучие, устойчивая и динамичная экономика, технологическое лидерство и многое другое, что включает в себя понятие «устойчивое развитие».

Устойчивое развитие – это комплекс мер, направленных на то, чтобы люди могли удовлетворять свои жизненно важные потребности, но при этом стремились сохранять окружающую среду и ресурсы для будущих поколений.

Как известно, транспорт, в том числе воздушный, является третьей ведущей отраслью материального производства. Воздушный транспорт, по мере расширения сферы своей хозяйственной деятельности в условиях развития научно-технического прогресса, активно вторгается в окружающую среду, что предполагает всё более интенсивное использование природных ресурсов. Обеспечить устойчивое развитие отечественной гражданской авиации на долгосрочную перспективу, создать условия для её конкурентоспособности – задача первостепенной важности, стоящая перед авиационной отраслью и сопровождающей её развитие наукой.

Предыстория концепции устойчивого развития и ESG

Идеи устойчивого развития стали привлекать внимание общественности ещё несколько столетий назад, когда ведущие мыслители заговорили о важности бережного использования ресурсов на благо человечества и стали предупреждать об опасностях ущерба окружающей среде, связанных с расточительным отношением к природе в процессе производственной деятельности. В научный оборот понятие «устойчивое развитие» начало входить с 1980-х годов и широкое распространение получило после доклада «Наше общее будущее», подготовленного в 1987 г. Международной комиссией ООН по окружающей среде и развитию.

В 2004 году Генеральный секретарь ООН обратился к руководителям крупнейших мировых компаний с речью «Who Cares Wins» («Неравнодушный побеждает») и предложил для достижения целей устойчивого развития включить экологические и социальные показатели в стратегии компаний. Разработанные на основе концепции устойчивого развития идеи получили название принципов ESG – аббревиатуру можно расшифровать как «природа, общество, управление» (environmental, social, governance). Таким образом, принципы ESG – это свод правил и подходов к ведению бизнеса, которые способствуют его устойчивому развитию.

Смысл концепции ESG состоит в том, что бизнес-компаниям рекомендовано учитывать запросы общества, создавать для сотрудников благоприятный морально-психологический климат, своевременно принимать результативные меры по сокращению вредоносного воздействия на природу, обеспечивать в управлении высокий уровень корпоративной культуры.

В сентябре 2015 года на саммите ООН была рассмотрена Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, в основу которой были положены 17 взаимосвязанных целей устойчивого развития (ЦУР) ООН. Участники представительного саммита практически единодушно одобрили повестку дня, при этом взяли на себя ответственность избавить человечество

¹ Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

от нищеты, обезопасить планету от загрязнений и бездумных разрушений. В провозглашённые оптимистические цели устойчивого развития ООН в дальнейшем были органично вписаны и принципы ESG. Столь оптимистический взгляд в будущее поддержала и Российской Федерации.

В дальнейшем концепция ESG привлекла внимание российской общественности и, несмотря на трудности, стала постепенно внедряться в систему стратегического и оперативно-тактического управления отечественными отраслями и предприятиями.

Материалы и методы исследования

Цели настоящего исследования – комплексный анализ принципов ESG с позиций интересов Российской Федерации, оценка состояния и перспектив реализации ESG в гражданской авиации и разработка соответствующих рекомендаций.

Материалом для исследования проблем ESG-трансформации авиатранспортной отрасли России явились статистические данные, характеризующие отрасль, комплексные планы её развития, контент-анализ текстовых массивов и продуктов коммуникативной корреспонденции.

Методы исследования, используемые в статье, традиционные: наблюдения, анализ документов, сравнение, описание и др. [1].

Результаты исследования

В настоящее время концепция ESG стала составной частью принципов, на которых строится современная мировая экономика. Поставив цель выяснить, как данная концепция реализуется в системе отраслевого управления, в частности, на предприятиях авиатранспортного комплекса, авторы провели анализ, который показал, что это направление в нашей стране находится лишь в начальной стадии [2]. Не стал исключением в этом отношении и воздушный транспорт, хотя очевидно, что стандарты устойчивого развития ESG могут иметь широкую область применения как в деятельности воздушного транспорта, так и в деятельности целого ряда смежных отраслей.

Ответственное отношение к окружающей среде (E) – проблема, требующая постоянного внимания руководителей компаний, организационных усилий, серьёзного научного обеспечения, огромных финансово-материальных ресурсов. Конференция ООН по изменению климата (COP26) выдвинула инициативу резко снизить количество транспортных средств, работающих на традиционных видах топлива, и призвала участников Конференции к 2050 году добиться нулевых выбросов парниковых газов в атмосферу.

Россия поддержала эту инициативу и наметила ряд первоочередных мер для её реализации. Так, в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года² (далее – Транспортная стратегия) определены приоритетные меры, направленные на снижение выбросов парниковых газов в гражданской авиации, в частности, предусматривающие модернизацию инфраструктуры воздушного транспорта, ускоренное обновление парка воздушных судов за счёт летательных аппаратов нового поколения; повышение пропускной способности воздушного пространства и аэропортовой сети; поиск и внедрение альтернативных видов топлива и другие меры, требующие серьёзного научного обеспечения. Ожидается, что при реализации этих мер особый порядок рассмотрения и государственной поддержки получат проекты, реализованные на принципах качественного экологического, социального и корпоративного управления (ESG). В их числе проекты, реализуемые с учётом требований по сохранению биологического разнообразия с применением передовых технологий, создающие возможности

² Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.

для повышения уровня безопасности труда и жизнедеятельности населения, реализация которых приведёт к сокращению объёмов промышленных и иных отходов.

Реализация этих проектов, декарбонизация авиационной отрасли поставит перед авиакомпаниями задачу сбалансировать прибыль и рост расходов на освоение новых технологий, использование дорогостоящего низкоуглеродного топлива, переоснащение авиационной техники и т. п.

В последние годы авиационная отрасль предпринимает немалые усилия для обеспечения экологической безопасности. В частности, ведётся поиск альтернативных видов топлива – авиакомпании ищут топливо, которое меньше вредило бы природе и при этом не требовало бы огромных ёмкостей для хранения; при строительстве и ремонте объектов аэродромной инфраструктуры, как правило, внедряются энергоэффективные технологии; постоянно осуществляется оптимизация логистических сетей для снижения потребления топлива и выбросов, связанных с транспортировкой товаров и грузов. Происходит внедрение экологических решений в аэродромных офисах: раздельный сбор мусора и переработка отходов, сбор и утилизация использованных батареек и аккумуляторов, установка водосберегающих кранов и т. п.

Однако, несмотря на прилагаемые усилия, экологическую ситуацию в сфере авиационной деятельности России пока нельзя признать достаточно приемлемой.

Основными сдерживающими факторами формирования ответственного отношения к окружающей среде, на взгляд авторов, являются несовершенство нормативной правовой базы в области экологической безопасности, формируемой на федеральном уровне, и связанные с этим неопределённости в финансировании природоохранительной деятельности. Давно назрел вывод: *гражданская авиация остро нуждается в системной и функциональной экологической политике, предусматривающей научное, объективное и независимое экологическое аудирование на всей территории Российской Федерации.*

Нельзя признать благополучной экологическую ситуацию и в среде зарубежных авиаперевозчиков. Процесс деградации окружающей среды при активном и растущем воздействии авиации на природу продолжается не только у нас, что находит подтверждение в официальных документах, в частности, в издаваемых один раз в три года Экологических отчётах ИКАО. На международных форумах, посвящённых авиаперевозкам, многие зарубежные компании уделяют проблемам загрязнения окружающей среды почти треть своих докладов. Некоторые компании представляют свои разработки в области экологии (например, прототипы электро- или двигателей на солнечной энергии), однако установки подобного типа остаются пока лишь на уровне теоретических разработок [3].

На практике многие авиакомпании за рубежом недостаточно ответственно подходят к соблюдению принципов ESG – некоторые из них, стремясь сохранить прибыль, минимизируют средства на экологические цели и создают видимость заботы об экологической безопасности, превращая тем самым принципы ESG в малозначащую декларацию. Однако попытки ввести в заблуждение пользователей авиауслуг для многих авиаперевозчиков заканчиваются падением престижа и так называемым *гринвашингом* – рекламной демонстрацией экологичности при отсутствии реальных достижений в сфере обеспечения экологической безопасности. Само же понятие «гринвашинг» является производным от двух английских слов: *green* (зелёный, экологичный) и *whitewashing* (отбеливание репутации), т. е. буквально означает «зелёное отмывание».

Последнее время в Европе на почве «зелёного отмывания» участились скандалы, инициированные пользователями авиауслуг. Так, ассоциации потребителей из 19 стран подали официальную жалобу в Еврокомиссию и органы по защите прав потребителей на то, что авиакомпании, взимая дополнительную плату, вводят потребителей услуг в заблуждение относительно экологичности полётов. Жалоба направлена на 17 авиакомпаний: Air Baltic, Air Dolomiti, Air France, Austrian, Brussels Airlines, Eurowings, Finnair, KLM, Lufthansa, Norwegian, Ryanair, SAS, SWISS, TAP, Volotea, Vueling и Wizz Air.

Российские авиакомпании пока не замечены в использовании «гринвошинга», однако это может свидетельствовать и о недостаточно строгом экологическом контроле, невысокой активности потребителей авиауслуг.

Социальная ответственность (S) является важнейшим принципом ESG-концепции. Дан- ный принцип предполагает высокую социальную ответственность перед клиентами (пользо- вателями авиационных услуг), партнёрами по бизнесу, представителями смежных отраслей. Этот принцип включает: заботу об интересах сотрудников, стимулирование добросовестного труда, охрану здоровья, комфортные условия работы, недопустимость гендерных стереотипов и коррупции. Социальная ответственность бизнеса по сути своей представляет объективную необходимость отвечать за строгое соблюдение социальных норм, проявлять деятельную заботу о людях, правильно выстраивать взаимоотношения работников с обществом, государством, коллективом, другими социальными группами и образованиями.

В авиационных компаниях и других авиапредприятиях России можно найти немало при- меров грамотной кадровой политики, предметной заботы о сотрудниках, их профессиональном росте. Однако в отдельных предприятиях дают себя знать проблемы коррупции, несовершенства системы стимулирования труда, недостаточное внимание к человеческому фактору, обеспечению безопасности полётов.

Косвенным подтверждением неблагополучия в реализации принципа социальной ответ- ственности в системе авиаотраслевого комплекса России служит и продолжающийся отток квалифицированного персонала в иностранные авиационные компании. Согласно данным Ком- плексной программы развития авиаотрасли Российской Федерации до 2030 года³, ежемесячно в иностранные авиакомпании по подтверждению действующего свидетельства специалиста авиационного персонала поступает до 70 обращений.

Причины такой ситуации в проводимой кадровой политике, низком уровне производитель- ности труда в транспортном комплексе страны, в том числе на воздушном транспорте. Как сле- дует из Транспортной стратегии, на одного занятого на транспорте приходится 1,2 млн рублей валового внутреннего продукта от транспортного комплекса в год, что более чем в 3 раза ниже уровня других экономически развитых стран. Отсюда нехватка квалифицированных кадров, сокращение расходов на социальные нужды работников, поиск работы за рубежом и многое другое. Для исправления ситуации необходимы большие финансовые ресурсы, возможными источниками которых могут стать внебюджетные средства, развитие программ взаимодействия в рамках государственно-частного партнёрства, заключение концессионных соглашений и т. п. – при строгом аудите эффективности расходования финансовых ресурсов.

Высокое качество корпоративного управления (G). За рубежом уже давно и весьма активно ведётся поиск построения такой модели бизнеса, при которой каждый работник не чувствовал бы себя «винтиком» в коллективе, а стремился активно участвовать в эффективном развитии организации. Интересный проект на эту тему обосновал бельгийский бизнес-кон- сультант Фредерик Лалу [4]. Концепция автора строится на использовании в организациях ключевых принципов, в числе которых гибкость и адаптивность, цифровизация и автомати- зация, гибридные форматы работы, фокус на людях и культуре, устойчивое развитие (ESG), инновационность и эксперименты, клиентоцентричность и другие, т. е. речь идёт о развитии корпоративной культуры управления.

В [5] показано, что закономерность, следующая из простой логики, реализуется в России на практике. Там, где авиакомпании стремятся к долговременному успеху и используют при этом гуманистический подход к управлению человеческими ресурсами, проявляют деятельную за- боту о людях, там, как правило, имеют место высокие показатели эффективности деятельности

³ Комплексная программа развития авиаотрасли Российской Федерации до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 июня 2022 г. № 1693-р.

коллектива, и можно надеяться на достижение стратегических целей организации. И наоборот: там, где работодатель предпочитает традиционный технократический подход к персоналу, полагаясь исключительно на строгость контроля и регламентацию деятельности работников, долговременный коммерческий успех вряд ли возможен.

Корпоративная культура является понятием многогранным и многосложным, в литературе существует множество её определений. Нередко корпоративную культуру исследователи отождествляют с культурой организационной. По мнению авторов, организационная культура формализуется в нормативных документах и актах управления (приказах, распоряжках работы и т. п.), которые носят обязательный для исполнения сотрудниками характер. Корпоративная культура – это писаные и неписаные правила, нормы поведения, традиции, увлечения, всё то, что создаёт настроение, благоприятный для работы морально-психологический климат, гордость за причастность к общему делу и т. д. Благодаря сильной корпоративной культуре компания становится подобной большой сплочённой семье, где каждый сотрудник заботится об авторитете организации, ведёт себя таким образом, чтобы его действия никоим образом не оказались отрицательно на имидже авиакомпании [2, с. 159].

Постановка вопросов для дискуссии

Поскольку концепция ESG является триединой и все её составляющие имеют равную степень значимости, логично было бы предположить, что все они развиваются равномерно и согласованно. Однако на практике руководители многих российских компаний предпочитают сосредоточивать свои основные усилия на решении экологических проблем, а социальный и управлеченческий принципы при этом остаются в тени.

Авторы статьи участвовали в ряде семинаров и научно-практических конференций, где предполагалось обсуждение принципов ESG, однако обсуждение, как правило, сводилось к экологической проблематике, а сами категории «социальная ответственность» и «корпоративное управление» лишь изредка упоминались. При этом в современном мире наметился серьёзный пересмотр ESG-повестки, главный смысл которого заключается в смещении фокуса внимания с климатических и экологических инициатив к социальным вопросам.

Не всегда корпоративная культура является «почётной гостью» и в самих трудовых коллективах. Вот некоторые суждения сотрудников, работающих в коллективах, где корпоративная культура не находит поддержки и понимания:

«Мы своё дело знаем и работаем хорошо, а декларировать культурные ценности призваны акционеры и топ-менеджеры».

«Нет никакого практического смысла во всякого рода корпоративных «философиях» и «ценностях» – они лишь отвлекают от дела».

«Само начальство, если внимательно присмотреться, не верит в корпоративную культуру и видит в ней явную помеху для работы».

Подобные скептические рассуждения не редкость. Как-то незаметно в жизнь вошёл эвфемизм: «*Nothing personal, it's just business*» или по-русски: «Ничего личного, это просто бизнес». В этой связи сформулируем первый дискуссионный вопрос: *почему корпоративные ценности с таким трудом приживаются на почве российской деловой сферы?*

Причин много, но главные, на взгляд авторов, заключаются в недостатках и ошибках внедрения корпоративной культуры: невнятная постановка задачи, стремление привнести культуру директивными методами, недостаточное внимание к вопросам создания грамотной системы поощрений и действенных стимулов для командной работы и сотрудничества.

Другим дискуссионным вопросом и серьёзной проблемой является оценка внедрения (соблюдения) принципов ESG. В Западной Европе она организована через рейтинги компаний, рассчитываемые крупнейшими аналитическими агентствами на основе законодательства

и требований к отчётности компаний. Единого подхода к формированию рейтингов нет. Каждое агентство анализирует открытые данные о компаниях и присваивает баллы в соответствии со своими методологией и методиками. Например, MSCI (Morgan Stanley Capital International) ESG Ratings даёт комплексную оценку экологических, социальных и управленческих показателей компаний; в Refinitiv ESG Scores производится расчёт баллов на основе полученных данных с использованием 630 ESG-показателей, сгруппированных по 10 категориям.

В России оценка соблюдения принципов ESG также формируется с помощью национальных рейтинговых агентств, при этом Россия находится в начале трудного пути создания и развития методической базы их деятельности. Принимая участие в деятельности глобальной платформы ЦУР/ESG, наша страна стоит перед выбором: либо максимально приблизить цели устойчивого развития к национальным целям развития, отчитываясь по актуальным для нас показателям ЦУР и ESG-факторов перед проильными международными организациями; либо организовать координацию достижения целей устойчивого развития без участия внешних операторов на условиях прозрачности принимаемых решений и открытости публичной отчётности [6].

Авторы считают, что с учётом международной напряжённости, политических спекуляций и международного санкционного давления для нашей страны был бы предпочтительным второй вариант, хотя он требует больших материальных затрат и организационных усилий. Именно этот вариант находит наибольшую поддержку как на государственном, так и на корпоративном уровнях управления.

Приведём примеры ESG-трансформации, которые демонстрируют компании в разных отраслях, в том числе авиационной. Ведущей организацией или драйвером изменений в области устойчивого развития выступает компания Сбер: в 2023 году она получила награду в номинации «ESG-трансформация бизнеса» и ставит перед собой задачи к 2030 году достичь углеродной нейтральности своего бизнеса. РЖД также уделяет большое внимание экологически безопасным перевозкам, их энергоэффективности. Аэрофлот в текущих условиях глобальных вызовов и ограничений обновил цели своего развития и представил обновлённую Стратегию развития Группы Аэрофлот до 2030 года, в которой важное место отведено вопросам обеспечения экологической безопасности и социальной защиты авиационного персонала.

Сдерживающим фактором реализации принципов ESG в России является отсутствие законодательно закреплённой обязанности бизнеса учитывать ESG-факторы и сдавать ESG-отчётность. Счётная палата Российской Федерации проанализировала меры государственного стимулирования ответственного ведения бизнеса в области экологии и сделала квалифицированное заключение о том, что в российском законодательстве «...пока отсутствует нормативный правовой акт, устанавливающий основные принципы, понятия, цели, задачи и показатели в этой сфере и позволяющий выстраивать эффективное взаимодействие госорганов и бизнес-сообщества»⁴.

Россия предпринимает усилия в рассматриваемом направлении. Минэкономразвития разработало рекомендации по формированию и раскрытию добровольной нефинансовой отчётности, а также проект Стандарта отчётности об устойчивом развитии. Банк России призывает бизнес-сообщество учитывать в своих планах стратегического развития ESG-факторы и вопросы устойчивого развития. В апреле 2024 года Банк России подготовил рекомендации по методологии ESG-рейтингования, установил минимальный набор учитываемых элементов и ввёл единую шкалу.

Однако в разработанных рекомендациях отдельные представители крупного бизнеса видят риски чрезмерного регулирования процессов защиты окружающей среды, риски увеличения

⁴ Счётная палата оценила, как в России внедряются принципы устойчивого финансирования и ответственного ведения бизнеса. Официальный интернет-сайт Счётной палаты Российской Федерации в сети «Интернет». URL: <https://ach.gov.ru/checks/38758> (дата обращения: 18.09.2025).

затрат и финансовой нагрузки при выполнении обязательств [6]. Следует выяснить причины их возникновения и при проведении государственной политики в сфере устойчивого развития обеспечить реализацию документов стратегического планирования и поручений Президента и Правительства, направленных на укрепление социальной, экологической и управленческой ответственности бизнеса и государственного управления.

Заключение

Трансформация принципов ESG в деятельность предприятий воздушного транспорта России играет особую роль в достижении стратегических целей развития авиационной отрасли.

Вместе с прибылью в экономическую, политическую и духовную сферы нашей жизни уже давно вошли и требуют повсеместного применения ценности особого рода – это и гордость за принадлежность к отечественной авиации; авторитет компании и доверие к ней пользователей авиатранспортных услуг; и работа по подзабытому принципу «один за всех – все за одного»; и ответственное отношение к окружающей среде, деятельная забота о людях труда; многие другие феномены, аккумулированные в концепции ESG и устойчивого развития.

Эти феномены имеют стратегическое значение для возрождения России как мировой авиационной державы, они органично сочетаются с традиционными духовно-нравственными ценностями российского общества, о необходимости сохранения и укрепления которых говорится в Указе Президента Российской Федерации от 9 ноября 2022 года № 809⁵. Формирование этих ценностей должно, по мнению авторов, начинаться со школьной скамьи, а культура, привносимая в сознание людей через средства массовой информации, ни в коем случае не должна быть рыночным товаром.

Для эффективного применения принципы ESG должны стать органически вписанными и конкретизированными в документах стратегического планирования развития авиапредприятий. Грамотная и последовательная, с опорой на науку, интеграция принципов ESG в деятельность предприятий воздушного транспорта поможет правильно определить стратегические цели развития гражданской авиации и тем самым – её будущее.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Крамер Итске, Браун Даниель. Как управлять корпоративным племенем: Прикладная антропология топ-менеджера: Пер. с нидерл. Москва: Альпина Паблишер, 2020. 406 с.
2. Демин С. С., Семенова А. А., Столяров Н. С., Фридлянд А. А. Стратегическое управление развитием экономического потенциала воздушного транспорта: теория и практика: монография / под ред. Н. С. Столярова. Москва: РУСАЙНС, 2022. С. 172–177.
3. Баранов Н. А. Экологическая ответственность в авиации: реальность или гринвоХинг [Электронный ресурс]. URL: www.tks.ru/columns/baranov/2025/05/06 (дата обращения: 28.10.2025).
4. Лалу Фредерик. Открывая организации будущего. Москва: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2021. 432 с.
5. Столяров Н. С., Фридлянд А. А. Интеграция ESG-принципов в деятельность авиакомпаний. В кн.: Материалы 59-х Научных чтений, посвящённых разработке научного наследия и развития идей К. Э. Циолковского. Часть 1. Калуга, 2024. С. 369–371.

⁵ Указ Президента Российской Федерации от 9 ноября 2022 года № 809 «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей».

6. Алиев Д. Ф., Фетисов В. А., Рыбаков С. В. Манифест гармоничного развития: монография. Москва: Прометей, 2023. 130 с.

References

1. Kramer Itzke, Braun Daniel. *How to Manage a Corporate Tribe: Applied Anthropology of the Top Manager*. Translated from Dutch. Moscow, Alpina Publisher, 2020, 406 p. (In Russ.)
2. Demin S. S., Semenova A. A., Stolyarov N. S., Fridlyand A. A. *Strategic Management of the Development of the Economic Potential of Air Transport: Theory and Practice: Monograph*. Ed. by N. S. Stolyarov. Moscow, RUSAINS Publ., 2022, pp. 172–177. (In Russ.)
3. Baranov N. A. *Environmental Responsibility in Aviation: Reality or Greenwashing* [Electronic resource], available at: www.tks.ru/columns/baranov/2025/05/06 (accessed : 28.10.2025). (In Russ.)
4. Laloux Frederic. *Inventing Organizations of the Future*. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Publishing House, 2021, 432 p. (In Russ.)
5. Stolyarov N. S., Fridlyand A. A. Integration of ESG Principles into Airline Operations. In: *Proceedings of the 59th Scientific Readings dedicated to the development of the scientific heritage and advancement of the ideas of K. E. Tsiolkovsky*. Part 1, Kaluga, 2024, pp. 369–371. (In Russ.)
6. Aliev D. F., Fetisov V. A., Rybakov S. V. *Manifesto for Harmonious Development: Monograph*. Moscow, Prometey Publ., 2023, 130 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Фридлянд Александр Абрамович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, директор Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, info@aeroprogress.ru

Меланин Владимир Александрович, кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, v.melanin@yandex.ru

Столяров Николай Сергеевич, заслуженный экономист Российской Федерации, доктор экономических наук, кандидат философских наук, профессор, главный научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, stolyarov@gosniiga.ru

Authors information

Fridlyand Aleksandr A., Doctor of Sciences (Economics) Candidate of Sciences (Engineering), Professor, Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, info@aeroprogress.ru

Melanin Vladimir A., Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Deputy Director of the Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, v.melanin@yandex.ru

Stolyarov Nikolai S., Honored Economist of the Russian Federation, Doctor of Sciences (Economics), Candidate of Sciences (Philosophy), Professor, Chief Scientific Officer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, stolyarov@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 21.07.2025; одобрена после рецензирования 10.10.2025; принята к публикации 31.10.2025.
The article was submitted 21.07.2025; approved after reviewing 10.10.2025; accepted for publication 31.10.2025.

Научная статья
УДК 656.7.073

АНАЛИЗ УРОВНЯ ВНЕДРЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИЕЙ БЕЗОПАСНОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК АВИАГРУЗОВ

О. Ю. ЛАВРЕНТЬЕВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В данной статье исследуются современные подходы, которые предлагает использовать Международная организация гражданской авиации (ИКАО) в целях успешной реализации государствами – членами ИКАО стандартов Приложения 17 «Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства» (далее – Приложение 17) к Чикагской Конвенции, к решению поставленных задач в части, касающейся обработки и перевозки грузов, перевозимых воздушными судами (ВС) гражданской авиации в рамках безопасной цепи поставок (БЦП). Разработаны рекомендации по совершенствованию российского законодательства и созданию авиационных транспортно-логистических центров по обработке и перевозке авиагрузов в БЦП в соответствии с документом «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

Ключевые слова: авиационная безопасность, авиационный транспортно-логистический центр, безопасная цепь поставок, воздушное судно, вопросы протокола, гражданская авиация, досмотр, зарегистрированный агент, известный грузоотправитель, международная организация гражданской авиации, цепь поставок, транспортно-технологические системы страны

Для цитирования: Лаврентьев О. Ю. Анализ уровня внедрения Российской Федерацией безопасной цепи поставок авиагрузов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 109–116.

ANALYSIS OF THE LEVEL OF IMPLEMENTATION BY THE RUSSIAN FEDERATION OF A SAFE SUPPLY CHAIN FOR AIR CARGO

O. YU. LAVRENTYEV

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

Abstract. This article examines modern approaches to solving the tasks set by the International Civil Aviation Organization (ICAO) in order to successfully implement by member states of the ICAO Annex 17 Standards “Aviation Security. Safeguarding International Civil Aviation against Acts of Unlawful Interference” to the Chicago Convention, regarding the handling and transportation of cargo carried by civil aviation aircraft within the supply chain security (SCS). The practical significance of the article lies in the development of recommendations aimed at improving Russian legislation and the creation of aviation transport and logistics centers for the processing and transportation of air cargo in SCS in accordance with the “Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035”.

Keywords: aviation security, aviation transport and logistics center, supply chain security, aircraft, protocol questions, civil aviation, screening, regulated agent, known consignor, International Civil Aviation Organization, supply chain, transport-technological systems of the country

For citation: Lavrentyev O. Yu. Analysis of the level of implementation by the Russian Federation of a safe supply chain for air cargo. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 109–116. (In Russ.)

Введение

Первоисточником термина «безопасная цепь поставок» (БЦП) является международный стандарт ISO 28000:2022 «Безопасность и устойчивость к внешним воздействиям. Системы менеджмента безопасности. Требования» (далее – ISO 28000)¹, в котором определены требования как к самой цепи поставок, так и к применяемым в БЦП мерам безопасности. Первое издание ISO 28000 под названием «Системы менеджмента безопасности цепи поставок. Технические условия» вступило в действие после его официального опубликования в 2007 году.

ИКАО, используя успешные наработки ISO 28000, в целях наиболее эффективного противодействия рискам и угрозам, возникающим в сфере обеспечения безопасности авиагрузов, внесла поправку двенадцать в девятое издание Приложения 17, вступившее в силу 26.03.2011 года. Эта поправка относится к Стандарту 4.6.2 и устанавливает для государств – членов ИКАО концепцию комплексного обеспечения безопасности цепи поставок (ЦП) авиагрузов. Составными частями концепции являются:

- обеспечение безопасности ЦП авиагруза;
- одобрение уполномоченным государственным органом исполнительной власти, осуществляющим деятельность в сфере гражданской авиации (далее – уполномоченным государственным органом ГА), зарегистрированных агентов (ЗА), осуществляющих коммерческую деятельность с эксплуатантами воздушных судов (ЭВС) и обеспечивающих контроль в целях безопасности авиагрузов;
- одобрение уполномоченным государственным органом ГА отправляющих авиагруз за собственный счёт известных грузоотправителей (ИГ) либо иных организаций (ИО), процедуры которых отвечают общим правилам и стандартам безопасности для перевозки авиагруза на гражданских ВС;
- ведение реестров ЗА, ИГ, ИО уполномоченным государственным органом ГА [1, 2].

В случае, если применение досмотра или других мер обеспечения безопасности авиагруза не предусмотрено и не подтверждено ЭВС, ЗА, ИГ либо ИО в соответствии с требованиями Стандарта 4.6.5 [1], авиагруз должен быть подвергнут досмотру, а ЭВС не должны принимать авиагруз для перевозки.

В данной статье по умолчанию будет использован только термин «авиагруз», за исключением официальных нормативных правовых документов по авиационной безопасности, в названиях которых будет использован термин «почта».

Сценарий БЦП авиагруза ЗА, ИГ и ОИ нашёл своё отражение в инструктивных материалах ИКАО, в частности, в Главе 13 «Груз и почта» [2] и в разделе «Нормативные рамки ИКАО» документа «Глобальные грузовые авиаперевозки. Безопасность цепочки поставок авиагруза и почты и упрощение формальностей» и представлен на рис. 1 [2, 3].

При этом ни основной документ ИКАО по авиационной безопасности [1], ни иные инструктивные документы международной организации не дают прямых указаний государствам – членам ИКАО, в том числе и Российской Федерации, каким методом либо способом внедрять БЦП авиагрузов в деятельность ГА. Данное решение отдано на усмотрение государства, и государство само вправе выбрать любой сценарий, разработать нормативные правовые документы, посредством которых реализовывать мероприятия, направленные на соблюдение государством – членом ИКАО требований обработки и перевозки авиагрузов в рамках БЦП.

¹ ISO 28000:2022. Безопасность и устойчивость к внешним воздействиям. Системы менеджмента безопасности. Требования.

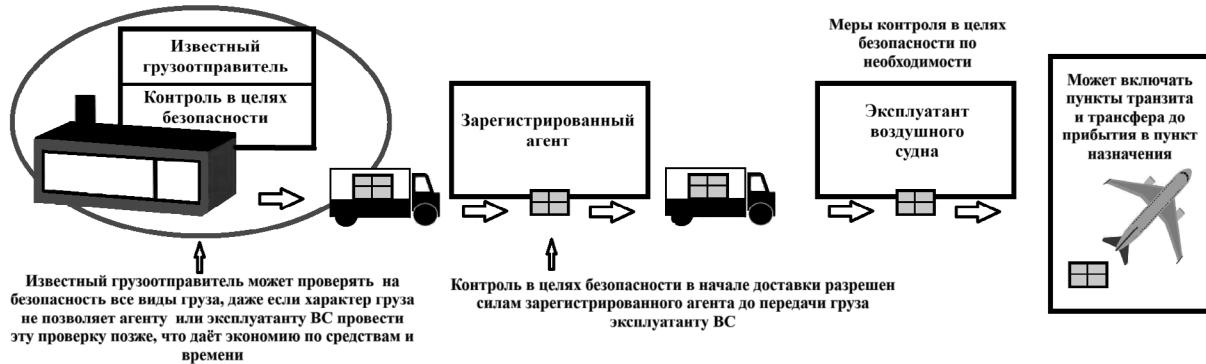


Рис. 1. Сценарии БЦП авиагруза

На двенадцатом совещании Европейской/Североатлантической группы по авиационной безопасности и упрощению формальностей ИКАО в рамках презентации рабочего документа [4] в июне 2025 года американская делегация высказала свою обеспокоенность возросшим количеством актов незаконного вмешательства (АНВ) в отношении авиагрузов, направляющихся в США в 2024 году. На основании вышеизложенного администрацией транспортной безопасности США (TSA) были приняты меры по снижению угроз, которые представляют авиагрузы, в том числе меры, направленные на устранение выявленных TSA несоответствий в рамках обеспечения безопасности ЦП авиагрузов.

С учётом международного опыта организации деятельности по реализации БЦП авиагрузов Российской Федерации в рамках развития Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года² (далее – Транспортная стратегия РФ) поставила своей целью развитие транспортной и транспортно-технологической системы страны, транспортно-логистических центров по обработке и перевозке авиагрузов в БЦП. В перспективе, в целях предупреждения АНВ в деятельность ГА авиационные транспортно-логистические центры (АТЛЦ) могут быть вынесены за пределы приаэрородромной территории для досмотра авиагрузов, в которые могут быть внедрены взрывные (ВУ) и зажигательные (ЗУ) устройства, усиленные биологическими и химическими, ядерными (радиоактивными), т. е. БХЯ компонентами [5], и автомобильных транспортных средств (АТС), не прошедших процедуры досмотра.

Преимущество АТЛЦ, находящихся за пределами приаэрородромной территории, в том, что возможные АНВ не нанесут ущерба аэропортовой инфраструктуре, не приведут к заражению территории аэропорта, не вызовут широкого общественного резонанса, не парализуют деятельность аэропорта и не нанесут репутационного ущерба интересам государства на международной арене.

При этом, как показали расчёты, выполненные автором статьи, при досмотре авиагруза в АТЛЦ, расположенным за пределами приаэрородромной территории, по сравнению с АТЛЦ, расположенным на приаэрородромной территории, эксплуатационные расходы снижаются на 25 % и существенно снижается вероятность осуществления АНВ.

Постановка задачи

В целях получения наиболее полной и объективной информации в отношении реализации государствами – членами ИКАО, в том числе Российской Федерацией, Стандартов 4.6.2 и 4.6.5 [1] и БЦП авиагрузов, ИКАО был разработан и 01.07.2025 в адрес подписчиков Чикагской

² Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 11.09.2025).

конвенции направлен документ [6], содержащий следующие разделы, касающиеся обработки и перевозки авиагрузов:

- раздел № 1 «Общая информация»;
- раздел № 2 «Безопасная цепь поставок»;
- раздел № 3 «Зарегистрированные агенты»;
- раздел № 4 «Известные грузоотправители»;
- раздел № 5 «Иные организации».

В свою очередь каждый из разделов содержит тематические узконаправленные вопросы, развёрнутые ответы на которые позволяют провести тщательный анализ и оценку, получив объективную картину:

- в отношении уровня и глубины внедрения Российской Федерации БЦП по обработке и перевозке авиагрузов;
- о целесообразности создания в рамках Транспортной стратегии РФ и БЦП авиационных транспортно-логистических центров по обработке авиагрузов за пределами приаэродромной территории как наиболее безопасных и экономичных.

Методика исследования

Для определения уровня внедрения и глубины реализации БЦП авиагрузов Российской Федерации помимо вопросов [6] используем также вопросы протокола (ВП) [7], которые являются основным инструментом оценки обеспечения авиационной безопасности при проведении аудитов государств-членов со стороны ИКАО, два из которых в качестве примера приведены в таблице.

Примеры из вопросов протокола [7]

№ ВП	Рекомендации по рассмотрению/исследованию подтверждающих данных	Номер Стандарта [1]	КЭ
3.210	Проводит ли государство мероприятия по контролю качества для отслеживания эффективности процесса обеспечения безопасности цепи поставок?	3.5.1	КЭ-7
7.050	Установило ли государство политику, определяющую процесс обеспечения безопасности цепи поставок, включающий утверждение зарегистрированных агентов и/или известных грузоотправителей, если такие организации задействованы в применении досмотра или других мер контроля в целях обеспечения безопасности груза и почты?	4.6.2	КЭ-2

КЭ – это номера критических элементов, которые ИКАО установила в качестве основных компонентов государственной системы надзора за авиационной безопасностью [8].

Ответы на вопросы разделов исследования ИКАО [7] с выбором одной из категорий «соответствует» либо «не соответствует» дают возможность сделать вывод о реальной картине реализации Российской Федерацией требований Стандартов 4.6.2 и 4.6.5 [1] и уровня внедрения БЦП авиагрузов. В том случае, если данная процедура по тем или иным причинам в государстве – члене ИКАО не применяется, то наряду с категориями «соответствует» либо «не соответствует» используется категория «неприменимо».

Раздел № 1 «Общая информация».

Вопросы раздела № 1 «Общая информация» носят общий характер и дают понимание, от имени какого государства либо организации выполняется данное исследование.

Раздел № 2 «Безопасная цепь поставок».

Изучение и анализ вопросов раздела № 2 дают понимание того, создана либо не создана в Российской Федерации система функционирования БЦП авиагрузов. Для всестороннего исследования вопросов раздела № 2 используются ВП, в соответствии с ответами на которые и делается вывод о том, установила ли Российской Федерацией политику, определяющую процесс обеспечения безопасности ЦП. Основным документом, регламентирующим проведение досмотра, на основании которого и осуществляется обследование авиагрузов, перемещаемых как на объект транспортной инфраструктуры (аэропорт), так и на транспортное средство – ВС, является Приказ Министерства транспорта России от 04.02.2025 № 34³ (далее – Приказ МТ № 34).

При этом необходимо учитывать характеристики свойств АТЛЦ в БЦП с позиции реализации требований авиационной безопасности, которые выражаются кортежем компонентов $Q_{\text{АТЛЦ}}$ [9]. Компоненты ЦП выражаются совокупностью постоянных и переменных параметров, времени и пространственных характеристик локализации и имеют минимальное количество равное семи. Это доставка авиагруза на досмотр; комплектование партии авиагруза, его пакетирование, паллелирование или контейнирование; досмотр сотрудниками службы авиационной безопасности АТС, на котором будет перевозиться авиагруз; погрузка авиагруза на АТС и его опечатывание от несанкционированного доступа; перевозка авиагруза на АТС и его доставка к борту ВС; досмотр ВС сотрудниками безопасности; загрузка авиагруза на ВС [10].

Российской Федерацией как государством – членом ИКАО в соответствии:

1) со Стандартом 4.6.2 [1] и ВП 7.050 [7] создана и успешно функционирует БЦП ([2], стр. 812), жёстко регламентирующая проведение досмотра авиагруза на приаэродромной территории с использованием как минимум семи компонентов ЦП авиагруза;

2) со Стандартом 4.6.2 [1], ВП 7.053, 7.065, 7.080 с) и d) [7] с 04.05.2011 года уполномоченным государственным органом – Росавиацией ведётся «Реестр субъектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств»⁴ (далее – Реестр СТИ и ТС). Реестр включает в себя список участвующих в процессе обеспечения БЦП авиагрузов 214 субъектов транспортной инфраструктуры (СТИ), их наименования и организационно-правовые формы. СТИ являются составной частью БЦП авиагрузов, а в соответствии с ВП № 7.087 а) и б) [7] имеют право проверять статус безопасности авиагруза и присваивать авиагрузам статус безопасных. Механизм принятия решения о приёмке авиагруза, т. е. процесс получения авиагрузом статуса безопасности представлен в ([2], стр. 813).

В то же время совместные руководящие принципы Всемирной таможенной организации (ВТАМО) и ИКАО декларируют необходимость предоставления предварительной информации об авиагрузе и статусе его безопасности до его погрузки на ВС. Авиагруз на основании совместно утверждённой ВТАМО и ИКАО «Программы предоставления предварительной информации о грузе до его погрузки» (процесс PLACI, рис. 2) [11] должен в обязательном порядке проходить оценку рисков. Это является дополнительным инструментом обеспечения авиационной безопасности, который применяется в отношении авиагруза в соответствии с процессом PLACI.

В целях проведения первоначальной оценки риска безопасности авиагруза, до его погрузки на ВС, предварительная информация об авиагрузе, в соответствии с Приложением 13 [11], должна содержать как минимум семь элементов данных PLACI:

- 1) название грузоотправителя;
- 2) адрес грузоотправителя;

³ Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 04.02.2025 № 34 «Об установлении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра, наблюдения и (или) собеседования в целях обеспечения транспортной безопасности». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202502210023> (дата обращения: 11.09.2025).

⁴ Реестр субъектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-transportnaja-bezopasnost-kategorirovaniye-oti-reestr-oti-i-ts/>

- 3) название грузополучателя;
 - 4) адрес грузополучателя;
 - 5) количество мест;
 - 6) общий вес (масса), включая упаковку;
 - 7) краткое описание авиаагруда и способа его перевозки.

При анализе риска, с учётом указанных семи элементов данных PLACI, основную роль в принятии решения о присвоении авиагрузу статуса безопасного, как правило, играет восьмой элемент данных PLACI (процесс 7+1, рис. 2) [11] – это непосредственно угроза. Такая, к примеру, как самодельное взрывное устройство, внедрённое террористами в авиагруз. На основании первоначальной оценки риска по восьми элементам данных PLACI и принимается решение о перевозке либо об отказе от перевозки авиагруза до его загрузки в ВС.

Наряду с процессом PLACI согласно ВП № 7.085 [7], если авиагруз не имеет статуса безопасного, т. е. не был досмотрен, либо к нему не были применены иные меры контроля в целях безопасности, либо они не были предусмотрены и не подтверждены ЗА, ИГ либо ИО, то это является основанием для отказа ЭВС принимать авиагруз для перевозки на гражданском ВС.

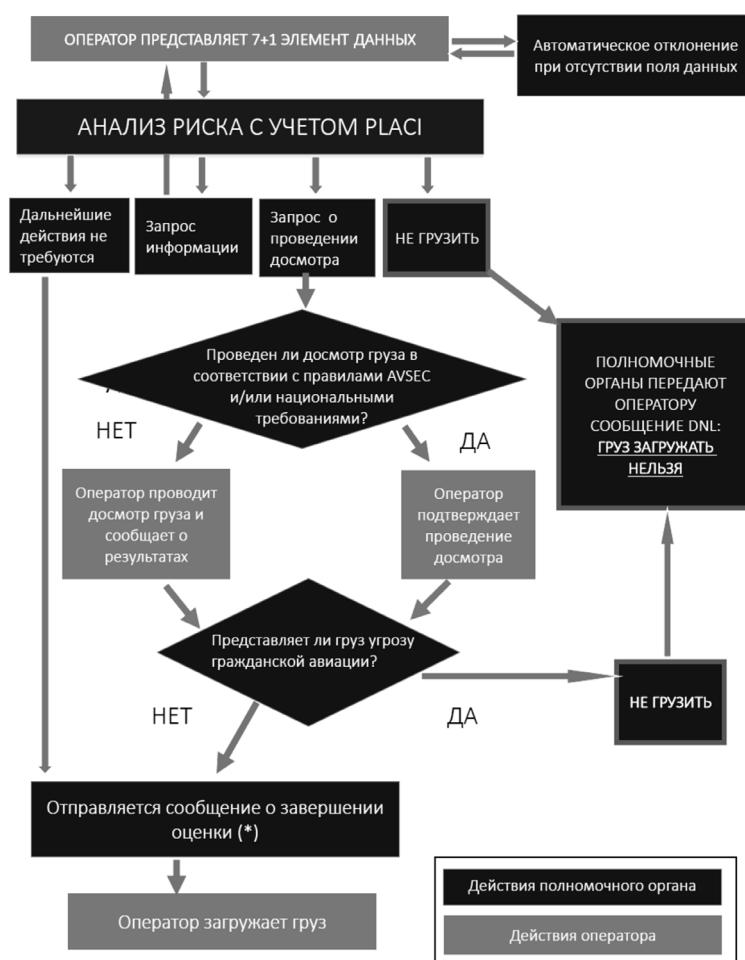


Рис. 2. Процесс PLACI

Разделы № 3 «Зарегистрированные агенты», № 4 «Известные грузоотправители» и № 5 «Иные организации».

Приказ МТ № 34 на законодательном уровне закрепляет требования осуществлять досмотр авиагруза в аэропортах Российской Федерации только на приаэродромной территории. При этом Реестр СТИ и ТС Росавиации, о котором упоминалось выше, включает в себя только список

одобренных Росавиацией ИО, их наименования и организационно-правовые формы, которые в соответствии с требованиями Стандарта 4.6.5 [1] и ВП № 7.060 с) и е) [7] принимают участие в досмотре авиагруза на приаэрородромной территории. Деятельность ИО в полном объеме реализует установленные российским и международным законодательством требования в сфере обеспечения БЦП авиагруза. Наличие категории ЗА, ИГ, осуществляющих досмотр авиагруза за пределами приаэрородромной территории, в российском законодательстве, а соответственно и в обеспечении БЦП авиагрузов в РФ не предусмотрено.

Заключение

Результаты проведённой оценки и анализа тематических узконаправленных вопросов [6] и вопросов протокола [7], международных и российских нормативных правовых актов, в частности Транспортной стратегии РФ и [1], наряду с объективной картиной обеспечения высокого уровня безопасности ЦП авиагрузов, показали высокий уровень и глубину внедрения БЦП авиагрузов в деятельность транспортной и транспортно-технологической системы Российской Федерации.

В целях совершенствования деятельности по поддержанию на высоком уровне безопасности ЦП авиагрузов, направленной на снижение эксплуатационных расходов, профилактику и противодействие совершению АНВ, успешное прохождение аудитов в рамках механизма непрерывного мониторинга Универсальной программы проверок ИКАО в сфере обеспечения авиационной безопасности Российской Федерации целесообразно рассмотреть вопросы:

- о создании в рамках Транспортной стратегии РФ и БЦП авиационных транспортно-логистических центров по досмотру авиагрузов за пределами приаэрородромных территорий как более безопасного и экономичного по сравнению с досмотром авиагрузов на приаэрородромных территориях;

- о внесении в Реестр СТИ и ТС Росавиации в установленном российским законодательством порядке ЗА и ИГ, которые в рамках реализуемой на территории Российской Федерации БЦП будут осуществлять за пределами приаэрородромной территории досмотр, обработку и перевозку авиагрузов.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников

1. Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации. Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Изд. 12. Монреаль: ИКАО, 2022. 74 с.
2. ICAO Doc 8973. Aviation security manual. Thirteenth edition. ICAO, 2022, 946 p.
3. Moving Air Cargo Globally. Air Cargo and Mail Secure Supply Chain and Facilitation. Third edition. Montreal, ICAO, WCO, 2023, 42 p.
4. ICAO ENAVSECG/12 – WP/12. The transportation security administration's response to the cargo and mail security threat. Paris, ICAO, 2025, 3 p.
5. Convention on the Suppression of Unlawful Acts Relating to International Civil Aviation. ICAO, 2011, 94 p.
6. ICAO Survey to determine the prevalence of a secure supply chain for air cargo and mail amongst member states. Montreal, ICAO, 2025, 5 p.
7. ICAO Universal security audit programme continuous monitoring approach. Protocol questions. Montreal, ICAO, 2022, 145 p.
8. ICAO Doc 10047. Aviation Security Oversight Manual. Second Ed. ICAO, 2021, 50 p.

9. Мусин С. М., Лаврентьев О. Ю., Зубков Б. В., Кулешов А. А. Оценка рисков технологий досмотра авиагруза в системе обеспечения авиационной безопасности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С. 108–120.
10. Мусин С. М., Лаврентьев О. Ю. Контроль качества безопасности цепи поставок грузов, перевозимых воздушным транспортом // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 34. С. 126–136.
11. Joint WCO-ICAO guiding principles for pre-loading advance cargo information (PLACI). Bern, WCO-ICAO, 2019, 12 p.

References

1. Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Aviation security. Safeguarding International Civil Aviation against Acts of unlawful Interference. Twelfth Ed. Montreal, ICAO, 2022, 66 p.
2. ICAO Doc 8973. Aviation security manual. Thirteenth edition. ICAO, 2022, 946 p.
3. Moving Air Cargo Globally. Air Cargo and Mail Secure Supply Chain and Facilitation. Third edition. Montreal, ICAO, WCO, 2023, 42 p.
4. ICAO ENAVSECG/12 – WP/12. The transportation security administration's response to the cargo and mail security threat. Paris, ICAO, 2025, 3 p.
5. ICAO Doc 9960. Convention on the Suppression of Unlawful Acts Relating to International Civil Aviation. ICAO, 2011, 94 p.
6. ICAO Survey to determine the prevalence of a secure supply chain for air cargo and mail amongst member states. Montreal, ICAO, 2025, 5 p.
7. ICAO Universal security audit programme continuous monitoring approach. Protocol questions. Montreal, ICAO, 2022, 145 p.
8. ICAO Doc 10047. Aviation Security Oversight Manual. Second Ed. ICAO, 2021, 50 p.
9. Musin S. M., Lavrentyev O. Yu., Zubkov B. V., Kuleshov A. A. Risk assessment of air cargo screening in the aviation security system. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32, pp. 108–120. (In Russ.)
10. Musin S. M., Lavrentyev O. Yu. Quality control of the security of the supply chain of goods transported by air. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 126–136. (In Russ.)
11. Joint WCO-ICAO guiding principles for pre-loading advance cargo information (PLACI). Bern, WCO-ICAO, 2019, 12 p.

Информация об авторе

Лаврентьев Олег Юрьевич, директор Московского регионального учебного центра ИКАО по авиационной безопасности, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, lavrentyev@gosniiga.ru

Author information

Lavrentyev Oleg Yu., Director of the ICAO Moscow aviation security regional training center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, lavrentyev@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 13.09.2025; одобрена после рецензирования 10.10.2025; принята к публикации 14.11.2025.
The article was submitted 13.09.2025; approved after reviewing 10.10.2025; accepted for publication 14.11.2025.

Научная статья
УДК 351.814.2

СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ КОММЕРЧЕСКИХ АВИАКОМПАНИЙ

В. С. АКСЮТИН¹, Ю. В. ПОПОВ², О. Г. ФЕОКТИСТОВА³, А. А. КУЛЕШОВ^{3,4}

¹ Авиакомпания «Аврора», Южно-Сахалинск, Россия

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

³ Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

⁴ Научно-производственное предприятие «Аэросила», Ступино, Московская область, Россия

Аннотация. В работе описан новый метод оценки эксплуатационных рисков для безопасности полётов. Введено понятие системы контроля фактора опасности, и вероятность рисков рассматривается как функция уровня качества этой системы, определяемого с применением системного анализа и квадиметрического подхода. Под термином «вероятность риска», который используется в [1], здесь и далее по тексту будем понимать возможность возникновения последствия или результата фактора опасности. Метод включает процессы построения и анализа системы контроля фактора опасности, способ установления соотношения между рассчитанным уровнем качества системы и вероятностью риска, матрицу оценки риска. Применение метода позволяет повысить объективность оценки эксплуатационных рисков и эффективность СУБП авиакомпаний.

Ключевые слова: риск, неопределенность, модель системы, уровень качества системы, вероятность риска, оценка риска, транспортно-технологические системы страны

Для цитирования: Аксютин В. С., Попов Ю. В., Феоктистова О. Г., Кулешов А. А. Системно-аналитический метод оценки эксплуатационных рисков для безопасности полётов коммерческих авиакомпаний // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2025. № 52. С. 117–126.

SYSTEM-ANALYTICAL METHOD FOR ASSESSING OPERATIONAL SAFETY RISKS OF COMMERCIAL AIRLINES

V. S. AKSYUTIN¹, YU. V. POPOV², O. G. FEOKTISTOVA³, A. A. KULESHOV^{3,4}

¹ Aurora Airlines, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

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

³ Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

⁴ Research and Production Enterprise “Aerosila”, Stupino, Moscow region, Russia

Abstract. The paper describes a new method for assessing operational risks to flight safety. The concept of a hazard control system was introduced, and the risks probability is considered as a function of the quality level of this system, determined using a system analysis and a qualimetric approach. Under the term “risk probability”, which is used in [1], hereinafter we will understand the possibility of the occurrence of a consequence or outcome of a hazard. Method includes processes of constructing and analyzing a hazard control system, a method of establishing a ratio between the calculated level of quality of the system and the risk probability, a risk assessment

matrix. Application of the method allows improving objectivity of operational risk assessment and efficiency of the airlines Safety Management System.

Keywords: risk, uncertainty, system model, system quality level, risk probability, risk assessment, transport-technological systems of the country

For citation: Aksyutin V. S., Popov Yu. V., Feoktistova O. G., Kuleshov A. A. System-analytical method for assessing operational safety risks of commercial airlines. *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2025, no. 52, pp. 117–126. (In Russ.)

Введение

Согласно принятому ИКАО определению безопасности полётов считается, что авиакомпания обеспечивает безопасность полётов, если риски, связанные с её деятельностью, снижены до приемлемого уровня и удерживаются на нём [1]. Отсюда следует, что способность авиакомпании осуществлять эффективный процесс управления эксплуатационными рисками является необходимым условием для обеспечения соответствия авиакомпании международным требованиям в области безопасности полётов. Достижение соответствия этому условию требует применения инструментария, обеспечивающего объективность оценки эксплуатационных рисков, необходимую для принятия эффективных управленческих решений в отношении выявленных рисков. Отсутствие такого инструментария может привести к недооценке высоких рисков для безопасности полётов, невыделению ресурсов, необходимых для уменьшения рисков и, как следствие, к их реализации. С другой стороны, обеспечение объективности оценки эксплуатационных рисков создаёт условия для достижения желаемого уровня безопасности полётов при оптимальном использовании ресурсов.

В настоящее время в коммерческих авиакомпаниях широко применяется частотный подход к определению вероятности риска, согласно которому вероятность риска определяется исходя из частоты событий, аналогичных рассматриваемому событию. Но соответствует ли такой подход современным научным представлениям о рисках для безопасности сложных социально-технических систем? Для ответа на этот вопрос обратимся к основным понятиям теории вероятностей, лежащим в основе вероятностно-статистических методов.

Вероятностно-статистические методы, включая частотный подход, предназначены для определения вероятности однородных случайных событий.

Однородные события – это события, которые происходят при наступлении одних и тех же условий. Это определение невозможно применить к авиационным событиям, поскольку анализ материалов расследований позволяет утверждать, что на первый взгляд схожие события происходят в существенно различных условиях.

Случайное событие определяется как следствие случайных факторов, воздействие которых предугадать невозможно или крайне затруднительно. Применение частотного подхода для оценки вероятности рисков авиационных событий равносильно признанию, что их причинами являются случайные факторы, что не соответствует действительности: причины авиационных событий, в том числе редких событий, можно выявить и объяснить.

Таким образом, применение частотного подхода к определению вероятности риска вряд ли можно считать достаточно обоснованным. Теоретический анализ литературы, посвящённой исследованиям в области вероятности рисков, подводит к такому же выводу [2–4].

По мнению авторов настоящей статьи, применение частотного подхода для оценки вероятности риска обосновано для стороннего наблюдателя, не располагающего детальной информацией о состоянии системы и не определяющего её поведение, например, для отраслевого надзорного органа. При этом необходимо учитывать, что, как следует из вышесказанного, значительная погрешность результата такой оценки вероятности риска неизбежна.

Целью данной работы является описание метода оценки эксплуатационных рисков для безопасности полётов, использующего системный анализ и квадиметрический подход к определению вероятности риска. Метод основывается на современном понимании концепции риска, согласно которому «результаты оценки риска зависят от имеющихся знаний об анализируемой системе и/или процессе [5, с. 178]. Предлагаемый метод можно рассматривать как дальнейшее развитие метода оценки рисков, вызываемых проблемными вопросами безопасности, описанного в методологии ARMS [6].

Раскрытие неопределённости, связанной с оценкой риска

ИКАО определяет риск для безопасности полётов как предполагаемую вероятность и серьёзность последствий или результатов опасности. В этом определении опасность – состояние (условие) или объект, которые могут вызвать авиационный инцидент или авиационное происшествие, или способствовать его возникновению; вероятность – возможность возникновения небезопасного события или результата; серьёзность последствий или результатов опасности – степень вреда, который обоснованно можно ожидать в виде последствий или результатов опасности. По ИСО¹ риск определяется как влияние неопределенности, при этом под неопределенностью понимается состояние, связанное с недостатком, даже частично, информации или знания о событии, его последствиях или вероятности. Исходя из этих определений, риск может быть представлен в виде кортежа:

$$R = [H, C(U), P(U)], \quad (1)$$

где R – риск, H – фактор опасности, C – серьёзность последствий, P – возможность возникновения небезопасного события или результата, U – неопределенность в отношении серьёзности и вероятности риска.

Практика показывает, что неопределенность, связанная с определением серьёзности риска, достаточно объективно раскрывается экспертным оцениванием путём анализа последствий событий, аналогичных событию, риск которого оценивается, что подтверждается также исследованиями [7, с. 19], [8, с. 3]. Проблемным вопросом является раскрытие неопределенности в отношении вероятности риска. С учётом этого обстоятельства выражение (1) может быть преобразовано к виду

$$R = [H, C, P(U)],$$

где U – неопределенность в отношении вероятности риска.

Для раскрытия этой неопределенности будем исходить из модели «швейцарского сыра» Ризона, показывающей, что авиационные события обусловлены потерей эффективности барьеров², встроенных в авиационную систему и защищающих её от воздействия факторов опасности [1]. Для каждого выявленного фактора опасности можно определить противодействующие ему барьеры, образующие систему контроля данного фактора опасности, обладающую определенным качеством, под которым понимается совокупность существенных свойств системы, обуславливающая её пригодность для предотвращения воздействия или реализации потенциала конкретного фактора опасности.

Отсюда следует, что неопределенность U в отношении вероятности риска может быть раскрыта путём определения уровня качества системы контроля фактора опасности (СКФО):

¹ ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

² Барьеры, средства защиты, средства контроля риска: специальные меры по смягчению последствий, превентивные средства контроля или меры по восстановлению, применяемые для предотвращения реализации фактора опасности или её эскалации в нежелательное последствие.

чем выше качество СКФО, тем ниже возможность возникновения небезопасного события или результата фактора опасности, для предотвращения которого данная СКФО предназначена, и наоборот. Тогда риск определяется следующим выражением:

$$R = [H, C, P(Q)],$$

где Q – уровень качества системы контроля фактора опасности.

Таким образом, задача оценки риска, связанного с фактором опасности H_j , способным реализоваться в определённое последствие C_j , сводится к определению уровня качества системы контроля фактора опасности Q_j и установлению соотношения между вероятностью риска P и Q_j .

Определение уровня качества системы контроля фактора опасности

Для выполнения своего предназначения СКФО должна обладать качеством, позволяющим ей функционировать в соответствии с кибернетическим законом необходимого разнообразия, который может быть кратко сформулирован следующим образом: разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия объекта управления, где под разнообразием понимается характеристика сложности системы, выражаемая числом её возможных состояний [9]. Согласно теореме Конанта-Эшби, непосредственно вытекающей из закона необходимого разнообразия, любая эффективная управляющая (контролирующая, регулирующая) система, независимо от природы и сложности объекта управления, должна располагать хорошей моделью объекта управления [10]. Пример реализации теоремы Конанта-Эшби на практике – открытие замка с помощью ключа.

Таким образом, и модель, и управляющая система должны обладать разнообразием, позволяющим осуществлять управляющее воздействие, соответствующее каждому возможному состоянию объекта управления.

Авиационные происшествия, как правило, являются результатом несоответствия между используемой экипажем ментальной моделью процесса, протекающего под воздействием фактора опасности, и фактическим состоянием процесса.

Применяя кибернетический подход к построению и анализу СКФО как контролирующей системы, приходим к выводу, что в качестве модели объекта управления необходимо использовать вероятный сценарий реализации фактора опасности, отражающий возможные нежелательные состояния контролируемого процесса, а модель СКФО должна включать барьеры, предотвращающие возникновение этих состояний или устраняющие эти состояния в случае их возникновения.

Для построения вероятного сценария могут быть использованы отчёты о расследовании событий, произошедших под воздействием рассматриваемого фактора опасности, или, при их отсутствии, обоснованные мнения экспертов.

Для описания модели СКФО авторами предлагается применение комбинированного метода, предполагающего сочетание методов Исикавы и «галстук-бабочка»³. Модель строится в виде диаграммы, в которой фактор опасности H и его последствие C соединены горизонтальной линией, отображающей вероятный сценарий реализации H . На этой линии может быть отображено также промежуточное небезопасное событие UE , если это целесообразно для более полного описания модели. Барьеры, препятствующие реализации сценария $H-UE-C$, изображаются ниже или выше горизонтальной линии и соединены с ней вертикальными линиями. В зависимости от выполняемой функции барьеры могут подразделяться на предотвращающие (Bp) и восстанавливающие (Br), если в сценарии предусмотрено промежуточное небезопасное событие. Пример модели СКФО показан на рис. 1.

³ ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска.

Барьеры, подлежащие включению в СКФО, как правило, описаны в нормативных документах, определяющих требования к производственным процессам (руководства, технологии, описания технических систем и оборудования, организационные документы).

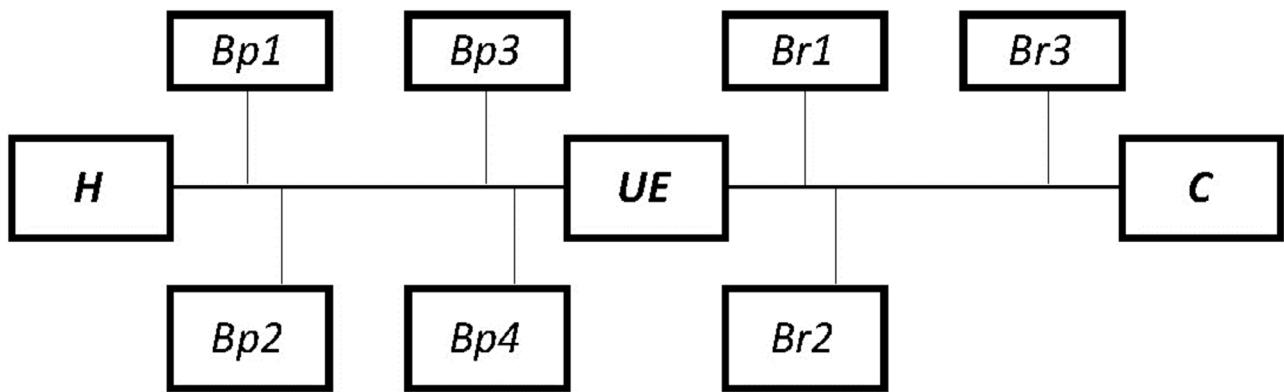


Рис. 1. Пример модели СКФО

В модель СКФО могут быть включены также барьеры, описание которых отсутствует в нормативных документах на момент проведения анализа, но, по мнению экспертов, данные барьеры необходимы для обеспечения эффективного контроля рассматриваемого фактора опасности.

Для определения уровня качества СКФО авторами применён квалиметрический подход, согласно которому качество СКФО обеспечивается барьерами, формирующими её интегральное свойство. Каждый барьер обладает качеством, определяемым совокупностью его существенных свойств, необходимых для эффективного противодействия определённому проявлению фактора опасности. Качество j -й СКФО определяется через обобщённый показатель качества Q_j , выражающий совокупность свойств, определяющих показатели качества барьеров q_i^j , входящих в j -ю СКФО:

$$Q_j = \langle q_1^j, q_2^j, \dots, q_i^j, \dots, q_n^j \rangle,$$

где n – количество барьеров, формирующих СКФО.

Проведённое авторами исследование показало, что для эффективного выполнения своей функции каждый барьер, входящий в СКФО, должен обладать качеством, характеризуемым следующими свойствами (критериями качества):

1. Наличие процедуры (технологии), описывающей условия, при которых барьер подлежит применению, и действия, которые необходимо выполнить для его применения.
2. Персонал подготовлен к применению барьера (есть утверждённая программа подготовки и документальное подтверждение прохождения обучения и проверки знаний и навыков с определённой периодичностью).
3. Осуществляется мониторинг применения барьера (если барьер применяется в производственных условиях) или мониторинг готовности к применению (если барьер применяется в особых ситуациях).
4. Назначены лица, непосредственно отвечающие за соответствие барьера критериям качества (подтверждается должностными инструкциями, положениями, любыми нормативными документами авиакомпании).

Качество барьера оценивается в баллах. Для повышения объективности оценки устанавливается правило назначения баллов при оценке свойств барьера, позволяющее отразить степень соответствия качества барьера установленным критериям:

- а) если барьер не соответствует критерию 1, то качество оценивается в 0 баллов по всем критериям, так как остальные критерии тоже не выполняются;

б) если барьер соответствует критерию 1, но необходимо внесение в процедуру изменений/дополнений, то по критериям 1 и 2 барьер оценивается в 0 баллов, а по остальным критериям – согласно п. в);

в) если барьер соответствует критерию качества, то по этому критерию он оценивается в 1 балл, если не соответствует – в 0 баллов;

г) включение барьера в состав СКФО оценивается в 1 балл, даже если все его свойства оценены в 0 баллов.

Показатель качества барьера определяется как сумма баллов, полученных при оценке свойств барьеров:

$$q_i^j = \sum_{k=1}^4 c_k + 1, \quad (2)$$

где c_k – оценка k -го свойства барьера в баллах.

Следует отметить, что при определении показателей качества барьеров и обобщённого показателя качества сделано допущение, что все свойства имеют одинаковую важность. Данное допущение обосновывается тем, что погрешностью результата оценки q_i^j и Q_j из-за неучёта важности свойств можно пренебречь с точки зрения обеспечения объективности оценки, но это позволяет значительно уменьшить трудозатратность процесса оценивания за счёт отсутствия необходимости в расчёте коэффициентов важности.

Учитывая вышеизложенное, обобщённый показатель качества j -й СКФО можно рассчитать как среднее арифметическое или среднее геометрическое значений показателей качества барьеров. В связи с тем, что среднее геометрическое позволяет в большей степени учитывать влияние меньших значений показателей качества барьеров q_i^j на значение обобщённого показателя качества Q_j , расчёт Q_j выполняется с использованием среднего геометрического по формуле:

$$Q_j = \left(\prod_{i=1}^n q_i^j \right)^{1/n} = \sqrt[n]{q_1^j q_2^j \dots q_n^j}. \quad (3)$$

В принятой системе начисления баллов значения показателей качества барьеров q_i^j и обобщённого показателя качества СКФО Q_j , рассчитанные по формулам (2) и (3), могут изменяться в диапазоне от 1 до 5 баллов.

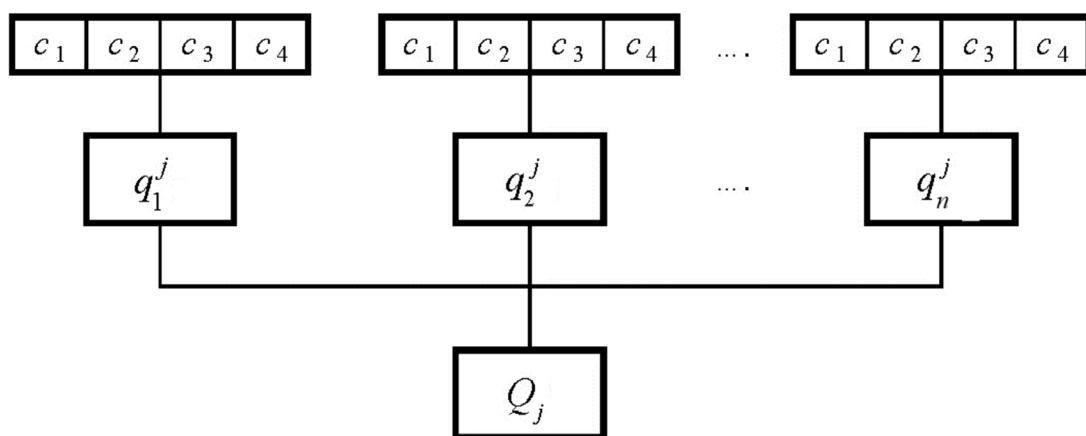


Рис. 2. Дерево свойств СКФО

На рис. 2 алгоритм расчёта обобщённого показателя качества СКФО, включающей n барьеров, представлен в графической форме в виде дерева свойств качества. Рассчитанная количественная оценка уровня качества СКФО нуждается в вербальном определении,

обеспечивающим однозначное психологическое восприятие этой оценки. Для установления соответствия между количественной оценкой качества и его верbalным определением используется дискретная вербально-числовая шкала желательности, разработанная на основе шкалы желательности, предложенной Харрингтоном [11]. Данная шкала позволяет переводить балльную оценку качества СКФО в возможном диапазоне от 1 до 5 в вербальную оценку (табл. 1). Численные значения шкалы, задающие ширину интервалов оценки качества в баллах, получены эмпирическим путём.

Таблица 1
Вербально-числовая шкала желательности

Балльная оценка качества СКФО	Вербальная оценка качества СКФО
1–2,2	Очень низкое
>2,2–2,7	Низкое
>2,7–3,7	Удовлетворительное
>3,7–4,6	Высокое
>4,6–5,0	Очень высокое

**Установление соотношения между уровнем качества СКФО и вероятностью риска.
Матрица оценки риска для практического применения**

Соотношение между уровнем качества СКФО и вероятностью риска устанавливается с помощью классификационной табл. 2, отражающей обратную зависимость между уровнем качества СКФО и возможностью возникновения последствия или результата фактора опасности. Категории вероятности риска описаны вербально, каждой категории присвоены числовые значения от 1 до 5, применяемые при обозначении индекса риска.

Таблица 2
Соотношение между уровнем качества СКФО и вероятностью риска

Балльная оценка качества СКФО	Вербальная оценка качества СКФО	Вербальное описание вероятности риска	Значение вероятности Индекс риска
1–2,2	Очень низкое	Очень высокая	5
>2,2–2,7	Низкое	Высокая	4
>2,7–3,7	Удовлетворительное	Средняя	3
>3,7–4,6	Высокое	Низкая	2
>4,6–5,0	Очень высокое	Очень низкая	1

Инструментом, используемым экспертами при применении системно-аналитического метода оценки эксплуатационных рисков, является матрица оценки риска, представленная в табл. 3. В данной матрице для определения вероятности риска используется табл. 2 и рассчитанный уровень качества СКФО.

Матрица оценки риска представляет собой способ интегрирования оценок серьёзности и вероятности риска возникновения небезопасного события, позволяющий получать индекс риска, используемый для оценки допустимости риска. Индекс риска выражается в виде буквенно-цифрового обозначения, получаемого путём объединения в ячейке матрицы результатов определения вероятности и серьёзности риска.

Таблица 3
Матрица оценки риска

Качество СКФО		Вероятность риска	Серьёзность риска			
			Катастрофа, чрезвычайное происшествие А	Авария, чрезвычайное происшествие В	Серьёзный инцидент С	Инцидент, повреждение воздушного судна D
Балл	Описание	Очень высокая	5	5A	5B	5C
1–2,2	Очень низкое	Высокая	4	4A	4B	4C
>2,2–2,7	Низкое	Средняя	3	3A	3B	3C
>2,7–3,7	Удовлетворительное	Низкая	2	2A	2B	2C
>3,7–4,6	Высокое	Очень низкая	1	1A	1B	1C
>4,6–5,0	Очень высокое					1D

Для определения допустимости риска индекс риска необходимо перенести на матрицу допустимости риска (табл. 4). Данная матрица описывает рекомендуемые действия по уменьшению риска в зависимости от его уровня.

Таблица 4
Допустимость рисков для безопасности полётов

Диапазон индексов риска	Уровень риска	Рекомендуемые действия
5A, 5B, 4A	НЕДОПУСТИМЫЙ (ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ)	Прекратить эксплуатацию или технологический процесс до тех пор, пока не будут приняты меры по уменьшению риска как минимум до допустимого уровня. Требуется принятие решения на уровне генерального директора.
3A, 4B, 5C	НЕДОПУСТИМЫЙ (ВЫСОКИЙ)	Незамедлительно принять меры по уменьшению риска как минимум до допустимого уровня, или прекратить эксплуатацию или технологический процесс.
5D, 4C, 4D, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 2D, 1A	ДОПУСТИМЫЙ (УМЕРЕННЫЙ)	Разработать и утвердить план мероприятий по снижению риска до наименьшего практически возможного уровня (НПВУ).
1B, 2C, 3D	ПРИЕМЛЕМЫЙ (НИЗКИЙ)	Дальнейшее уменьшение риска не является обязательным.

Например, индекс 4B соответствует недопустимому (высокому) уровню риска, что требует принятия незамедлительных мер по уменьшению риска как минимум до допустимого для продолжения операций, к которым данный риск относится.

Заключение

Применение предложенного метода позволяет повысить объективность оценки эксплуатационных рисков и обеспечить эффективное управление рисками.

Объективность оценки рисков достигается в результате применения экспертами одного и того же правила оценивания свойств систем контроля факторов опасности, что сводит разброс оценок к минимуму.

Эффективность управления рисками достигается за счёт оценки риска нежелательных событий на основе знаний о состоянии систем, предназначенных для контроля факторов опасности.

Таким образом, применение предложенного метода оценки эксплуатационных рисков создаёт условия для построения СУБП, обеспечивающей достижение желаемого уровня безопасности полётов при оптимальном использовании ресурсов.

В рамках предложенного метода способ определения уровня качества СКФО может быть адаптирован в зависимости от особенностей области оценки рисков, например, для лётной деятельности, деятельности по техническому или наземному обслуживанию воздушных судов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список источников / References

1. ИКАО Doc 9859. Руководство по управлению безопасностью полётов. Издание четвертое. ИКАО, 2018. 214 с. [ICAO Doc 9859. Safety Management Manual. Fourth Ed., ICAO, 2018, 182 p.]
2. Leveson N. *Safety III: A Systems Approach to Safety and Resilience*. Mit Engineering Systems Lab, 2020, available at: <http://sunnyday.mit.edu/safety-3.pdf> (accessed: 01.11.2024).
3. Klim Z. H., Balazinski M, Komljenovic D. Probabilistic Approach Limitations in the Analysis of Safety Critical Systems. *Proceedings of the 24th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostics Engineering Management*, Stavanger, Norway, 2011, available at: https://www.researchgate.net/publication/266364253_Probabilistic_Approach_Limitations_in_the_Analysis_of_Safety_Critical_Systems (accessed: 01.11.2024).
4. Aven T., Krohn B. S. A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. *Reliability Engineering and System Safety*, 2014, vol. 121, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.07.005>
5. Zio E. The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*, 2018, vol. 177, pp. 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.04.020>
6. Рабочая группа ARMS. Методология ARMS для Оценки эксплуатационных рисков в авиационных организациях. 2010 [Электронный ресурс]. URL: https://zs.favt.ru/public/materials/files/6_%20Metodologija_ARMS.pdf (дата обращения: 01.11.2024) [Working Group ARMS. ARMS Methodology for operational risk assessment in aviation organizations, 2010. (In Russ.)].
7. Leveson N. A. Systems Approach to Risk Management Through Leading Safety Indicators. *Reliability Engineering and System Safety*, 2015, vol. 136, pp. 17–34. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2014.10.008>
8. Bustain G., Zuckerman I. Uncertainty Reduction in Operational Risk Management Process. *Risks*, vol. 12, no. 5, 77, 2024. <https://doi.org/10.3390/risks12050077>
9. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. Москва: Издательство иностранной литературы, 1959. 429 с. [Ashby W. R. *Introduction to Cybernetics*. New York, John Wiley & Sons Inc., 1956, 295 p.].
10. Conant R., Ashby W. R. Every good regulator of a system must be a model of that system. *Int. J. Systems Sci.*, 1970, vol. 1, no. 2, pp. 89–97. <https://doi.org/10.1080/00207727008920220>
11. Harrington E. C. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, vol. 21, 1965, pp. 494–498.

Информация об авторах

Аксютин Виктор Сергеевич, директор по качеству и безопасности полётов, Авиакомпания «Аврора», Южно-Сахалинск, Россия, aksiutinvs@flyaurora.ru

Попов Юрий Васильевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, tov_popov@rambler.ru

Феоктистова Оксана Геннадьевна, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, oksana-feoktistova@yandex.ru

Кулешов Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры, Московский государственный технический университет гражданской авиации; заместитель генерального директора по гражданской авиатехнике, Научно-производственное предприятие «Аэросила», Ступино, Московская область, Россия, kaa_alex@mail.ru

Authors information

Aksyutin Viktor S., Director of Quality and Aviation Safety, Aurora Airlines, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, aksiutinvs@flyaurora.ru

Popov Yuriy V., Doctor of Sciences (Engineering), Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, tov_popov@rambler.ru

Feoktistova Oksana G., Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, oksana-feoktistova@yandex.ru

Kuleshov Aleksandr A., Doctor of Sciences (Engineering), Professor of Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia; Deputy General Director, Research and Production Enterprise “Aerosila”, Stupino, Moscow region, Russia, kaa_alex@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.06.2025; одобрена после рецензирования 07.11.2025; принята к публикации 14.11.2025.

The article was submitted 24.06.2025; approved after reviewing 07.11.2025; accepted for publication 14.11.2025.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

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 04.12.2025

Печать офсетная
14,0 усл. печ. л.

Формат 60x84 1/8
Заказ № 25-158к

10,0 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО «Типография Миттель Пресс»

e-mail: mittelpress@mail.ru

Автор вёрстки: Михеева А. В.