

Иркутский филиал
Московского
государственного
технического
университета
гражданской
авиации



CREDE EXPERTO:

транспорт, общество, образование, язык

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫПУСК 1 2024

Международный информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, языки» (МИАЖ «Crede Experto»)

Учредитель журнала – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Издатель журнала – Иркутский филиал ФГБОУ ВО «МГТУ ГА». Официальный сайт: <http://if-mstuca.ru/>

Главный редактор – Л. А. Иванова, канд. пед. наук, доц. (Иркутск)

Председатель научно-редакционного совета – О. Н. Скрыпник, до-р техн. наук, проф. (Минск, Республика Беларусь).

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Технические науки: И.Е.Агуреев, д.т.н., профессор (Тула), О.С.Аблялимов, к.т.н., профессор (Ташкент), Л.Г.Большеворская, д.т.н., доцент (Москва), Е.Е.Витвицкий, д.т.н., профессор (Омск), О.А.Горбачев, д.т.н., проф. (Иркутск), В.В.Ерохин, д.т.н., доц. (Иркутск), В.М.Курганов, д.т.н., профессор (Тверь), С.М.Кривель, к.т.н., доцент (Иркутск), Е.М.Лунёв, к.т.н. (Москва), Е.С.Неретин, к.т.н., доцент (Москва), Г.И.Нечаев, д.т.н., профессор, академик транспортной академии Украины (Луганск), Е.Е.Нечаев, д.т.н., профессор (Москва), Н.И.Николайкин, д.т.н., доцент (Москва), П.М.Огар, д.т.н., профессор (Братск), А.П.Плясовских, д.т.н. (Санкт-Петербург), О.Н.Скрыпник, д.т.н., профессор, почётный работник ВПО РФ (Минск), Димитр Русев, д.т.н., доцент (Бургас), А.И.Сухоруков, д.т.н., доцент (Москва), К.В.Холопов, д.э.н., профессор (Москва), Д.Э.Эшмурадов, к.т.н. (Ташкент).

Филологические науки: Д.А.Алкебаева, д.ф.н., профессор (Алматы), Р.И.Бабаева, д.ф.н., доцент (Иваново), О.А.Богинская, д.ф.н., доцент, (Иркутск), А.Н.Безруков, к.ф.н., доцент (Бирск), С.Ю.Богданова, д.ф.н., доцент (Иркутск), Ланьцзюй Ван, к.ф.н., доцент (Баодин), И.А.Верховых, к.ф.н., доцент (Москва), А.Р.Габидуллина, д.ф.н., профессор (Горловка), К.Дюк, д.филос.н. (Маннгейма Маннгейм), Ева Жебровска, д.ф.н., профессор, Ординарный профессор (professor ordinarius) (Варшава), Н.С.Иванова, доктор, профессор, (Бургас), Г.Е.Имамбаева, д.ф.н., профессор (Павлодар), Н.Н.Казыдуб, д.ф.н., профессор (Красноярск), А.В.Колмогорова, д.ф.н., доцент (Красноярск), Л.Б.Копчук, д.ф.н., профессор (Санкт-Петербург), В.Б.Меркульева, д.ф.н., профессор (Иркутск), О.А.Мельничук, д.ф.н., доцент (Якутск), И.Н.Новгородов, д.ф.н., профессор (Якутск), В.И.Постовалова, д.ф.н., профессор (Москва), Протоиерей Владимир (Алексеев), д.богосл.н. (Нью-Йорк), О.А.Радченко, д.ф.н., профессор, заслуж. р-к высш. шк. РФ (Москва), В.А.Степаненко, д.ф.н., доцент (Иркутск), Л.А.Становая, д.ф.н., профессор (Санкт-Петербург), А.Г.Фомин, д.ф.н., профессор (Кемерово), В.М.Хантакова, д.ф.н., проф. (Иркутск).

Монгольские языки (бурятский и монгольский): Т.Б.Тагарова, д.ф.н., доцент (Иркутск), Л.Б.Бадмаева, д.ф.н., доцент (Улан-Удэ), Т.Б.Баларъева, к.ф.н., доцент (Иркутск), Цэвээний Магсар, д.филологии (Ph.D), профессор (Улан-Батор).

Педагогические науки: Е.Б.Артемьева, д.пед.н., профессор (Новосибирск), А.В.Бабаян, д.пед.н., профессор (Пятигорск), О.О.Борисова, д.пед.н., проф. (Орел), В.А.Бородина, д.пед.н., профессор (Санкт-Петербург), В.В.Воронкова, д.пед.н., профессор (Москва), М.П.Воюшина, д.пед.н., профессор (Санкт-Петербург), И.П.Гладилина, д.пед.н., профессор (Москва), Н.Ж.Дагбаева, д.пед.н., профессор (Улан-Удэ), Е.Г.Дичева, д.педагогики (Бургас, Болгария), Т.Ц.Дугарова, д.п.н., доцент (Москва), М.Н.Колесникова, д.пед.н., профессор (Санкт-Петербург), Ю.А.Комарова, д.пед.н., профессор, член-корреспондент Российской академии образования (Санкт-Петербург), М.В.Николаева, д.пед.н., профессор (Волгоград), Н.П.Поличка, д.пед.н., профессор (Хабаровск), Е.М.Рогалева, к.пед.н., доцент (Иркутск), Т.А.Стефановская, д.пед.н., профессор (Иркутск), С.Ц.Содномов, д.пед.н., доцент (Улан-Удэ), Е.И.Тихомирова, д.пед.н., профессор (Самара), А.В.Фёдоров, д.пед.н., профессор (Ростов-на-Дону), А.В.Шумакова, д.пед.н., доцент (Ставрополь).

Философия: Н.С.Коноплёв, д.филос.н., профессор (Иркутск).

Адрес учредителя

Россия, 125993, г. Москва, б-р Кронштадтский, д.20

Тел.: +7 (499) 458-75-47; +7 (499) 459-07-40 /факс +7 (499) 459-07-01, e-mail: info@mstuca.aero

Адрес редакции:

Россия, 664047, г. Иркутск, ул. Коммунаров, 3 МИАЖ «Crede Experto»

Тел.: +7 902 177 25 67, e-mail: credeexperto@if-mstuca.ru, <http://ce.if-mstuca.ru/>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 71211 от 27.09.2017. Журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук. Группы научных специальностей: 05.22.00 – Транспорт (05.22.08, 05.22.13, 05.22.14); 13.00.00 – Педагогические науки (13.00.01, 13.00.02, 13.00.08); 10.02.00 – Языкоизнание (10.02.04, 10.02.05, 10.02.19). Дата включения издания в Перечень: 22.12.2020.

Журнал имеет международный номер ISSN 2312-1327

Выходит 1 раз в квартал

Издаётся с 2014 года

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 2022

**International informational and analytical journal «Crede Experto: transport, society, education, language»
«Crede Experto»**

The founder of the journal is the Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTUCA)
The publisher of the journal is the Irkutsk Branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. The official site is
<http://if-mstuca.ru/site/>

Editor-in-Chief: L. A. Ivanova, Candidate of Pedagogical Science, associate professor (Irkutsk)

Head of the Advisory Board: O. N. Skrypnik, Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (Minsk)

MEMBERS OF THE ADVISORY BOARD

Technical Sciences: I.E.Agureev, Doctor of Technical Sciences, Full professor (Tula), O.S.Ablyalimov, Candidate of Technical Sciences, Professor (Tashkent), L.G.Bol'shedvorskaja, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Moscow), E.E.Vitvitskiy, Doctor of Technical Sciences, Full professor (Omsk) O.A.Gorbachyov, Doctor of Technical Sciences, professor (Irkutsk), V.V.Erokhin, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Irkutsk), K.V.Kholopov, Doctor of Economic Sciences, professor (Moscow), V.M.Kurganov, Doctor of Technical Sciences, professor (Tver), S.M.Krivel, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Irkutsk), E.M.Luney, Candidate of Technical Sciences (Moscow), E.S.Neretin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Moscow), G.I.Nyechayev, Doctor of Technical Sciences, professor, academician of Transport Academy of Ukraine (Luhansk), E.E.Nyechayev, Doctor of Technical Sciences, professor (Moscow), N.I.Nikolaykin, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Moscow), P.M.Ogar, Doctor of Technical Sciences, professor (Bratsk), A.P.Plyasovskikh, Doctor of Technical Sciences (Saint Petersburg), Dimitur Rousev, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Burgas), O.N.Skrypnik, Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (Minsk), A.I.Suhorukov, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Moscow), D.E.Eshmuradov, Candidate of Technical Sciences (Tashkent).

Philological Sciences: D.A.Alkebaeva, Doctor of Philological Sciences, professor (Almaty), Archpriest Vladimir Alekseev, Doctor of Theology (New-York), O.A.Boginskaya, Doctor of Philology, associate professor (Irkutsk), A.N.Bezrukov, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor (Birsk), S.Y.Bogdanova, Doctor of Philology, Full professor (Irkutsk), K.Dück, doctor of philosophy scientific (Mannheim), A.G.Fomin, D.Ss. (Philology), professor (Kemerovo), A.R.Gabidullina, Doctor of Philological Sciences, professor (Horlivka), N.S.Ivanova, Doctor, Professor (Burgas), G.E.Imambayeva, Doctor of Philological Sciences, professor (Pavlodar), N.N.Kazdyub, Doctor of Philology, Professor (Krasnoyarsk), A.V.Kolmogorova, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Krasnoyarsk), L.B.Kopchuk, Doctor of Philological Sciences, professor (Saint Petersburg), V.B.Merkurieva, Doctor of Philological Sciences, professor (Irkutsk), O.A.Mel'nicuk, Doctor of philological sciences, associate professor (Yakutsk), I.N.Novgorodov, Doctor of Philological Sciences, professor (Yakutsk), V.I.Postovalova, Doctor of Philological Sciences, professor (Moscow), O.A.Radchenko, prof. Dr. habil. (Philology), professor (Moscow), V.A.Stepanenko, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Irkutsk), L.A.Stanovaja, Doctor of philological sciences, professor (St. Petersburg), V.M.Khantakova, Doctor of Philological Sciences, professor (Irkutsk), I.A.Verkhovykh, candidate of Philological Sciences, associate Professor (Moscow), Lanju Wang, Candidate of Philological Sciences, associate professor (Baoding), Ewa Źebrowska, Doctor of Philological Sciences, professor, professor ordinarius (Warsaw).

Mongolic languages (Buryat and Mongolian): T.B.Tagarova, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Irkutsk), L.B.Badmaeva, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Ulan-Ude), T.B.Balar'eva, Candidate of Philological Sciences, associate professor (Irkutsk), Tsevenii Magsar, Ph.D., Professor (Ulan Bator).

Pedagogical Sciences: E.B.Artem'eva, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Novosibirsk), A.V.Babayan, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Pyatigorsk), O.O.Borisova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Orel), V.A.Borodina, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), V.V.Voronkova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Moscow), M.P.Vojushina, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), I.P.Gladilina, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Moscow), N.Z.Dagbaeva, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Ulan-Ude), E.Dicheva, Doctor of Pedagogical Sciences (Burgas, Bulgaria), T.C.Dugarova, Doctor of Psychological Sciences, associate professor (Moscow), M.N.Kolesnikova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), J.A.Komarova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), M.V.Nikolaeva, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Volgograd), N.P.Polichka, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Khabarovsk), E.V.Rogaleva, Candidate of Pedagogical Science, associate professor (Irkutsk), T.A.Stefanovskaya, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Irkutsk, Russia), S.C.Sodnomov, Doctor of Pedagogical Sciences, associate professor (Ulan-Ude), E.I.Tihomirova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Samara), A.V.Fedorov, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Rostov-on-Don), A.V.Shumakova, Doctor of Pedagogical Sciences, associate professor (Stavropol).

Philosophical Sciences: N.S.Konopljov, Doctor of Philosophy, professor (Irkutsk).

Address of the Founder

20 Kronshtadtsky blvd, Moscow, GSP-3, 125993

Phone.: +7 (499) 458-75-47; +7 (499) 459-07-40 / fax +7 (499) 459-07-01, e-mail: info@mstuca.aero

Editorial office address:

Kommunarov St. 3, Irkutsk, Russia, 664047

Phone.: +7 902 177 25 67, e-mail: credeexperto@if-mstuca.ru, <http://ce.if-mstuca.ru/>

Magazine registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (ROSKOMNADZOR), EL № ФС 77 — 71211, 27.09.2017. The journal has been included in the LIST of Leading Peer-Reviewed Scientific Journals to publish the main findings of theses for the academic degree of Candidate of Sciences, for the academic degree of Doctor of Sciences since 22.12.2020. Groups of scientific specialties: 05.22.00 Transport (05.22.08, 05.22.13, 05.22.14); 13.00.00 Education science (13.00.01, 13.00.02, 13.00.08); 10.02.00 Linguistics (10.02.04, 10.02.05, 10.02.19).

The journal is registered with ISSN 2312-1327

Publication 1 time in 3 months.

ОГЛАВЛЕНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

Николай Сергеевич Херсонский, Людмила Геннадьевна Большеворская
Анализ развития статистических методов оценки надежности как свойства качества
объектов и продукции 6

**Николай Иванович Николайкин, Елена Эдуардовна Сигалева, Александра Леонидовна
Рыбалкина, Ольга Борисовна Пасекова**
Возраст пилота и травматизм в авиации 24

**Анатолий Григорьевич Гузий, Анастасия Андреевна Шпаковская, Алексей
Станиславович Муравьев**
Методологическое обеспечение имплементации международных стандартов по
безопасности полетов в российских нормативных документах 37

**Виталий Дмитриевич Рубцов, Елена Игоревна Трусова, Александра Леонидовна
Рыбалкина**
Способ прогнозирования вероятности возникновения опасных порывов ветра в зоне
взлётно-посадочной полосы при посадке воздушного судна 57

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Геннадий Владимирович Коваленко, Артем Андреевич Федоров, Андрей Валерьевич
Федоров**
Сенсорная и интерсенсорная модель системы пилот – воздушное судно 67

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

**Вячеслав Владимирович Ерохин, Борис Валентинович Лежанкин, Дмитрий Юрьевич
Урбанский**
Синтез алгоритма оценки параметров многопозиционной системы наблюдения и
исследование эффекта расходимости процесса фильтрации 78

Андрей Сергеевич Калинцев
Моделирование подтверждения данных АЗН-В с коррекцией температуры при оценке
высоты полета на местных воздушных линиях (часть 2) 90

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Борис Валентинович Лежанкин, Вячеслав Владимирович Ерохин, Николай Павлович
Малисов**
Управление траекторией полета беспилотного летательного аппарата при различной
конфигурации источников навигационной информации 113

ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Роман Олегович Арефьев, Олег Николаевич Скрыпник, Наталья Геннадьевна Арефьева
(Астраханцева)**
Экспериментальная оценка точности пространственной стабилизации квадрокоптера DJI
Air 2S 128

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Александр Юрьевич Юрин, Юрий Вячеславович Котлов

Авиатехпром: состояние и перспективы 146

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Евгений Евгеньевич Витвицкий, Роксана Еноковна Шипицына

Установление возможности исполнения плана при централизованных перевозках грузов автомобильным транспортом в городах 157

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Анатолий Филиппович Пенно, Юрий Павлович Беловодский

Некоторые предложения повышения наглядности при изучении конструкции и летной эксплуатации авиационной техники 166

ДИАЛЕКТОЛОГИЯ

Лариса Ивановна Москалюк, Татьяна Владимировна Корбмахер

Фонетические характеристики смешанного западносредненемецкого диалекта

Красноярского края (на материале текстов кулинарных рецептов российских немцев) .. 183

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

Татьяна Юрьевна Портнова

Провокация как педагогический прием для развития навыков критического мышления на занятиях по иностранному языку в техническом вузе 195

ГОСУДАРСТВО И ПРАВО

Екатерина Закариневна Сидорова, Евгений Геннадьевич Усов

Педагог как участник уголовного судопроизводства 206

УДК 347.823.21
DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_6

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ КАК СВОЙСТВА КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ И ПРОДУКЦИИ

Николай Сергеевич Херсонский,
orcid.org/0000-0003-1296-7131,
кандидат технических наук
генеральный директор ООО «СОЮЗСЕРТ»,
ул. Викторенко, д. 7, корпус 30
Москва, 125167, Россия
hersn@yandex.ru

Людмила Геннадьевна Большиедворская,
orcid.org/0000-0002-1425-7398,
доктор технических наук, профессор кафедры БПиЖД
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, д. 20
Москва, 125493, Россия
l.bolshedvorskaya@mstu.aero

Аннотация. Надежность – важнейшая характеристика любого объекта или продукта, поскольку всегда важно, чтобы то, что предлагает и поставляет поставщик, было бы качественным не только в момент приобретения, но в течение всего срока использования. В настоящее время для авиационной и аэрокосмической отраслей, военно-промышленного комплекса надежность изделий приобретают особую актуальность. В данной статье представлен обзор научных достижений в области надежности технических объектов и продукции. Безусловно, данный обзор не является всеохватывающим. Однако, рассмотрение отражает значительную часть книг, монографий и прочих материалов фундаментального характера, не потерявших своей актуальности до настоящего времени. Результаты исследования – это своего рода путеводитель по лабиринту сложнейших проблем решения задач обеспечения надежности и методов, которыми можно воспользоваться для их решения.

Ключевые слова: методы надежности, качество продукции, объекты авиационной, аэрокосмической отраслей, военно-промышленный комплекс.

ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF STATISTICAL METHODS FOR RELIABILITY ASSESSMENT AS QUALITY PROPERTIES OF FACILITIES AND PRODUCTS

Nikolai S. Khersonsky,
orcid.org/0000-0003-1296-7131,
Candidate of Technical Sciences
General Director of SOYUZCERT LLC,
7, building 30, Viktorenko St.
Moscow, 125167, Russia
hersn@yandex.ru

*Ludmila G. Bolshedvorskaya,
orcid.org/0000-0002-1425-7398,
Doctor of Technical Sciences
Professor of the Department of Flight Safety and Vital Activity
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronstadtsky boulevard, 20
Moscow, 125493, Russia
l.bolshedvorskaya@mstuca.aero*

Abstract. Reliability is the most important characteristics of any object or product, since it is always important that what the supplier offers and supplies is of high quality not only at the time of purchase, but during the entire period of use. Currently, for the aviation and aerospace industries, for the military-industrial complex, the reliability of products is of particular relevance. This article provides an overview of scientific achievements in the field of reliability of technical facilities and products. Of course, this review is not overall. However, the consideration reflects a significant part of books, monographs and other fundamental materials that have not lost their relevance to the present. The results of the study are a kind of guide to the labyrinth of the most difficult problems of solving reliability problems and methods that can be used to solve them.

Keywords: reliability methods, product quality, objects of aviation, aerospace industries, military-industrial complex.

Введение

Первые проявления повышенного внимания к проблеме качества и надежности объектов и продукции относятся к периоду глубокой исторической давности. Предки отмечали преимущества, получаемые от качественных орудий охоты и труда, надежности и практичности хозяйственной утвари, качества и эффективности сельскохозяйственного инвентаря, способствующего стабильному выращиванию урожая. Современники не перестают удивляться и впечатляться результатами строительства египетских пирамид. Точность замеров и надежность расчетных элементов, из которых они состоят, поражают воображение.

Можно предположить, что это проявление первых зачатков статистических методов измерения, расчета, обобщения данных с целью выявления закономерностей качества и надежности объектов и ее продукции.

Зарождение статистических методов управления качеством не имеет конкретной даты, но результаты многочисленных научных исследований сходятся во мнении, что это научное направление возникло в начале XIX столетия на фоне перехода промышленного производства к принципам разделения труда, которые потребовали решения проблем взаимозаменяемости и точности производства. Это обусловлено тем, что при ремесленном способе производства продукции достижение точности готового продукта являлось весьма трудоемким и длительным процессом подгонки сопрягаемых деталей и узлов по образцам. Кроме этого, отсутствие статистических методов оценки качества продукции порождало проявление субъективности принятия решений при выполнении значительного количества вариаций и исправлений в процессе производства. Таким образом сложились объективные предпосылки для разработки критерия качества, который позволял бы ограничивать количество отклонений размеров при

массовом изготовлении деталей. В качестве такого критерия Ф.Тейлором были предложены интервалы, устанавливающие пределы отклонений параметров в виде нижних и верхних границ, называемые в настоящее время «допуском».

Впервые применение наукообразных статистических методов отмечено в 1924 году в работах У. Шухарта, который предложил применение контрольных карт для выявления несоответствия продукции посредством вычисления процента брака. У. Шухарт, являясь большим поклонником и приверженцем основных принципов качества, сформулированных Э. Демингом, предложил подход непрерывного улучшения процессов, который известен в настоящее время как «Цикл Шухарта-Деминга». Это позволило в последующих исследованиях переключить внимание производителей от традиционного подхода к управлению качеством конечного продукта на обеспечение стабильности и надежности и контроля качества процессов производства.

Значительный вклад в применение статистических методов контроля качества продукции привнесли американские ученые Э. Пирсон, Е. Фишер, Д. Нойман, разработав и обосновав в середине XX века практическую применимость основных принципов теории проверки статистических гипотез.

Нередко предлагаемые обстоятельства, в которых оказывалось общество, становились катализатором развития новых подходов к разработке и применению статистических методов. Так, например, жестокий период второй мировой войны предопределил появление методов разрушающего контроля с учетом лимитирующего фактора – количества проверяемых изделий. Несомненной удачей этого периода является появление теории последовательного анализа и принятия решений, разработанной А. Вальдом. Последующая практическая применимость данного метода доказана снижением количества ошибок в процессе проведения контроля качества по сравнению с традиционными на тот момент методами.

Огромной заслугой японских ученых в развитии статистических методов управления качеством являются научные достижения К. Исикаву и Г. Тагути. Впервые в мировой практике К. Исикава предложил нетрадиционный метод анализа причинно-следственных связей, формирующих качество продукции, который в настоящее время имеет широкомасштабное применение в различных областях и носит название «диаграмма Исикавы». Развивая идеи соотечественника, Г. Тагути впервые интегрировал принципы обеспечения качества с методами математической статистики и экономической составляющей производства, введя новое понятие функции ущерба качества, доказав тем самым, что потери качества начинают проявляться в момент отклонения номинального или заданного технической документацией параметра от фактического результата на всех стадиях проектирования, изготовления, производства и эксплуатации объектов и использования продуктов. Тем самым возникла необходимость решения задач оценки работоспособности конкретных объектов и технического состояния его элементов в зависимости от срока эксплуатации,

что послужило основой для математического развития теории статистических методов, в которых решались бы различные задачи надежности в конкретной области техники.

Надежность является одним из свойств качества продукции, которое отражает совокупность свойств, характеризующих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением¹. Требования по качеству продукции могут включать требования по надежности. Поскольку надежность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования².

Словосочетание «во времени» означает естественный ход времени, в течение которого осуществляется применение, техническое обслуживание, хранение и транспортирование объекта, а не в какой-либо конкретный интервал времени.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтопригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств.

Требуемые функции и критерии их выполнения устанавливают в нормативной, конструкторской, проектной, контрактной или иной документации на объект в виде набора параметров, характеризующих способность их выполнения, и допустимых пределов изменения значений этих параметров. Таким образом следует конкретизировать понятие надежность, как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Аналогичным образом могут быть определены и уточнены термины.

Поэтому целью данного исследования является анализ и обобщение результатов научных достижений в области развития подходов к оценке показателей надежности как свойства качества объектов и продукции.

Материалы и методы

К наиболее значимым результатам исследований, в которых решались актуальные задачи надежности в конкретной области техники относятся работы второй половины прошлого века, содержащие методы расчетов надежности систем на различных этапах жизненного цикла продукции, а также сведения, необходимые для проведения различных видов испытаний на надежность техники [Рухин и др., 1989; Ушаков и др., 2000].

Еще в начале 1990 годов разработано и издано несколько весьма значимых изданий, одним из которых является терминологический стандарт

¹ ГОСТ 15467-79. Межгосударственный стандарт. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2009.

² ГОСТ 27.002-2015. Международный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2016.

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения, 1990 (заменен на ГОСТ 27.002-2015). Он был разработан под руководством чл.-корр. АН СССР В.В. Болотина, возглавлявшего в тот момент рабочую группу по подготовке нового терминологического стандарта «Надежность машин». Основные понятия, положения и требования стандарта явились результатом многочисленных дискуссий коллектива разработчиков и представителей различных отраслей науки и техники. Тем не менее, стандарт представлял определенный компромисс взглядов специалистов из различных областей, поскольку надежность – термин исключительно общий, имеющий широкомасштабное применение. Поэтому, в этот период отмечается попытки предпринимательского и коммерческого характера дополнить и пересмотреть его содержание. В связи с этим стоит обратить внимание на работу, обеспечивающую потребителям возможность установить связь между показателями надежности и гарантийными показателями на изделие³.

Значительным вкладом в развитие принципов оценки надежности как свойства качества явились результаты работ по стандартизации моделей отказов [Демидович, 1994; Стрельников, 1997]. Анализ подходов обоих авторов показал, что под стандартизацией моделей отказов следует понимать создание стандарта, который будет регламентировать некоторое число функций распределения (ФР) наработки до отказа в виде универсальных (стандартных) моделей надежности (МН). Однако, разница во взглядах авторов состояла в противоречивом использовании различных математических формулировок для «обобщенных» МН. На этом основании был сделан вывод, что идея «универсальной модели отказов» является весьма спорной, усложняющей ее практическую применимость [Шпер, 1997].

В 1997 г. в журнале «Надежность и контроль качества» был опубликован большой обзор известного специалиста в области конструкционной и прочностной надежности [Коновалов, 1997]. Автор подчеркивает, что с ростом единичных мощностей и энергоооруженности машин и механизмов, имеющих практическое значение во всех отраслях промышленности (включая такие ответственные, как атомные электростанции (АЭС), летательные аппараты, транспортные средства и т.д.), усилилось несоответствие между требованиями к показателям надежности и реальной надежностью машин, что ведет к прямой угрозе безопасности людей и окружающей среды.

Поэтому, эпохальными событиями XX века можно считать зарождение серии стандартов ГОСТ 27..., практическая применимость которых имеет актуальное значение в настоящее время, приведем для примера некоторые из них:

ГОСТ 27.002-89 – Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения (заменен на ГОСТ 27.002-2015).

³ Аронов И. З. Методические рекомендации по установлению сроков гарантии, службы (годности) на товары народного потребления в соответствии с требованиями Закона Российской Федерации «О защите прав потребителей» // В сб. Методические рекомендации по исполнению Закона Российской Федерации «О защите прав потребителей». М.: АО «Сертификация в бизнесе и торговле», 1993. С. 22-35.

ГОСТ 27.003-90 – Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности (заменен на ГОСТ 27.003-2016).

ГОСТ 27.004-85 – Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения.

ГОСТ 27.202-83 – Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавляемой продукции.

ГОСТ 27.203-83 – Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности.

ГОСТ 27.204-83 – Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности.

ГОСТ 27.301-95 – Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

ГОСТ 27.310-95 – Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

Дискуссия

Начало XXI века ознаменовано публикацией серии работ, посвященных проблемам стандартизации в области надежности, одна из которых заслуживает особого внимания в формате данного исследования. Это публикация [Демидович, 2002], посвященная проблеме гармонизации терминов по надежности, используемых в Российской Федерации с терминами, разрабатываемыми Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) по проблеме «Надежность». В частности, предлагается определять надежность как «Собирательный термин, применяемый для описания свойств готовности, безотказности, ремонтопригодности и обеспеченности технического обслуживания и ремонта». На этом основании авторы [Белов и др., 2003], рассматривая взаимосвязь понятий надежности и безопасности, вводят термины по безопасности с позиций расчета вероятностей наступления соответствующих событий, т.е. с позиций надежности.

Хорошо известный специалист опубликовал в 2000 году книгу по надежности сложных систем, которая в основном посвящена логико-вероятностным методам анализа надежности [Рябинин, 2000].

Результаты исследований и научных достижений многочисленных авторов были опубликованы в многотомной энциклопедии «Машиностроение», посвященной надежности машин [Энциклопедия «Машиностроение»..., 2021].

В 2022 году очень давно работающий в области надежности машин автор выпустил новое издание своей книги, посвященной параметрической надежности, расчету и прогнозированию отказов при заданных моделях старения выходных параметров машин [Проников, 2002].

В 2023 году был выпущен учебник по надежности для студентов ВУЗов, [Острайковский, 2023]. Но, при всех его достоинствах, стоит обратить

внимание на другую книгу с участием того же автора, вышедшую в 1993 году и посвященную методам расчета надежности ядерных энергетических установок [Антонов и др., 1993]. В ней довольно удачно сочетаются аккуратность математического аппарата, практические данные и примеры расчетов, и, кроме того, в отличие от традиционных книг по надежности, в неё включены некоторые относительно новые направления анализа и обеспечения надежности, например, байесовское оценивание надежности ядерных энергетических установок, непараметрические методы оценивания (бутстреп – процедура) и т.п.

Достойным дополнением к опубликованным изданиям является публикация, посвященная как теоретической базе последовательных планов контроля, так и полученным результатам, вошедшим в ряд стандартов по испытаниям [Ярлыков, 2004].

Ещё один хорошо известный автор представил усовершенствованный вариант своего пособия по надежности автоматизированной системы управления (АСУ), которое теперь стало называться пособием по надежности аппаратно-программных комплексов⁴.

В дополнение к этому весьма небольшому перечню книг можно добавить книгу, целиком посвященную применению байесовских методов в надежности [Савчук, 1989]. Книга ликвидирует определенный пробел в русскоязычной литературе по данной тематике. Достаточно обратить внимание на список цитируемой автором литературы, который состоит из 247 наименований. Однако она все-таки рассчитана не на инженера по надежности, а на специалиста по статистическим методам. Тем не менее, и такая направленность важна для развития отечественных работ в области надежности.

Особое внимание следует уделить результатам научных исследований в области надежности систем, одним из которых является работа, посвященная оценке надежности компонентов системы, значительная часть оценок которых имеют эвристический характер [Ушаков и др., 2000].

Результаты исследования, подготовленные группой авторов и представляющие собой обмен опытом в области системы гарантийного обслуживания, представляют модель для оперативного выполнения ремонтов посредством прогноза числа возвратов [Гианулис, 2000].

Задачам оценки надежности при техническом обслуживании техники и оборудования посвящены несколько работ, заслуживающих внимания [Ушаков и др., 2002а; Ушаков и др., 2002б]. Достоинством результатов исследования является то, что авторы рассмотрели интересную задачу об оптимизации территориально-распределенной системы технического обслуживания при условии, что качество обслуживания описывается средним временем ожидания ответа на запрос и временем обслуживания после

⁴ Чerkесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов 654600 «Информатика и вычисл. Техника» и направлению подгот. бакалавров , 552800 «Информатика и вычисл. Техника» / Г.Н. Чerkесов ; Г.Н. Чerkесов. СПб. [и др.] : Питер, 2005. 478 с. EDN QMOAEN.

получения ответа. При этом, чтобы вероятность успешной замены с первого раза отказавшей детали на исправную была бы максимальной, авторы не только указали способ решения этой задачи, но и предложили при некоторых весьма реальных допущениях очень простое её решение посредством упорядочения всех запасных частей по убыванию их значимости и востребованности, практически применив известный метод Парето.

Процесс моделирования и оценки эффективности в системах обусловлены сложностью, высоким уровнем материальных затрат и длительностью проводимых экспериментов. На этом основании результаты работы, рассматривающей проблему оценки эффективности сложных систем на примере спутниковой коммуникационной системы Globalstart, опубликованную более 20 лет назад, имеют большое практическое применение для современности [Ушаков и др., 2002а; Ушаков и др., 2002б].

Оптимизацией числа запасных элементов оборудования заняты и авторы работы, в которой речь идет об элементах, важных для безопасности атомной электростанции (АЭС). Предложив метод анализа на основе нестационарных марковских цепей, авторы получили практический вывод, что при эксплуатации системы в течение года оптимальное число запасных элементов равно единице, а при эксплуатации от 2 до 10 лет – оно равно двум [Антонов и др., 2001].

Новое понятие в теории надежности представлено в работе, которая рассматривает отказоустойчивость функционально-распределенных систем, где под отказоустойчивостью автор понимает оценку максимально возможного числа отказов, еще не приводящего к отказу системы, и условную вероятность сохранения работоспособности системы при условии возникновения к отказов её компонент. Недостатком работы явился её сугубо теоретический характер, который был позднее дополнен результатами исследования, направленного на решение проблемы оценки коэффициента сохранения эффективности применительно к системам вычислительной техники. В отличие от предыдущей работы, на этот раз автор приводит достаточное число примеров расчетов по предлагаемой им методике решения данной задачи [Богатырев, 2001а; Богатырев, 2001б].

Решению чрезвычайно актуальной задачи оценки надежности территориальной системы электроснабжения, применяя теорию графов, посвящена работа автора, который вычислил вероятности перехода системы из работоспособного состояния в неработоспособное для определенных топологических структур, и с учетом некоторого набора состояний каждого из элементов. Среди допущений, положенных в основу модели, есть такие, какие заведомо не выполняются при развитии крупных энергетических аварий, что является недостатком данного подхода и отсутствием практической применимости модели к ситуациям типа недавнего энергетического кризиса [Челядин, 2003].

В связи с этим, заслуживают внимания результаты работ, направленных на обсуждение проблем надежности электропитания и надежности системы с функциональной избыточностью определенного типа, когда речь идет о

системе, включающей n одинаковых модулей, каждый из которых выполняет n одинаковых по трудности функций. Работа изобилует формулами из области вероятностной логики, но результат всех этих упражнений довольно прост: такая система по надежности уступает системе с двухкратным резервированием, но превосходит систему без резервирования [Замыслов и др., 2002].

С одной стороны, коммуникационные сети, как правило, высоконадежны, но время от времени может возникнуть внезапный отказ, создающий ряд проблем, решение которых представлено в работе, посвященной прогнозированию таких отказов. Достоинством работы является большое количество примеров расчетов и результаты моделирования. Кроме того, представлен широкий обзор критических замечаний других специалистов [Becker et al., 1998]. В работе авторов предпринята попытка проанализировать надежность систем с помощью модели роста надежности применительно к надежности оператора и взаимодействию человека с машиной, что позволило сделать ряд выводов относительно практики подготовки операторов и системы проектирования интерфейсов [Pasquini et al., 2001].

Разработка систем оптимального обслуживания изношенных объектов, а также прогнозирования эксплуатационных отказов восстанавливаемых систем представлены в работах, заслуживающих внимания в формате данного исследования и обстоятельств, вызванных санкционными ограничениями и их последствиями. Группа авторов рассматривают проблему оценки стационарной готовности систем, имеющих различные типы простоев, включая случаи внеплановых простоев и простоев запланированного ожидания. Все оценки сравниваются с результатами, полученными при допущении об экспоненциальном распределении времен ожиданий и восстановлений [Lee-Ing Tong et al., 2005; Mathew, 2004; System availability..., 2002].

Результаты зарубежного опыта легли в основу работ, опубликованных отечественными исследователями, в одной из которых анализируется надежность систем резерва при условии, что вместо обычного допущения об известных отказах элементов, располагая только информацией о нижних и верхних границах некоторых событий, можно провести оценку влияния и использования доступной информации на получаемые оценки качества и надежность объектов, достоверность которой подтверждается несколькими примерами расчетов по предложенной модели [Utkin, 2003].

Результаты

Судя по проведенному анализу результатов исследований отечественных и зарубежных авторов, в настоящее время обычными испытаниями на надежность – контрольными и определительными занимается ограниченное количество теоретиков и практиков, поскольку значительная часть основных проблем озвучены, решены и описаны более десяти лет назад. Тем не менее, следует несколько работ, заслуживающих внимания. Одной из

которых является работа, в которой предложен новый подход к статистическому контролю качества, включая и контроль надежности. Этот подход был назван автором «принципом распределения приоритетов». В этом подходе удается существенно снизить значения рисков α и β , что в свою очередь позволяет заметно уменьшить объем испытаний (основная проблема традиционных планов испытаний). Однако, это достигается принятием определенной процедуры согласования планов испытаний плюс наличие третьей стороны, принимающей решения в спорных ситуациях. Представляется, что этот подход малоперспективен именно из-за наличия третьей стороны и отсутствия четкого алгоритма проведения испытания [Статистический контроль..., 1991].

В связи с этим, существенным дополнением к исследованию является работа, отражающая обзор проводимых экспериментов на оценку надежности оборудования, включая алгоритм проведения сравнительного анализа планов с фактическими достижениями. Сухой остаток работы выглядит следующим образом: в случае наиболее распространенных значений рисков – α и $\beta \in [0,001; 0,05]$ – наиболее эффективны критерии Лордена и Павлова, причем при несимметричных рисках предпочтительнее использовать критерий Лордена [Гродзенский, 2001а; Гродзенский, 2001б].

Проведя сравнение последовательных планов испытаний при том же наборе критериев, но в условиях, когда моменты отказов распределены в соответствии с экспоненциальным или вейбулловским распределениями, автором сформулированы выводы. В частности, если α и $\beta \geq 0,05$, то оптимальны планы с параболическими границами браковки [Гродзенский, 2001а; Гродзенский, 2001б].

В основном весь мир вот уже много лет пытается решить проблему объема испытаний путем так называемых ускоренных испытаний (УИ) на надежность. Помимо проблемы собственно объема испытаний, УИ позволяют решить и другую важную проблему: максимально быстрое получение информации об отказах новых высоконадежных изделий и разработок. Время разработки и вывода продукции на рынок в 21 веке – важнейший параметр конкурентоспособности, и УИ – один из способов её повышения. Суть проблемы, очень кратко, состоит в следующем.

Пусть для какого-то изделия или системы задано значение произвольного показателя надежности (ПН). Для определенности изложения возьмем в качестве ПН вероятность безотказной работы на заданное время (t_0) – $R(t_0)$. Чтобы определить этот ПН, надо провести испытания или эксплуатацию в течение некоторого времени t_0 . Если же необходимо оценить величину $R(t_0)$ за время $t_* < t_0$, то это и будет означать проведение и оценку УИ на надежность. Термин «ускоренные» в данном случае означает «требующие меньше времени». Очевидно, что уменьшить время, необходимое для получения информации о надежности, можно, либо сокращая время, когда изделие/система не работает, либо ускоряя процессы, ведущие к отказам, либо объединяя оба эти способа тем или иным образом. При этом в отечественной литературе сложилась традиция употреблять термин УИ как более общий и

относящийся к любому из вариантов ускорения. Если же УИ осуществляются за счет ускорения процессов возникновения отказов, то говорят о форсированных испытаниях, поскольку ускорение процессов достигается путем приложения к изделиям/системам воздействий, превышающим их нормальные рабочие нагрузки/воздействия. Поэтому в данной работе под УИ в основном понимаются именно форсированные испытания, поскольку проблема ускорения за счет уменьшения нерабочего времени достаточно тривиальна.

Проблема, которая возникает, очевидна: можно ли оценить искомое значение $R(t_0)$ за время $t_* < t_0$, и если можно, то как перейти от $R(t_*)$ к $R(t_0)$? Решение этой проблемы требует ответа на два вопроса:

- сохраняются ли одни и те же причины и механизмы отказов (ПМО) в нормальных и ускоренных режимах;
- как пересчитать ПН от ускоренных режимов к нормальным, и наоборот?

На интуитивном уровне понятно: если ПМО не сохраняются при ужесточении режимов испытаний (иногда это называют проблемой автомодельной УИ), тогда никакие предсказания невозможны, и, более того, бессмысленны. С другой стороны, на современном уровне развития науки и техники очень редко известны точные ПМО реальных изделий и систем. Поэтому, начиная с самых ранних работ по УИ, как правило, используется следующее допущение: сохранение одних и тех же ПМО эквивалентно сохранению функции распределения (ФР) отказов во времени. Под сохранением ФР понимается следующее. Пусть ФР для нормального режима может быть описана некоторой функцией времени $F_0(t/w_0)$, где t – это время, а через w_0 обозначена совокупность параметров нормального режима, влияющих на функцию F_0 . Аналогичную функцию для ускоренного режима обозначим $F_*(t/w_*)$, где через w_* обозначена совокупность параметров ускоренного режима, влияющих на F_* . Тогда о сохранении ФР говорят в том случае, когда $F_0(t/w_0)$ может быть выражена через $F_*(t/w_*)$:

$$F_0(t/w_0) = F_*(g(t)/w_*), \quad (1)$$

где $g(t)$ – некоторая функция преобразования времени, зависящая в том числе и от параметров режимов испытаний.

Наиболее распространены функциональные модели УИ, т.е. такие модели надежности (МН), когда ФР считается известной (например, соответствует одному из нижеследующих распределений: экспоненциальное, нормальное, логнормальное, Вейбулла, Гумбеля, обобщенное гамма, Бирнбаума-Сандерса и т.д.). Далее постулируется, что в ускоренных режимах форма распределения не меняется (т.е. параметр формы не зависит от нагрузки), а оно лишь смещается по оси времени, оставаясь подобным самому себе. Это подобие лучше всего проявляется, когда ФР наносят на вероятностную бумагу соответствующего распределения. Поскольку в этом

случае ФР изображается прямой линией, то обычно принимают, что ФР в нормальном и ускоренном режимах параллельны, а расстояние между ними зависит от так называемого коэффициента ускорения (КУ). Введение КУ в этом случае вполне оправданно. Что касается зависимости КУ от параметров режимов, то наибольшей популярностью во всем мире пользуются следующие модели: Аррениуса, Эйринга и обратной степени. Полнее всего материалы о КУ для разных МН и для очень широкого спектра самых разных объектов содержатся в книге Нельсона [Nelson, 1990]. Из русскоязычных публикаций последних лет стоит отметить следующие. Статистические проблемы прогнозирования надежности по результатам УИ анализируются в статье, которая рассматривает проблему расчета числа циклов УИ применительно к циклическому режиму работы объекта [Веснин, 1995; Каминский, 1990]. Критический обзор термодинамических МН содержится в обзоре [Шпер, 1992], описывающем результаты реальных УИ телевизоров и аналогичных устройств. Это – практический пример ускорения за счет повышения частоты включено-выключено. Приведено подробное описание режимов УИ, так что данная работа может быть полезна при планировании аналогичных испытаний аппаратуры и/или аналогичных объектов.

Хотя работа [Рыньков, 1996] появилась заметно позже, эти МН не могут быть опровергнуты и, во всяком случае, их универсальная применимость весьма сомнительна.

Чисто практические рекомендации по УИ отечественных механических часов на долговечность описаны в работе, где показано, что ускорение осуществлялось за счет непрерывной заводки часов, причем авторам удалось получить КУ, равный 319, сократив обзор данных о ПН вместо 10 лет до 3 недель [Кузнецов, 2000].

Продолжая свои исследования в области моделей расходования ресурса, отечественные авторы переориентировались на изучение теоретического вида возможных траекторий параметров в процессе испытаний. В этой связи значительная часть работ построены так, что допущения, положенные в их основу, не могут быть опровергнуты, и это существенно снижает их практическую ценность [Карташов, 1998]. В отдельных работах реализуются попытки развить известную МН, называемую в отечественной литературе «Физическим принципом Седякина» [Смагин, 1999; Смагин 1998]. Стоит заметить, что «физический принцип Седякина», так же, как и «принцип наследственности Карташова» эквивалентны тому подходу, который используется зарубежными исследователями, начиная с работ Сингпурвалла, Нельсона и др., и который, по сути, сводится к формуле (1).

Из зарубежных работ по УИ следует отметить, прежде всего, книгу [McLean, 2000]. Эта книга может рассматриваться как определенная веха в развитии подходов к УИ, что видно даже из её названия. В нем появились новые аббревиатуры, которых не было в старой литературе по надежности. Итак, вот они (в моем переводе):

HALT – Highly Accelerated Life Tests – сильно ускоренные испытания на долговечность;

HASS – Highly Accelerated Stress Screen – сильно ускоренная отбраковка под нагрузкой;

HASA – Highly Accelerated Stress Audit – сильно ускоренный аудит под нагрузкой.

Отличие просто УИ от сильно УИ в том, что первые предлагаются использовать для анализа проблем и прогнозирования ПН, а вторые – только для обнаружения проблем надежности, и задача оценки ПН по их результатам не ставится. То же относится ко второй аббревиатуре, а третья введена для описания тех подтверждающих действий, какие мы предприняли для устранения проблем надежности, обнаруженных при HALT и HASS. Кроме этого, эти испытания, конечно же, имеют своих многочисленных предшественников в предыдущие годы, с библиографией которых лучше всего ознакомиться по книге.

Вообще надо отметить, что основное внимание зарубежных исследователей обращено на так называемые ступенчатые УИ (Step-Stress Accelerated Life Tests). Вот несколько важных работ в этом направлении.

Ускоренные ступенчатые деградационные испытания предложены в статье [Sheng-Tsaing Tseng, 2000]. Также деградационным УИ посвящены работы [Baldwin et al., 1999; Guangbin Yang et al., 2002], причем в [Замыслов и др., 2002] обсуждается проблема ускоренных коррозионных испытаний аэрокосмических материалов, а в [Guangbin Yang et al., 2002] обсуждаются испытания с ужесточенными критическими значениями параметров.

В [Khamis, 1996] выполнено сравнение между испытаниями с постоянным уровнем нагрузки и ступенчатыми испытаниями в случае, когда отказы распределены по закону Вейбулла. Как и следовало ожидать, ступенчатые испытания оказываются предпочтительными. Чуть позже тот же автор в совместной с Дж. Хиггинсом работе предложил альтернативную МН для обработки данных ступенчатых УИ [Khamis et al., 1999]. Впрочем, как показано в [Haiyan Xu et al., 2003], это просто специальный случай обычной модели ступенчатых испытаний. Авторы [Bagdonavicius et al., 2002] применили модель пропорциональных интенсивностей (см. об этой модели в [Кокс и др., 1988]) для анализа результатов ступенчатых УИ и разработали новую модель, объединившую модель пропорциональных интенсивностей и модель кумулятивного накопления повреждений. МН, использующая обратное Гауссово распределение для планирования последовательных УИ, предлагается в работе [Edgeman et al., 1997].

Одним из авторов этой статьи – Херсонским Н.С. более 15 лет назад была предложена оригинальная модель разработки и действия стандартов предприятия на примере Руководства по качеству (РК) и других документов посредством введения интерактивных ссылок на все стандарты и нормативные документы, приведенные в РК. По мнению автора, РК должно было бы иметь базу стандартов и нормативных документов, в которых отдельные системные стандарты, такие как ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и др. наделены интерактивными ссылками на актуализированные стандарты и документы.

Росстандарт утвердил первый предварительный национальный стандарт на SMART стандарты – ПНСТ 864-2023 «Умные «SMART» стандарты. Общие положения. «Умный «SMART» стандарт характеризуется как совокупность данных, содержащихся в документе по стандартизации, представленных в машиночитаемом, машиноинтерпретируемом, машинопонимаемом формате.

В результате проведенного исследования не были найдены «Умные «SMART» по надежности ни в России, ни за рубежом, но есть надежда, что этот процесс затронет разработку таких стандартов по надежности.

Заключение

Результаты проведенного исследования, целью которого явилось проведение анализа и обобщение результатов научных достижений в области развития подходов к оценке показателей надежности как свойства качества объектов и продукции, позволили выделить ряд первостепенных направлений по оценке надежности, которые могут представлять интерес для широкого круга специалистов.

Практически все методы оценки параметров надежности не потеряли своей значимости, тем не менее, в настоящее время обычными контрольными и определительными испытаниями на надежность занимается ограниченное количество теоретиков и практиков. Одним из которых предложен новый подход к статистическому контролю качества, включая и контроль надежности. Этот подход был назван автором «принципом распределения приоритетов». В этом подходе удается существенно снизить значения рисков и заметно уменьшить объем испытаний, что является одной из основных проблем традиционных планов испытаний.

Особое внимание следует обратить на проведение ускоренных испытаний на надежность. Среди актуальных и первостепенных задач для эффективности проведения ускоренных испытаний следует выделить задачи определения оптимального объема испытаний и создание условий оперативного получения информации об отказах новых высоконадежных изделий и разработок.

В настоящее время как в России, так и за рубежом авторы не обнаружили «Умные «SMART» стандарты по надежности. В России этот процесс находится на начальной стадии. Будем надеяться, что качество и надежность будут одними из первых для разработки «Умных «SMART» стандартов.

Библиографический список

Антонов А. В. Оптимизация числа запасных элементов оборудования, важных для безопасности АЭС / А. В. Антонов, А. В. Пляскин, В. А. Чепурко // Методы менеджмента качества. 2001. № 8. С. 27-30.

Антонов А. В. Оценивание характеристик надежности элементов и систем ЯЭУ комбинированными методами / А. В. Антонов, В. А. Острейковский. М.: Энергоатомиздат. 1993. 368 с.

Белов В. П. О понятиях «надежность» и «безопасность» технических систем с позиций разработчиков / В. П. Белов, А. Д. Голяков, С. Я. Старков // Методы менеджмента качества. 2003. № 10. С. 46-49.

- Богатырев В. А. Отказоустойчивость функционально-распределенных систем // Методы менеджмента качества. 2001а. № 3. С. 34-37.
- Богатырев В. А. Оценка коэффициента сохранения эффективности отказоустойчивых систем из многофункциональных модулей // Методы менеджмента качества. 2001б. № 9. С. 29-33.
- Веснин В. Метод планирования циклических форсированных испытаний // Надежность и контроль качества. 1995. № 3. С. 3-8.
- Гианулис Л. Прогноз ожидаемого числа возвратов отказавшей продукции при массовом производстве. На примере портативных телефонов // Методы менеджмента качества. 2000. № 11. С. 38-41.
- Гродзенский С. Я. Последовательный контроль надежности изделий по количественным признакам // Методы менеджмента качества. 2001а. № 7. С. 31-34.
- Гродзенский С. Я. Рационализация контрольных испытаний на надежность // Методы менеджмента качества. 2001б. № 1. С. 31-36.
- Демидович Н. О. Гармонизация терминологии в области надежности // Методы менеджмента качества. 2002. № 10. С. 43-47.
- Демидович Н. О. Стандартизация модели отказов // Надежность и контроль качества. 1994. № 9. С. 35-64.
- Замыслов М. А. Оценка надежности системы с функциональной реконфигурацией / М. А. Замыслов, Е. М. Замыслов // Методы менеджмента качества. 2002. № 6. С. 36-39.
- Каминский М. П. Непараметрическое прогнозирование квантилей времени безотказной работы по результатам испытаний в форсированных режимах // Надежность и контроль качества. 1990. № 7. С. 3-7.
- Карташов Г. Д. Марковские модели прогнозирования надежности // Надежность и контроль качества. 1998. № 12. С. 33-36.
- Кокс Д. Р. Анализ данных типа времени жизни [пер. с англ.] / Д. Р. Кокс, Д. Оутс. М.: Финансы и статистика, 1988. 191с.
- Коновалов Л. В. Роль и приоритетные направления конструкционной надежности машин при современных тенденциях машиностроения // Надежность и контроль качества. 1997. № 5. С. 3-17.
- Кузнецов К. А. Ускоренные испытания наручных механических часов на долговечность // Методы менеджмента качества. 2000. № 8. С. 31.
- Остreichовский В. А. Теория надежности. М.: Высшая школа, 2023. 463 с.
- Проников А. С. Параметрическая надежность машин. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с. EDN TIRY2L.
- Рухин А. Л. Обзор советских работ по надежности / А. Л. Рухин, Х. К. Хсиех // Надежность и контроль качества. 1989. № 2. С. 3-25.
- Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. М.: Политехника, 2000. 248 с.
- Савчук В. П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 322 с.
- Смагин В. А. Об одной модели форсированных испытаний // Надежность и контроль качества. 1999. № 4. С. 46-48.
- Смагин В. А. Физико-вероятностные модели прогнозирования надежности изделий на основе форсирования испытаний // Надежность и контроль качества. 1998. № 4. С. 15-23.
- Статистический контроль качества продукции на основе принципа распределения приоритетов / В. А. Лапидус, М. И. Розно, А. В. Глазунов и др. М.: Финансы и статистика, 1991. 224 с.
- Стрельников В. П. О стандартизации модели отказов // Надежность и контроль качества. 1997. № 3. С. 26-40.
- Ушаков И. А. Оценка надежности элементов по результатам испытаний систем / И. А. Ушаков, С. Вайзе // Методы менеджмента качества. 2000. № 8. С. 26-27.

- Ушаков И. А.* Расчет номенклатуры запчастей для передвижных ремонтных мастерских / И. А. Ушаков, В. Пушер // Методы менеджмента качества. 2002а. № 4. С. 41-42.
- Ушаков И. А.* Территориально-распределенная система технического обслуживания / И. А. Ушаков, В. Пушер // Методы менеджмента качества. 2002б. № 2. С. 32-36.
- Челядин В. Л.* Оценка надежности территориальной системы электроснабжения / В. Л. Челядин // Методы менеджмента качества. 2003. № 1. С. 44-47.
- Шнер В. Л.* О стандартизации модели отказов // Надежность и контроль качества. 1997. № 10. С. 40-48.
- Шнер В. Л.* Проблема ускоренных испытаний изделий электроники и радиоэлектроники. Современное состояние // В сб. «Качество и надежность изделий». М.: «Знание». №5(21). 1992. С. 79-120.
- Энциклопедия «Машиностроение». Том IV-3. «Надежность машин» / под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2021. 592 с.
- Ярлыков Н. Е.* Повышение эффективности контроля надежности. М.: Радио и связь, 2004. 151 с.
- Bagdonavicius V. B.* Parametric inference for step-stress models / V. B. Bagdonavicius, L. Gerville-Reache, M. S. Nikulin // IEEE Trans. Reliab. 2002. Vol. 51, № 1, pp. 27-31.
- Baldwin K. R.* Accelerated corrosion tests for aerospace materials: current limitations and future trends / K. R. Baldwin, C. J. E. Smith // Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal. 1999. Vol. 71, № 3. pp. 239-244.
- Becker R. A.* Events Defined by Duration and Severity, With an Application to Network Reliability / R. A. Becker, L. Clark, D. Lambert // Technometrics. 1998. Vol. 40, № 3. pp. 177-189. Discussion: pp. 190-194.
- Edgeman R. L.* Sequential analysis of accelerated life model / R. L. Edgeman, D. K. J. Lin // International Journal of Quality and Reliability Management. 1997. Vol. 14, № 6. pp. 598-605.
- Guangbin Yang* Accelerated degradation-tests with tightened critical values / Yang Guangbin, Yang Kai // IEEE Trans. Reliab. 2002. Vol. 51, № 4. pp. 463-468.
- Haiyan Xu* Commentary: the Khamis/Higgins model / Xu Haiyan, Tang Yincai // IEEE Trans. Reliab. 2003. Vol. 52, №1. pp. 4-6.
- Khamis I. H.* An alternative to the Weibull step-stress model / I.H. Khamis, J.J. Higgins // International Journal of Quality and Reliability Management. 1999. Vol. 16, № 2. pp. 158-165.
- Khamis I. H.* Comparison between constant and step-stress tests for Weibull models // International Journal of Quality and Reliability Management. 1996. Vol. 14, № 1. pp. 74-81.
- Lee-Ing Tong.* Forecasting field failures data for repairable systems using neural networks and SARIMA / Tong Lee-Ing, Liang Yi-Hui // International Journal of Quality and Reliability Management. 2005. Vol. 22, № 4. pp. 410-420.
- Mathew S.* Optimal inspection frequency: A tool for maintenance planning/forecasting // International Journal of Quality and Reliability Management. 2004. Vol. 21, № 7. pp. 763-771.
- McLean H. W.* HALT, HASS & HASA Explained: Accelerated Reliability Techniques. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2000. 152 p.
- Nelson W.* Accelerated testing: statistical models, test plans, and data analyses. N.Y.: John Wiley and Sons, 1990. 605 p.
- Pasquini A.* Reliability analysis of systems based on software and human resources / A. Pasquini, G.Pistolesi, A.Rizzo // IEEE Trans. Reliab. 2001. Vol. 50, №4. pp. 337-345.
- Sheng-Tsai Tseng.* Step-Stress Accelerated Degradation Analysis For Highly Reliable Products // Journal of Quality Technology. 2000. Vol. 32, № 3. pp. 209-216.
- System availability with non-exponentially distributed outages / Cao Yonghuan, Sun Hairong, K.S. Trivedi, J.J. Han // IEEE Transactions on Reliability. 2002. Vol. 51, № 2. pp. 193-198.
- Utkin L. V.* Imprecise reliability of cold standby systems // International Journal of Quality and Reliability Management. 2003. Vol. 20, № 6. pp. 722-739.

References

- Antonov A. V., Ostreikovsky V. A. (1993). Evaluation of reliability characteristics of nuclear power plant elements and systems by combined methods. Moscow: *Energoatomizdat*, 1993. 368 p. (in Russian)
- Antonov A. V., Plyaskin A. V., Chepurko V. A. (2001). Optimization of the number of spare elements of equipment important for NPP safety. *Quality management methods*. 8: 27-30. (in Russian)
- Bagdonavicius V. B., Gerville-Reache L., Nikulin M. S. (2002). Parametric inference for step-stress models. *IEEE Trans. Reliab.* 51(1): 27-31.
- Baldwin K. R. Smith C. J. E. (1999). Accelerated corrosion tests for aerospace materials: current limitations and future trends. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*. 71(3): 239-244.
- Becker R. A., Clark L., Lambert D. (1998). Events Defined by Duration and Severity, With an Application to Network Reliability. *Technometrics*. 40(3): 177-189. Discussion: pp. 190-194.
- Belov V. P., Golyakov A. D., Starkov S. Ya. (2003). On the concepts of «reliability» and «safety» of technical systems from the standpoint of developers. *Quality management methods*. 10: 46-49. (in Russian)
- Bogatyrev V. A. (2001a). Fault tolerance of functional-distributed systems. *Quality management methods*. 3: 34-37. (in Russian)
- Bogatyrev V. A. (2001b). Evaluation of efficiency preservation factor of fault-tolerant systems from multifunctional modules. *Quality management methods*. 9: 29-33. (in Russian)
- Chelyadin V. L. (2003). Reliability assessment of territorial power supply system. *Quality management methods*. 1: 44-47. (in Russian)
- Cox D. R., Oates D. (1988). Analysis of life-time type data [transl. from Eng.]. Moscow: *Finance and Statistics*, 1988. 191 p.
- Demidovich N. O. (1994). Standardization of Failure Model. *Reliability and Quality Control*. 9: 35-64. (in Russian)
- Demidovich N. O. (2002). Harmonizing Terminology in the Field of Reliability. *Quality Management Methods*. 10: 43-47. (in Russian)
- Edgeman R. L., Lin D. K. J. (1997). Sequential analysis of accelerated life model. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 14(6): 598-605.
- Encyclopedia «Engineering» Tom IV-3. «Machine Reliability» / under general. red. V. V. Klyueva. Moscow: *Mechanical engineering*, 2021. 592 p. (in Russian)
- Gianoulis L. (2000). Forecast of the expected number of returns of failed products during mass production. On the example of portable phones. *Quality management methods*. 11: 38-41. (in Russian)
- Grodzensky S. Ya. (2001a). Consistent control of product reliability by quantitative characteristics. *Quality management methods*. 7: 31-34. (in Russian)
- Grodzensky S. Ya. (2001b). Rationalization of control tests for reliability. *Quality management methods*. 1: 31-36. (in Russian)
- Guangbin Yang, Kai Yang. (2002). Accelerated degradation-tests with tightened critical values. *IEEE Trans. Reliab.* 51(4): 463-468.
- Haiyan Xu, Tang Yincai. (2003). Commentary: the Khamis/Higgins model. *IEEE Trans. Reliab.* 52(1): 4-6.
- Kaminsky M. P. (1990). Non-parametric prediction of fault-free operation time quantiles based on the results of tests in forced modes. *Reliability and quality control*. 7: 3-7. (in Russian)
- Kartashov G. D. (1998). Markovsky reliability prediction models. *Reliability and quality control*. 12: 33-36. (in Russian)
- Khamis I. H. (1996). Comparison between constant and step-stress tests for Weibull models. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 14(1): 74-81.
- Khamis I. H., Higgins J. J. (1999). An alternative to the Weibull step-stress model. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 16(2). 158-165.
- Konovalov L. V. (1997). Role and priority areas of structural reliability of machines in modern trends in mechanical engineering. *Reliability and quality control*. 5: 3-17. (in Russian)

- Kuznetsov K. A. (2000). Accelerated durability tests of mechanical wristwatches. *Quality management methods*. 8: 31. (in Russian)
- Lapidus V. A., Rozno M. I., Glazunov A. V., et al. (1991). Statistical quality control of products based on the principle of prioritization. Moscow: *Finance and Statistics*, 1991. 224 p.
- Lee-Ing Tong, Yi-Hui Liang. (2005). Forecasting field failures data for repairable systems using neural networks and SARIMA. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 22(4): 410-420.
- Mathew S. (2004). Optimal inspection frequency: A tool for maintenance planning/forecasting. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 21(7): 763-771.
- McLean H. W. (2000). HALT, HASS & HASA Explained: Accelerated Reliability Techniques. Milwaukee: *ASQ Quality Press*, 2000. 152 p.
- Nelson W. (1990). Accelerated testing: statistical models, test plans, and data analyses. New York: *John Wiley and Sons*, 1990. 605 p.
- Ostreikovsky V. A. (2023). Reliability Theory. Moscow: *Higher School*, 2023. 463 p. (in Russian)
- Pasquini A., Pistolesi G., Rizzo A. (2001). Reliability analysis of systems based on software and human resources. *IEEE Trans. Reliab.* 50(4): 337-345.
- Pronikov A. S. (2002). Parametric reliability of machines. Moscow: *Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University*. 2002. 560 p. (in Russian)
- Rukhin A. L., Khsiekh H. K. (1989). Review of Soviet reliability work. *Reliability and quality control*. 1989. 2: 3-25. (in Russian)
- Ryabinin I. A. (2000). Reliability and safety of structurally complex systems. Moscow: *Polytechnic*, 2000. 248 p. (in Russian)
- Savchuk V. P. (1989). Bayesian methods of statistical assessment: Reliability of technical facilities. Moscow: *Science. Ch. ed. Physical-mat. lit.*, 1989. 322 p. (in Russian)
- Sheng-Tsaing Tseng. (2000). Step-Stress Accelerated Degradation Analysis For Highly Reliable Products. *Journal of Quality Technology*. 32(3): 209-216.
- Shper V. L. (1992). The problem of accelerated testing of electronics products and radio electronics. Modern state. In Sat. «*Quality and reliability of products*». 5(21): 79-120.
- Shper V. L. (1997). On standardization of failure model. *Reliability and quality control*. 10: 40-48. (in Russian)
- Smagin V. A. (1998). Physical and probabilistic models for predicting the reliability of products based on forcing tests. *Reliability and quality control*. 4: 15-23. (in Russian)
- Smagin V. A. (1999). About one model of forced tests. *Reliability and quality control*. 4: 46-48. (in Russian)
- Strelnikov V. P. (1997). On standardization of failure model. *Reliability and quality control*. 3: 26-40. (in Russian)
- Ushakov I. A., Pusher V. (2002a). Calculation of spare parts nomenclature for mobile repair shops. *Quality management methods*. 4: 41-42. (in Russian)
- Ushakov I. A., Pusher V. (2002b). Territorial-distributed maintenance system. *Quality management methods*. 2: 32-36.
- Ushakov I. A., Weise S. (2000). Assessment of reliability of elements based on the results of systems testing. *Quality management methods*. 8: 26-27. (in Russian)
- Utkin L. V. (2003). Imprecise reliability of cold standby systems. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 20(6): 722-739.
- Vesnin V. (1995). Method of planning cyclic forced tests. *Reliability and quality control*. 3: 3-8. (in Russian)
- Yarlykov N. E. (2004). Improving the efficiency of reliability control. Moscow: *Radio and communication*. 2004. 151 p. (in Russian)
- Yonghuan Cao. (2002). System availability with non-exponentially distributed outages. *IEEE Transactions on Reliability*. 51(2): 193-198.
- Zamyslov M. A., Zamyslov E. M. (2002). Evaluation of system reliability with functional reconfiguration. *Quality management methods*. 6: 36-39. (in Russian)

ВОЗРАСТ ПИЛОТА И ТРАВМАТИЗМ В АВИАЦИИ

Николай Иванович Николайкин,
orcid.org/0000-0001-9867-2208,
доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
nikols_n@mail.ru

Елена Эдуардовна Сигалева,
orcid.org/0000-0001-9899-1604,
доктор медицинских наук, профессор РАН
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН,
Хорошевское шоссе, 76 А
Москва, 123007, Россия
sigaleva@mail.ru

Александра Леонидовна Рыбалкина,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
rybalkina@list.ru

Ольга Борисовна Пасекова,
orcid.org/0000-0001-8198-1637,
старший научный сотрудник
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН,
Хорошевское шоссе, 76 А
Москва, 123007, Россия
obp1710@gmail.com

Аннотация. Описаны результаты анализа влияния возраста пилота на статистику травматизма в гражданской авиации. Сохраняется и даже имеет тенденцию к росту доля числа авиационных происшествий, вызванных действиями человека. При операциях наземного обслуживания авиатехники продолжается травмирование работников. Оценка авторами вклада различных факторов риска в происходящие негативные события подтверждает превалирование человеческого фактора. Анализировалась статистика деятельности гражданской авиации. Рассматривались примеры авиационных происшествий с воздушными судами авиации общего назначения и санитарной авиации, перевозившими пациентов, которым требовалась неотложная медицинская помощь.

Показано наличие пика числа авиационных происшествий для пилотов возраста 50-59 лет, причем этот пик наблюдается у опытных пилотов, имеющих налёт более 5 000 часов. Среди пилотов возраста 40-49 лет половина авиационных происшествий произошла у командиров воздушных судов с налетом 1 000 ... 5 000 ч, и около одной трети у командиров с налётом менее 500 ч.

Выявлено, что для отечественной авиации общего назначения в 2020 г. основными причинами авиационных происшествий были такие элементы человеческого фактора, как ошибки пилотирования, связанные с недостатками в обучении и малым опытом полётов; потеря пространственной ориентировки в метеоусловиях, не соответствующих правилам визуальных полётов, в условиях близкого подстилающей поверхности, при попадании в снежный вихрь, а также столкновение с проводами линий электропередачи.

Ключевые слова: авиация, безопасность полётов, производственная безопасность, человеческий фактор, возраст пилота.

PILOT AGE AND INJURIES IN AVIATION

*Nikolay I. Nikolaykin,
orcid.org/0000-0001-9867-2208,
Doctor of Sciences in Technology, Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
nikols_n@mail.ru*

*Elena Ed. Sigaleva,
orcid.org/0000-0001-9899-1604,
Doctor of Sciences in Medicine, Russian Academy of Sciences Professor,
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
sigaleva@mail.ru*

*Alexandra L. Rybalkina,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
rybalkina@list.ru*

*Olga B. Pasekova,
orcid.org/0000-0001-8198-1637,
senior researcher
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
obp1710@gmail.com*

Abstract. The results of an analysis of the influence of pilot age on injury statistics in civil aviation are described. The proportion of aviation accidents caused by human actions remains the same and even tends to increase. Workers continue to get injured during ground handling operations for aircraft. The authors' assessment of the various risk factors contribution to ongoing negative events confirms the human factor prevalence. Statistics on the activities of civil aviation was analyzed. Examples of aviation accidents involving general aviation aircraft and medical aircraft transporting patients who required emergency medical care were considered.

It has been shown that there is a peak in the aviation accidents for pilots aged 50-59 years, and this peak is observed among experienced pilots with more than 5,000 hours of flight time. For pilots aged 40-49 years, half of the accidents occurred among aircraft commanders with 1,000 ... 5,000 hours of flight time, and about one third among pilots with less than 500 hours of flight time.

It was revealed that for domestic general aviation in 2020, the main causes of aviation accidents were such elements of human factor as piloting errors associated with deficiencies in training and little flight experience; loss of spatial orientation in weather conditions that do not comply with visual flight rules, when the underlying surface is white, when caught in a snow whirlwind, as well as a collision with power line wires.

Keywords: aviation, flight safety, industrial safety, human factor, pilot age.

Введение (Introduction)

Воздушный транспорт во всем мире всю свою более чем вековую историю являлся примером исключительно быстро развивающейся отрасли экономики. В нашей стране гражданская авиация (ГА) уже много десятилетий – пример динамично эволюционирующего транспорта, лидирующего [Транспорт России..., 2022] среди иных видов транспорта (рисунок 1).

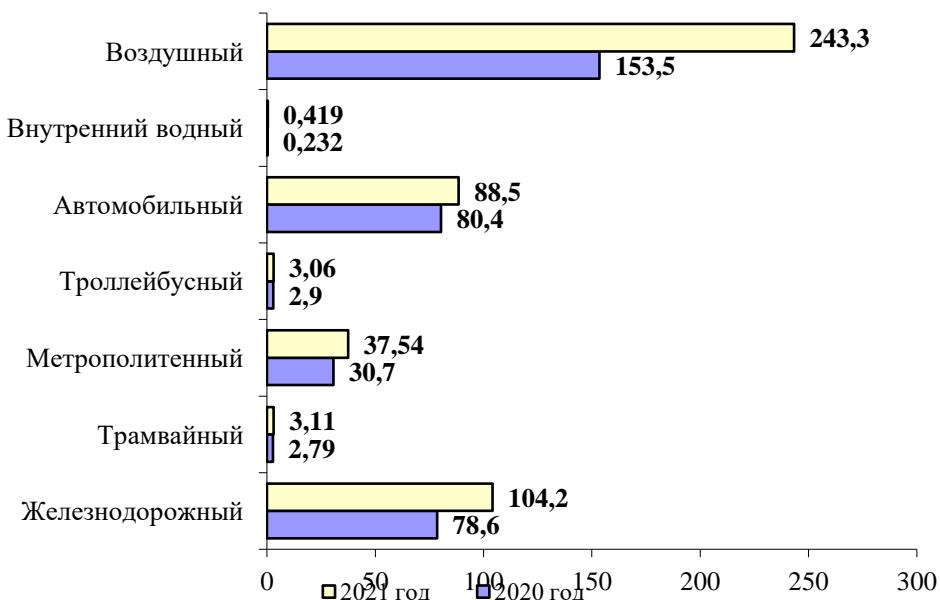


Рисунок 1 – Пассажирооборот транспорта РФ общего пользования (млрд. пасс.-км). Источник: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11784>

Объем авиаперевозок растет, что, как и на других видах транспорта [Муллер и др., 2021], обуславливает необходимость тщательного моделирования системы управления рисками на авиапредприятиях ГА как на опасных объектах [Николайкин и др., 2012], а также требует щепетильного подхода к обеспечению безопасности работников отрасли, пассажиров и грузов. Развитие авиации вплоть до настоящего времени происходит при непосредственном участии человека в функционировании всех звеньев авиационно-транспортного комплекса. Однако, при своей естественной (природной) склонности к совершению ошибок, человек принимает самое непосредственное участие в создании и эксплуатации всего, что используется для обеспечения авиаперевозок. К этому, в первую очередь, относятся принимаемые организационно-технические решения, в которых не до конца учитываются все компоненты психофизиологических возможностей,

профессиональной и технической подготовки летного состава, диспетчеров управления воздушным движением и инженерно-технического персонала.

Материалы и методы (Materials and methods)

В качестве информационной и терминологической базы в работе использовались:

- информационные материалы и статистические данные транспортного комплекса РФ [План НИОКР ..., 2020; Транспорт России..., 2022];
- стандарты и рекомендуемая практика Международной организации гражданской авиации (ИКАО от ICAO) [Safety Management..., 2017];
- официальные материалы Межгосударственного авиационного комитета (МАК) по расследованию авиационных происшествий за 2013-2022 гг. [МАК. Расследование ..., 2023; МАК. Состояние ..., 2023];
- научные источники: книги, монографии, журнальные статьи, диссертационные исследования и т.п.;
- методы математической статистики, а также результаты собственных расчётов.

Дискуссия (Discussion)

На авиапредприятиях при операциях наземного обслуживания авиатехники и пассажиров время от времени [Иванов и др., 2014] происходит травмирование работников, в том числе даже с летальным исходом. Данные, характеризующие производственный травматизм в ГА (без числа пострадавших в авиационных происшествиях) [План НИОКР ..., 2020], приведены на рисунке 2.

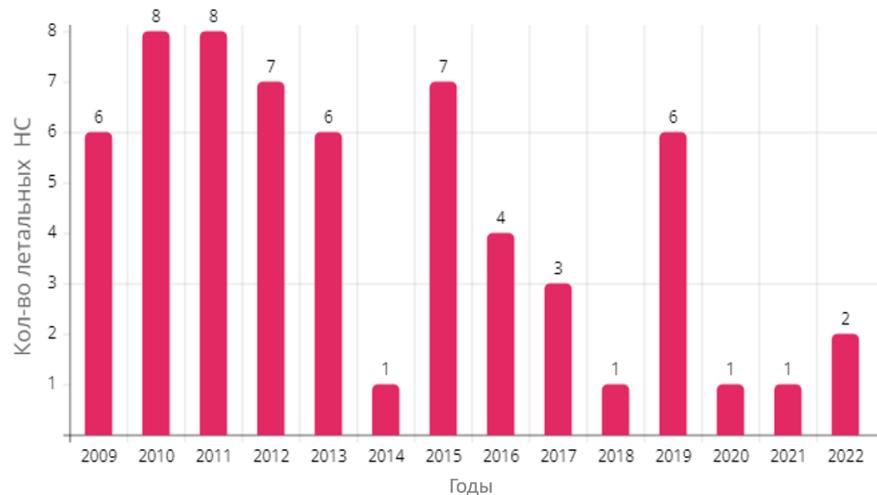


Рисунок 2 – Производственный травматизм (число пострадавших со смертельным исходом) на авиапредприятиях ГА

При том, что известно [Коршунов и др., 2023] о совокупном действии фактов, приводящих к разнообразным авариям и несчастным случаям при оказании транспортных услуг, в целом в последние годы сохраняется и имеет тенденцию к росту доля числа авиационных происшествий (АП), вызванных

действиями человека. Поэтому элементам, характеризующим человека, в наше время уделяется большое внимание, так, в частности, исследуется [Effects of Electromagnetic..., 2022] поведение и ошибки человека-оператора, управляющего транспортными средствами в условиях, характеризующихся наличием резких гелио- и геомагнитных возмущений.

Безопасностью полетов называют состояние, при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются [Safety Management ..., 2017].

В таблице 1 показаны абсолютные показатели аварийности в ГА РФ [МАК. Состояние ..., 2023] за последнее десятилетие.

Таблица 1 – Абсолютные показатели аварийности в ГА в РФ за 2013-2022 гг.

Годы	Авиационные происшествия (в т.ч. катастрофы)	Катастрофы	Погибло в катастрофах
2013	29	13	93
2014	38	22	80
2015	41	20	60
2016	52	23	59
2017	39	20	51
2018	42	22	128
2019	27	17	70
2020	36	18	35
2021	30	18	70
2022	35	13	24

На безопасность полетов влияют три группы факторов: человеческий фактор (ЧФ), технический фактор и неблагоприятные внешние условия. По данным [Козлов, 2000] в конце XX в. ошибочными действиями пилотов было обусловлено около 80% АП.

Под человеческим фактором в авиации понимают совокупность индивидуальных и профессиональных качеств человека, которые проявляются в конкретных условиях функционирования авиационной системы, оказывая влияние на ее надежность. При этом складывается так называемая система «летчик – воздушное судно – среда» [Небилет ..., 2002, с. 7].

По концепции Международной организации гражданской авиации (ИКАО), человеческий фактор – это люди в той обстановке, в которой они живут и трудятся, взаимодействуют с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также между собой [Human Factors ..., 1998].

Распределение факторов, определивших АП за 2010-2015 гг. по данным докладов Межгосударственного авиационного комитета (МАК) по 296 авиационным происшествиям в ГА, включая авиацию общего назначения (АОН) государств Содружества Независимых Государств (СНГ),

проанализировано в работах [Рыбалкина и др., 2015; Рыбалкина и др., 2018] и приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Факторы, определившие АП в СНГ за 2010-2015 гг.

Факторы	Доля, %
Человеческий фактор	77
Технический фактор	20
Неблагоприятные внешние условия	3

В работе [Роль утомления..., 2023] проведена оценка вклада различных факторов риска возникновения АП по материалам расследования МАК. За период 2010–2021 гг. проанализировано 89 АП, произошедших с тяжелыми воздушными судами, с максимальной взлетной массой более 5700 кг. Выявлены наиболее значимые факторы риска: темное время суток; работа в ночную смену; часы налета за полетную смену, месяц, год; неравномерность распределения летной нагрузки; длительность предполетного отдыха и ежегодного отпуска, а также производственные факторы (шум), которые в отдельности, или влияя сочетанно, способны увеличить риск возникновения АП в 3-5 раз.

В настоящее время во всем мире многие самолеты и вертолеты используются в качестве машин скорой помощи для перевозки пациентов с тяжелыми заболеваниями. Так, в частности, гражданский воздушный медицинский транспорт в Соединенных Штатах Америки, к сожалению, пережил значительное количество серьезных происшествий с летальным исходом.

Для выявления факторов, предопределяющих безопасность в воздухе, авторами работы [Shekhar et al., 2023] были изучены отчеты об авиационных происшествиях (АП) Национального совета США по безопасности на транспорте (NTSB⁵). Рассматривались АП за период 2000...2020 г., произошедшие с вертолетами или самолетами, выполнявшими медицинские рейсы, в которых (по данным NTSB) был хотя бы один погибший. За рассмотренный период (21 год) произошло восемьдесят семь (87) АП с 239 смертельными случаями. Почти три четверти (72,4%) несчастных случаев произошло на вертолетах, на самолетах – только 27,6%. Авторы работы [Shekhar et al., 2023], интерпретируя выводы NTSB, констатируют, что, вероятно, 87,4% катастроф способствовал так называемый «человеческий фактор» (ЧФ). К нему отнесены дезориентация пилота, ошибочные решения и действия пилота, ошибки при техническом обслуживании, ухудшение состояния здоровья, усталость или неправильная оценка погоды. Факторы, связанные с ночным временем, вероятно, способствовали 38,9% смертельных

⁵ NTSB – *National Transportation Safety Board* – независимое следственное агентство правительства США, расследующее происшествия на транспорте. Расследует и документирует все аварии в гражданской авиации, определённые виды автомобильных аварий, аварии на морском, железнодорожном и трубопроводном транспорте.

исходов, за ними следовали погодные факторы (35,6%) и различные технические причины (17,2%).

В работе [Budde et al., 2021] для парка воздушных такси установлено, что ЧФ способствует несчастным случаям со смертельным исходом, а также подчеркивается, что при оказании такого рода услуг сохраняется дефицит безопасности. Авторы считают, что для парка АОН требуется увеличение уровня подготовленности пилотов к полетам.

Изложенное служит основанием вывода о том, что в первую очередь причиной авиационных происшествий с воздушными судами, перевозящими пациентов, которым требуется неотложная медицинская помощь, является ЧФ и, следовательно, такие случаи возможно предотвратить.

К числу наиболее важных характеристик работника относятся возраст человека и стаж его работы [Котик, 1981]. На результаты деятельности работника значительное влияние оказывает его профессиональный стаж (рис. 3).

Приведенная закономерность рассматривает успешность выполнения операций только в связи со стажем независимо от возраста работающего. При этом навык выполнения простых операций и успешности действия при них достигается быстрее, чем для сложных операций.



Рисунок 3 – Влияние профессионального стажа на успешность деятельности [Котик, 1981]

Влияние возраста на успешность деятельности оказывается более сложным. Достаточно важной является связь возраст – успешность работы. До некоторого среднего возраста успешность деятельности постоянно повышается, достигая при этом некоторых определенных значений и стабилизируясь на них (рис. 4). Успешность деятельности определяется также приобретением человеком определенного социального и производственного опыта. При этом эффективность работы в период 18-20 лет увеличивается значительно быстрее, чем в интервале 25-35 лет.



Рисунок 4 – Влияние возраста на успешность работы [Котик, 1981]

В возрасте в районе 50 лет существенно сказываются возрастные изменения в организме, однако имеющийся к этому возрасту производственный опыт компенсирует эти изменения.

После достижения возраста 60 лет эффективность деятельности ухудшается и ухудшается настолько, что это невозможно компенсировать никаким производственным опытом.

В работе [Wilkening, 2002] утверждается, что пилоты авиакомпаний США постоянно превышают общедемографические нормы по продолжительности жизни, физическому здоровью и умственным способностям. В проведенном исследовании проверена справедливость существовавшего «правила 60 лет», по которому на протяжении десятилетий пилоты авиакомпаний в возрасте 60 лет и старше считались более опасными, по сравнению с более молодыми. Авторы полагают, что опасения о появлении отклонений в состоянии здоровья возрастного пилота, приведших к катастрофе, не оправданы. Поэтому правило, согласно которому только возраст используется в качестве единственного критерия пригодности пилотов старшего возраста, представляет собой возрастную дискриминацию в коммерческой авиации.

Результаты (Results)

Анализ всех (коммерческая авиация и АОН) расследованных авиационных происшествий в РФ за 2020 г. (по данным [МАК. Расследование ..., 2023]) позволил выявить связь числа авиационных происшествий с возрастом командира воздушного судна (КВС) (рис. 5). Наибольшее количество авиационных происшествий (55%) произошло с КВС 50-59 лет и в 24% случаев пилотам было 40-49 лет.

Также проанализирована зависимость от общего налета по возрастным группам (табл. 3). В возрасте 40-49 лет 50% АП произошло у КВС с налетом от 1 000 до 5 000 ч, 38% – менее 500 ч. В возрасте 50-59 лет 37% авиационных происшествий произошло у КВС с налетом более 5 000 ч. и по 26% – от 500 до 1 000 ч. и от 1 000 до 5 000 ч.

Распределение причин АП для АОН представлено в таблице 4. Четверть всех АП обусловлена ЧФ, а именно ошибками пилотирования, связанными с недостатками в обучении и малым опытом полетов.

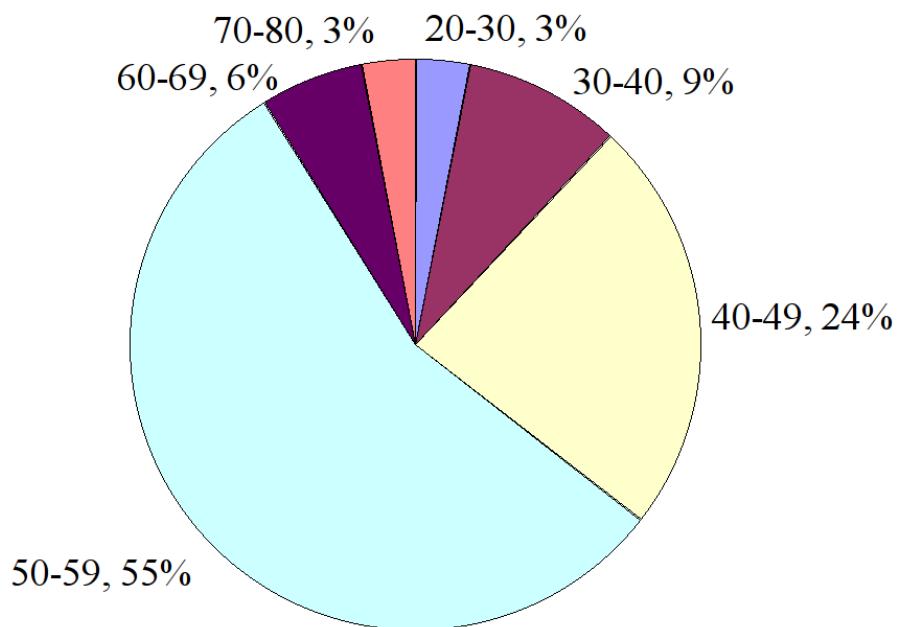


Рисунок 5 – Распределение авиационных происшествий в РФ за 2020 г. в зависимости от возраста КВС для коммерческой авиации и общего назначения (АОН)

Таблица 3 – Число авиационных происшествий в РФ за 2020 г. в зависимости от возраста КВС и общего налета (коммерческая авиация и АОН)

Возраст КВС, лет	20 ... 29	30 ... 39		40 ... 49		50 ... 59			60 ... 69	70 ... 80	
Налет, часов	1 000...5 000	менее 500	1 000...5 000	менее 500	1 000...5 000	более 5 000	менее 500	500...1 000	1 000...5 000	более 5 000	менее 500
Число АП, шт.	1	1	2	3	4	1	2	5	5	7	2
											1

Такие ошибки могут быть в любой возрастной категории. Это может быть связано с тем, что на КВС АОН пилоты учатся в различных возрастах, а также с малым опытом полетов при переобучении.

Таблица 4 – Распределение причин авиационных происшествий в РФ за 2020 г. для АОН

Причина АП	Число АП, шт	Возраст КВС, лет	Число АП, шт
Ошибки пилотирования, связанные с недостатками в обучении и малым опытом полетов	7	30-40	2
		40-49	2
		50-59	2
		70-80	1
Потеря пространственной ориентировки в метеоусловиях, не соответствующих ПВП, в условиях близкого подстилающей поверхности, при попадании в снежный вихрь	6	40-49	2
		50-59	3
		60-69	1
Столкновение с проводами линий электропередач (ЛЭП)	5	40-49	1
		50-59	4
Технический отказ, ошибки пилотирования при наличии технического отказа	4	40-49	1
		50-59	3
Ошибки пилотирования при наличии порывов ветра или турбулентности	3	20-30	1
		50-59	2
Прочее	3	30-40	1
		50-59	2

21% АП связано с потерей пространственной ориентировки в метеоусловиях, не соответствующих Правилам визуальных полетов (ПВП), в условиях близкого подстилающей поверхности или при попадании в снежный вихрь. Большинство из них произошло с пилотами 40-49 и 50-59 лет.

18% АП обусловлено столкновением с проводами ЛЭП. Большинство произошли с пилотами 50-59 лет.

14% АП обусловлено техническим отказом или ошибкой пилотирования при наличии технического отказа, 11% – ошибки пилотирования при наличии порывов ветра или турбулентности и 11% – прочими причинами.

Заключение (Conclusion)

Таким образом, проведенный анализ показывает, что существует пик авиационных происшествий для КВС возраста 50-59 лет. Этот пик наблюдается у опытных пилотов, причем 37% АП было совершено пилотами с налетом более 5 000 часов.

В зависимости от налета КВС распределение также неравномерное. В возрасте 40-49 лет 50% АП произошло у КВС с налетом от 1 000 до 5 000 ч., 38% – менее 500 ч. В возрасте 50-59 лет 37% авиационных происшествий произошло у КВС с налетом более 5 000 ч. и по 26% – от 500 до 1 000 ч. и от 1 000 до 5 000 ч.

Анализ распределения причин авиационных происшествий в РФ для АОН показал, что основными причинами в 2020 г. были такие элементы ЧФ, как ошибки пилотирования, связанные с недостатками в обучении и малым опытом полетов; потеря пространственной ориентировки в метеоусловиях, не соответствующих ПВП, в условиях близкого подстилающей поверхности, при попадании в снежный вихрь, а также столкновение с проводами ЛЭП.

Библиографический список

- Иванов А. И.* Динамика факторов риска производственной среды при наземном обслуживании авиационной техники / А. И. Иванов, Н. И. Николайкин, Ю. Г. Худяков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 204. С. 44-49. EDN SJFZDT.
- Козлов В. В.* Идеи А. Г. Шишова как теоретическая основа создания современной методологии расследования авиационных происшествий // Человеческий фактор: новые подходы в профилактике авиационной аварийности: Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения А. Г. Шишова. М., 2000. С. 13-23.
- Коршунов Г. И.* Оценка совокупного влияния вредных производственных факторов на профессиональный риск травмирования работников / Г. И. Коршунов, А. Н. Никулин, Д. Ю. Красноухова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 2(62). С. 192-198. EDN RUQEVC.
- Котик М. А.* Психология и безопасность. Таллин: Валгус, 1981. 408 с.
- МАК. Расследование авиационных происшествий и инцидентов: База по расследованию. // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 02.11.2023).
- МАК. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о ГА и об использовании воздушного пространства в 2022 г. // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: <https://mak-iac.org/upload/iblock/125/c2co11aksaur3c7ou08v0rb5c8siurrv/bp-22.pdf> (дата обращения: 02.11.2023).
- Муллер Н. В.* Оценка риска производственного травматизма работников на железной дороге / Н. В. Муллер, Т. А. Младова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10, № 4(56). С. 178-182. DOI 10.46548/21vek-2021-1056-0036. EDN VNZELO.
- Небилет. Эффективность и безопасность при монотерапии лиц летнего состава с гипертонической болезнью I стадии, допущенных к летней работе / Ю. И. Воронков, Ю. М. Анитов, О. Ю. Колисниченко, Н. В. Якимович, Л. М. Филатова, О. Б. Пасекова, З. А. Кривицина, Н. В. Дегтеренкова // Российские медицинские вести. 2002. 94 с.
- Николайкин Н. И.* Моделирование системы управления рисками при эксплуатации опасных производственных объектов / Н. И. Николайкин, Ю. Г. Худяков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 10. С. 35.
- План НИОКР ФАВТ на 2020 г. и на плановый период 2021 и 2022 гг. / Приказ Росавиации от 22.12.2020 № 1584-П «О внесении изменения в план научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Федерального агентства воздушного транспорта на 2020 год и на плановый период 2021 и 2022 годов, утвержденный приказом Федерального агентства воздушного транспорта от 2 сентября 2019 г. № 764-П» // [Электронный ресурс]. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosaviatsii-ot-22.12.2020-N-1584-P/> (дата обращения: 20.11.2023).
- Роль утомления членов экипажей воздушных судов гражданской авиации в гинезе авиационных происшествий / Е. В. Зибарев, И. В. Бухтияров, О. К. Кравченко, А. А. Климов, С. Н. Ивашов // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2023. Т. 57. № 1. С. 49-62. DOI: 10.21687/0233-528X-2023-57-1-49-62.
- Рыбалкина А. Л.* Методика оценки риска предстоящего полета для вертолетов с учетом неблагоприятных метеоусловий / А. Л. Рыбалкина, Е. И. Трусова, В. Д. Шаров // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. № 21(6). С. 124-140. DOI 10.26467/2079-0619-2018-21-6-124-140. EDN YRNSYX.
- Рыбалкина А. Л.* Синтез метеоинформации с целью повышения уровня безопасности полетов / А. Л. Рыбалкина, А. С. Спирин // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2 т. Пенза: ПГУ, 2015. Т. 1. С. 90-93. EDN UCGYEN.

Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Январь-декабрь 2021 года // Министерство транспорта Российской Федерации: сайт // [Электронный ресурс]. 2022. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11784> (дата обращения: 20.11.2023).

Budde D. Analysis of air taxi accidents (2004-2018) and associated human factors by aircraft performance class / D. Budde, J. Hinkelbein, D. D. Boyd // *Aerosp Med Hum Perform.* 2021. № 92(5). P. 294-302. DOI 10.3357/AMHP.5799.2021.

Effects of Electromagnetic Fields on Aviation Personnel, Their Behavior, and Erroneous Actions / V. Tsetlin, G. Stepanova, N. Nikolaykin, N. Korepina // Lecture Notes in Machine Engineering (LNME): Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. 2022. P. 383-392.

Human Factors Training Manual (Doc 9683-AN/950). 1st Edition, 1998. ICAO. 308 p. // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.globalairtraining.com/resources/DOC-9683.pdf> (дата обращения: 20.11.2023).

Safety Management Manual (SMM). Doc 9859-AN/474. Fourth edition. ICAO, 2017. 148 p. // [Электронный ресурс]. – URL: https://www.aex.ru/imgupl/files/ICAO%20Doc%209859%20-%20SMM_Edition%204%20-%20Peer%20Review.pdf (дата обращения: 20.11.2023)

Shekhar A. C. Fatal Air Medical Accidents in the United States (2000-2020) / A. C. Shekhar, I. J. Blumen // *Prehosp Disaster Med.* 2023. № 38(2). P. 259-263. DOI 10.1017/S1049023X23000134.

Wilkening R. The age 60 rule: age discrimination in commercial aviation. National Library of Medicine. Review: *Aviat Space Environ Med.* 2002 Mar. № 73(3). pp. 194-202.

References

Budde D., Hinkelbein J., Boyd D. D. (2021). Analysis of air taxi accidents (2004-2018) and associated human factors by aircraft performance class. *Aerosp Med Hum Perform.* 92(5): 294-302. DOI: 10.3357/AMHP.5799.2021.

FAAT R&D plan for 2020 and for the planning period 2021 and 2022. / Order of the Federal Air Transport Agency dated December 22, 2020 No. 1584-P. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosaviatsii-ot-22.12.2020-N-1584-P/> (accessed 20 November 2023). (in Russian)

Human Factors Training Manual (Doc 9683-AN/950). 1st Edition, 1998. ICAO. 308 p. Available at: <https://www.globalairtraining.com/resources/DOC-9683.pdf> (accessed 20 November 2023).

IAC. Aircraft Accident and Incident Investigation: Investigation Base. Available at: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (accessed 02 November 2023). (in Russian)

IAC. Flight safety state in civil aviation of the states parties to the agreement on civil aviation and on the use of airspace in 2022. Available at: <https://mak-iac.org/upload/iblock/125/c2co11aksaur3c7ou08v0rb5c8siurrv/bp-22.pdf> (accessed 02 November 2023). (in Russian)

Ivanov A. I., Nikolaykin N. I., Hudjakov Yu. G. (2014). Dynamics of Risk Factors of Production Environment During Aeronautical Equipment Ground Servicing. *Civil Aviation High Technologies.* 2004: 44-49. (in Russian)

Korshunov G. I., Nikulin A. N., Krasnoukhova D. Yu. (2023). Assessment of the Cumulative Effect of Harmful Production Factors on the Occupational Risk of Injury to Employees. *XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus.* 12-2(62): 192-198. EDN RUQEVC. (in Russian)

Kotik M. A. (1981). Psychology and safety. Tallinn: Valgus, 1981. 408 p. (in Russian)

Kozlov V. V. (2000). The ideas of A.G. Shishov as a theoretical basis for creating a modern methodology for investigating aviation accidents. *Human factor: new approaches to the prevention of aviation accidents: Materials of the anniversary scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of A. G. Shishov.* Moscow, 2000. 13-23. (in Russian)

- Muller N. V., Mladova T. A. (2021). The Assessment of the Risk of Occupational Injuries of Workers on the Railway. XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. 10-4(56). DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0036 (in Russian)*
- Nikolaykin N. I., Khudyakov Yu. G. (2012). Modeling of a Risk Management System for Operating of Dangerous Industrial Objects. Chemical and Petroleum Engineering. 10: 35. (in Russian)*
- Rybalkina A. L., Spirin A. S. (2015). Synthesis of meteorological information in order to improve the level of flight safety. Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality". 1: 90-93. (in Russian)*
- Rybalkina A. L., Trusova E. I., Sharov V. D. (2018). Risk assessment methodology for a forthcoming flight of helicopters taking into account unfavorable meteorological conditions. Civil Aviation High Technologies. 21(6): 124-140. (in Russian)*
- Safety Management Manual (SMM). Doc 9859-AN/474. Fourth edition. ICAO, 2017. 148 p. Available at: https://www.aex.ru/imgupl/files/ICAO%20Doc%209859%20-%20SMM_Edition%204%20-%20Peer%20Review.pdf (accessed 20 November 2023).
- Shekhar A. C., Blumen I. J. (2023). Fatal Air Medical Accidents in the United States (2000-2020). Prehosp Disaster Med. 38(2): 259-263. DOI 10.1017/S1049023X23000134.*
- Transport of Russia. Information and statistical bulletin. January-December 2021 // Ministry of Transport of the Russian Federation: Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11784> (accessed 20 November 2023). (in Russian)
- Tsetlin V., Stepanova G., Nikolaykin N., Korepina N. (2022). Effects of Electromagnetic Fields on Aviation Personnel, Their Behavior, and Erroneous Actions. Lecture Notes in Machine Engineering (LNME): Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. 383-392.*
- Voronkov Yu. I., Anitov Yu. M., Kolisnichenko O. Yu., Yakimovich N. V., Filatova L. M., Pasekova O. B., Krivitsina Z. A., Degterenkova N. V. (2002). Nebilet. Efficacy and safety in monotherapy of summer workers with stage I hypertension admitted to summer work. Russian medical news. 2002. 94 p.*
- Wilkening R. (2002). The age 60 rule: age discrimination in commercial aviation. National Library of Medicine. Review: Aviat Space Environ Med. 73(3): 194-202.*
- Zibarev E. V., Bukhtiyarov E. V., Kravchenko O. K., Klimov A. A., Ivashov S. N. (2023). Role of fatigue of civil aviation aircrews in genesis of aviation accidents. Journal of Aerospace and Environmental Medicine. 57(1): 49-62. DOI 10.21687/0233-528X-2023-57-1-49-62. (in Russian)*

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМПЛЕМЕНТАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В РОССИЙСКИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ

Анатолий Григорьевич Гузий,
orcid.org/0000-0002-8395-5333,
доктор технических наук, профессор
ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр»,
ул. Центральная, д. 8Б
Москва, Внуково, 110027, Россия
anatoliy.guziy@utair.ru

Анастасия Андреевна Шпаковская,
orcid.org/0009-0001-0017-1235,
Московский педагогический государственный университет,
ул. Малая Пироговская, д. 1
Москва, 119992, Россия
asyashp@mail.ru

Алексей Станиславович Муравьев,
orcid.org/0000-0003-0163-4948,
АО «Научно-производственное предприятие «Топаз»,
3-я Мытищинская ул., 16
Москва, 129626, Россия
gniiivm.m@ya.ru

Аннотация. В статье раскрыта проблема нормативного и методического обеспечения разработки и внедрения систем управления безопасностью полетов (СУБП) гражданских воздушных судов. Представлен подход к решению проблемы при имплементации международных стандартов безопасности (SARP) в государственных и корпоративных нормативных документах. Обоснована зависимость качества нормативных документов категории «СУБП» от степени совершенства соответствующих англоязычных версий SARP и их официальных переводов на русский язык. Приведены результаты анализа неточностей, неопределенностей, неоднозначностей, допускаемых в определениях основополагающих терминов и понятий в англо- и русскоязычных версиях документов SARP. Представлен анализ причин проблемы имплементации SARP в российских нормативных документах. Показано, что именно проблемой имплементации обуславливается несовершенство нормативной базы СУБП в России. По результатам анализа положительного опыта разработки и совершенствования нормативного и методического обеспечения СУБП, накопленного ведущими российскими эксплуатантами воздушных судов, предложены пути минимизации ошибок и неопределенностей в русскоязычных версиях международных стандартов при их имплементации в российских нормативных документах. Доказано, что совершенное государственное авиационное законодательство – необходимое условие выполнения требований по разработке СУБП поставщиками авиационных услуг.

Ключевые слова: международные стандарты, нормативные документы, имплементация, методическое обеспечение, безопасность, риск, факторы.

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR THE IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL FLIGHT SAFETY STANDARDS IN RUSSIAN CIVIL AVIATION

Anatoly G. Guziy,
orcid.org/0000-0002-8395-5333,
Doctor of Technical Sciences, professor
UTair Airlines,
8B, Tsentralnaya str.
Moscow, Vnukovo, 110027, Russia
anatoliy.guziy@utair.ru

Anastasia A. Shpakovskaya,
orcid.org/0009-0001-0017-1235,
Moscow pedagogical state university,
1, Malaya Pirogovskaya street
Moscow, 119992, Russia
asyashp@mail.ru

Alexey S. Muravyov,
orcid.org/0000-0003-0163-4948,
Topaz research and production enterprise,
16, 3rd Mytishchinskaya street
Moscow, 129626, Russia
gniiivm.m@mail.ru

Abstract. The present paper delves into the challenge of implementing international flight safety standards into the Russian regulatory framework governing the establishment, application, and refinement of aviation safety management systems (SMS) in the civil aviation sector in Russia. It underscores the reliance of SMS regulatory adherence on the Standards and Recommended Practices (SARPs) set forth by the International Civil Aviation Organization (ICAO). The paper conducts an examination of prevailing discrepancies, indeterminacies, and ambiguities in delineating core terms and concepts within the English and Russian renditions of ICAO SARPs documentation. Furthermore, it offers an evaluation of the implementation hurdles associated with SARPs in regulatory documentation pertaining to civil aviation flight safety in Russia. The deficiencies in the regulatory infrastructure for flight safety in Russia are substantiated. Drawing from practical insights gained in formulating and improving regulatory and methodological support for SMS in prominent Russian airlines, the paper proposes measures to mitigate inaccuracies and uncertainties in the integration of ICAO SARPs editions within the Russian regulatory framework for aviation industry service providers.

Keywords: international standards, regulatory support, implementation, methodological support, aviation safety, risk, factors.

Введение

Международная организация гражданской авиации (International Civil Aviation Organization – ICAO) – учреждение Организации Объединенных Наций, созданное для введения международных норм регулирования деятельности гражданской авиации (ГА). ICAO координирует развитие ГА на международном уровне, преследует цель повышения уровня безопасности полетов, выполняемых гражданскими воздушными судами (ВС). Международное регулирование деятельности ГА основывается на стандартах ICAO (Standards and Recommended Practices – SARP), которые предусмотрены

Чикагской Конвенцией и изложены в Приложениях к Конвенции. SARP ICAO распространяются на государственные регламентирующие органы (авиационные администрации) договаривающихся государств, подписавших Конвенцию, тем не менее, к эксплуатантам ВС, к операторам аэроромов и к другим поставщикам авиационных услуг в стандартах ICAO также содержится ряд требований, в том числе по безопасности выполняемых и обеспечивающих полетов. Единообразное применение стандартов ICAO всеми договаривающимися государствами является необходимым. Если в некотором государстве не соблюдаются какой-либо Международный стандарт, то регламентирующий орган этого государства обязан поставить в известность Совет ICAO и сообщить о намерениях (планах) по соблюдению стандарта в будущем.

Стандарты ICAO традиционно разрабатываются, перерабатываются, издаются и переиздаются на английском языке. Они делятся на два класса: на требования, которые являются необходимыми (обязательными) для применения – сами «стандарты» (*standards*), и на требования, которые являются желательными (рекомендательными) – так называемая «рекомендуемая практика» (*recommended practices*).

«*Стандарт* – любое требование к физическим характеристикам, конфигурации, материальной части, техническим характеристикам, персоналу или правилам, единообразное применение которого признается необходимым для обеспечения безопасности... и которое Договаривающиеся государства будут **соблюдать** согласно Конвенции»⁶.

«*Рекомендуемая практика* – любое требование ..., единообразное применение которого признается желательным в интересах безопасности ... и которое Договаривающиеся государства будут **стремиться соблюдать** в соответствии с Конвенцией»⁶. (Выделено авторами).

Со временем, в процессе совершенствования системы нормативных документов и развития авиационной отрасли, рекомендациям, как правило, придается статус «требования», т. е. они становятся обязательными к исполнению в соответствующей области деятельности ГА. SARP ICAO подлежат обязательной имплементации в государственных нормативных документах каждого из Договаривающихся государств.

Некоторая (значительная) часть SARP ICAO относится непосредственно к безопасности полетов (БП) в ГА. SARP ICAO в области БП способствуют развитию Safety Management System (SMS) и повышению ее эффективности в решении общей проблемы повышения уровня БП ВС ГА.

Системный подход к управлению безопасностью полетов в рамках SMS предусматривает охват всех компонентов, составляющих авиационную транспортную систему государства, с учетом взаимосвязей (интерфейсов) и взаимовлияния. Для разработки и совершенствования SARP в области БП требуется участие огромного коллектива высококвалифицированных

⁶ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

специалистов-экспертов, которые должны охватывать все направления авиационной деятельности, т. е. необходим «коллективный разум».

Цель статьи: представить результаты анализа SARP ICAO и государственных нормативных документов на предмет их соответствия друг другу и современным научным положениям в области БП, показать причины и источники несоответствий, в том числе при имплементации SARP ICAO в нормативные документы РФ, представить предложения по минимизации несоответствий в нормативной базе управления безопасностью полетов.

Международные стандарты и рекомендуемая практика обеспечения безопасности полетов в гражданской авиации

Вполне закономерно, что любые вновь издаваемые, обновляемые, актуализируемые или переиздаваемые SARP ICAO, регламентирующие авиационную деятельность, в том числе регламентирующие управление безопасностью полетов, могут иметь недостатки (издержки), не устранимые на дату введения документов в действие. Качество нормативных документов (научный уровень, глубина проработки, полнота охвата задействованных компонентов авиационной транспортной системы, отсутствие неопределенностей, готовность к применению, ...) зависит от множества факторов.

Во-первых, профессиональный уровень разработчика (творческого коллектива привлеченных специалистов-экспертов) в охватываемой области деятельности.

Во-вторых, уровень владения английским языком в соответствующей области деятельности. SARP ICAO издаются на шести языках: английском, арабском, испанском, китайском, русском, французском. Качество официального перевода SARP ICAO с английского на другие языки, в том числе на русский, значительно зависит от профессионального уровня специалиста-переводчика (коллектива переводчиков) в соответствующей области авиационной деятельности. Поскольку при вынесении на предусмотренное обязательное обсуждение любого вновь издаваемого или переиздаваемого нормативного документа ICAO участникам-членам международного Соглашения предлагается исключительно англоязычная версия проекта, то круг участников обсуждения ограничен высокими требованиями к квалификации привлекаемых специалистов и к уровню их владения специализированным английским языком. Очевидно, что в официальном переводе обновляемых SARP количество ошибок и неточностей, допускаемых при разработке вводимых новых терминов, определений, процедур, процессов увеличивается в результате издержек, допускаемых при переводе [Гузий и др., 2022; Гузий и др., 2023; Шаров, 2013; Шаров и др., 2019]. Более того, перевод обновляемых (переиздаваемых) SARP ICAO на русский язык по факту выполняется с задержкой на 6-9 месяцев, т. е. русскоязычным пользователям SARP ICAO поступают только через некоторое время после официального введения документа в действие. В отличие от

стандартов ICAO, издаваемых в форме Приложений к Конвенции^{7,8}, имеющих официально переведенные версии, рекомендуемая практика SARP, издаваемая в форме Руководств, на русский язык переводятся не вся, некоторые Руководства остаются только в англоязычной версии. Так оба издания Fatigue Management Guide for Airline Operators [Fatigue Management..., 2015] не имеют официальной русскоязычной версии.

Кроме SARP ICAO к уровню «международные стандарты» относятся:

- United Nations Aviation Standards for Peacekeeping and Humanitarian Air Transport Operations – стандарты ООН [United Nations..., 2022];
- IATA Operational Safety Audit (IOSA) – стандарты безопасности Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA) [IOSA..., 2023];
- European Aviation Safety Authority (EASA) – стандарты Европейского агентства авиационной безопасности [Management System..., 2017];
- Safety Assessment of Foreign Aircrafts (SAFA) – стандарты инспектирования Европейского агентства авиационной безопасности [Ramp Inspection..., 2019].

Перечисленные международные стандарты применяются исключительно в англоязычных версиях и являются конкретизированными производными от англоязычных версий SARPs ICAO, поэтому в них не должно быть противоречий базовым SARP ICAO. Допущенные в SARP ICAO ошибки, неточности или неопределенности неизбежно повторяются в международных нормативных документах более низкого уровня, поэтому серьезно препятствуют имплементации международных стандартов безопасности на внутригосударственном и региональном (отраслевом) уровнях [Шаров и др., 2019]. ООН признает, что «в национальных правилах и практиках могут иметься различия, которые потенциально могут породить разные стандарты безопасности полетов» [Авиационные стандарты..., 2012].

Опыт разработки и внедрения SMS российскими эксплуатантами ВС убедительно показывает, что из-за неопределенностей или неоднозначностей в понятиях, неточностей в определениях и ошибок, допускаемых в международных нормативных документах, в том числе в SARP ICAO, у эксплуатантов ВС периодически возникают сложности с достижением требуемого соответствия разработанных SMS международным и государственным требованиям. Даже незначительная неопределенность или неоднозначность новых понятий (процедур), вводимых в SARP ICAO, порождает неприемлемую вариацию основополагающих стандартизуемых положений, ошибочность понимания и/или применения стандартов в корпоративных нормативных документах категории «SMS». В результате не достигается ожидаемая эффективность системного подхода к управлению безопасностью полетов, что, в свою очередь, обуславливает недостаточно высокий уровень БП у некоторых эксплуатантов ВС [Человек..., 2013].

⁷ Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный воздушный транспорт. Издание 11. ICAO, 2018.

⁸ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

Для успешной разработки, внедрения и совершенствования SMS поставщиками авиационных услуг, включая и эксплуатантов ВС, требуется методологическое обеспечение имплементации международных нормативных документов во внутригосударственной нормативной базе и в нормативной базе поставщиков авиационных услуг.

Поэтому необходимо:

- на этапе обсуждения проектов обновляемых SARP ICAO профессионально анализировать вносимые в документы изменения (дополнения) на предмет их приемлемости в планируемой области;
- выполнять экспертное оценивание содержания новых положений, научности терминов и определений, полноты описания процедур;
- оценивать соблюдение принципов системности изложения изменений и преемственности новых/обновляемых SARP с ранее принятыми;
- научно обосновать выявляемые недостатки;
- на этапе обсуждения проектов разрабатывать научно обоснованные предложения по исключению/минимизации недостатков, выявляемых в SARP ICAO, и по устранению ожидаемых несоответствий между SARP ICAO и российскими нормативными документами (с учетом проводимой в России «регуляторной гильотины», а также изменений в Конституции РФ, определяющих приоритет государственных нормативно-правовых документов перед иностранными);
- на этапе имплементации международных стандартов в государственных нормативно-правовых документах формировать и научно обосновывать предложения по устранению оставшихся несоответствий и по недопущению новых несоответствий в государственной нормативно-правовой базе SMS.

Анализ причин возникновения проблемы имплементации международных стандартов безопасности в нормативных документах России

С научно обоснованным тезисом «абсолютной безопасности не бывает» международное авиационное сообщество согласилось не сразу, а в 1984 году, в Руководстве ICAO по предотвращению авиационных происшествий (РПАП), которое было отменено в 2013 году. В РПАП (1984г.) Организацией ICAO была задокументирована невозможность обеспечения абсолютной безопасности полетов и принята концепция приемлемого риска. Сделано заключение о том, что исключить вероятность катастрофы нельзя, поэтому следует применять меры по ее минимизации. Введено понятие «приемлемый уровень» БП. Для того чтобы безопасность полетов удерживать на приемлемом или на более высоком уровне, необходимо постоянно контролировать состояние авиационной транспортной системы (АТС) на предмет соответствия всех ее взаимосвязанных компонентов требованиям безопасности, т. е. требуется системный подход к «измерению» уровня БП посредством мониторинга состояния АТС, включая интерфейсы.

SARP ICAO, а несколько позже – и российские нормативные документы, предписывают эксплуатантам ВС и остальным поставщикам авиационных услуг внедрять SMS^{9,10,11,12,13,14,15,16}. ICAO впервые объявила о внедрении SMS в 2006 году, но до сих пор нет единой методологии системного управления безопасностью полетов, нет и единой (общепринятой) типовой SMS, даже для эксплуатантов ВС. Одно из объяснений тому – несовершенство SARP ICAO, имплементация которых в государственных нормативно-правовых документах затруднена по ряду причин.

С изданием SARP ICAO, требующих разработку и внедрение SMS, ученые МГТУ ГА пришли к заключению, что документы ICAO не свободны от недостатков в части терминологии и определения основных понятий. В частности, применительно к SMS, в SARP ICAO отсутствуют однозначность таких базовых понятий/терминов, как: «безопасность полетов», «риск», «фактор риска», «фактор опасности», «приемлемый уровень риска», «система безопасности» и др. [Шаров и др., 2016; Шаров и др., 2019]. До начала 2009 г. (до публикации для обсуждения Поправки 33 к Приложению 6) не было и ясного понимания требуемой структуры Государственной Программы безопасности полетов (ГосПБП), и SMS, хотя требования по внедрению SMS уже содержались в SARP ICAO [Зубков и др., 2010, с. 25].

Принятая ICAO концепция приемлемого риска должна была привести к обновлению определения «Безопасность полетов», но до 2013 г., т. е. до введения в действие **третьего** издания РУБП (SMM) ICAO, в определении БП по-прежнему отражалась концепция абсолютной безопасности: «*Безопасность полетов – комплексная характеристика ..., определяющая способность выполнять полеты без угрозы для жизни и здоровья людей*», т. е. с 1984 года по 2013 год базовое определение предмета исследования не

⁹ Воздушный кодекс Российской Федерации. Ред. от 04.08.2023. М., 2023. 84 с.

¹⁰ Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть 1. Международный воздушный транспорт. Издание 11. ICAO, 2018.

¹¹ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

¹² Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), издание 4. Doc 9859. Монреаль: ИКАО, 2018. 218 с.

¹³ Письмо Росавиации от 25.11.2009 № ГК 1.22-2979 «О внедрении системы управления безопасностью полетов». М., 2009. 4 с.

¹⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2022 г. № 642 «Правила разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации и признавшими утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». М., 2022. 7 с.

¹⁵ Приказ Минтранса России от 31.07.2009 № 128 (ред. от 10.02.2014) «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации». М.: Минтранс РФ, 2014. 86 с.

¹⁶ Приказ Минтранса России от 31.07.2022 № 10 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим коммерческие воздушные перевозки. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего право юридического лица, индивидуального предпринимателя требованиям федеральных авиационных правил. Порядок приостановления действия, введение ограничений действия и аннулирования документа, подтверждающего соответствие юридического лица, индивидуального предпринимателя требованиям федеральных авиационных правил»». М.: Минтранс РФ, 2022. 52 с.

подверглось актуализации.

Только в третьем издании SMS ICAO и в первом издании Приложения 19 к Конвенции о международной гражданской авиации (в англоязычных версиях) дано обновленное определение, отражающее концепцию приемлемого риска:

“Safety – the state in which risks associated with aviation activities related to or in direct support of the operation of aircraft are reduced and controlled to an acceptable level”¹⁷.

К сожалению российских пользователей, в официальных русскоязычных версиях Приложения 19 к Конвенции и РУБП ICAO изд. 3 даны определения, в которых содержание БП отличается:

«Безопасность полетов – состояние, при котором **риски**, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающие такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются»¹⁸.

«Безопасность полетов – состояние, при котором **факторы риска**, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов и обеспечивающих такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня или удерживаются на нем». В русскоязычную версию РУБП ICAO, издание 4 (2018г.) определение перенесено из издания 3 без изменений¹⁹.

В русскоязычной версии Приложения 19 в определении БП слово «контролируются» отнесено к английскому «controlled», хотя в англоязычных версиях документов ICAO используется «safety oversight» [Шаров и др., 2019]. Следует заметить, что при наличии расхождений в Приложениях к Конвенции и в Руководствах ICAO приоритет должен быть у Приложений, как у стандартов высшего уровня, подлежащих обязательному исполнению.

Выделенные авторами различия в определениях имеют существенное значение для разработки, внедрения и развития СУБП поставщиками авиационных услуг, т. к. различия в основополагающих определениях влекут за собой различия в функционировании СУБП. Для обеспечения реального управления безопасностью полетов в определении БП должна быть определенность: необходимо ли риск удерживать на приемлемом уровне (управлять риском) или достаточно его «контролировать»?

Очевидно, что, если риск для БП должен удерживаться на некотором задаваемом уровне, т. е. текущий уровень риска не должен превышать уровень, принятый за приемлемый, то при превышении приемлемого уровня в контуре управления риском в СУБП, кроме контрольных функций, должны предусматриваться дополнительные:

¹⁷ Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation. Safety Management. Second Edition. Montreal: ICAO, 2016. 46 р.

¹⁸ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

¹⁹ Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), издание 4. Doc 9859. Монреаль: ИКАО, 2018. 218 с.

- факторный анализ состояния АТС (компонентов АТС);
- выявление причин (компонентов АТС, интерфейсов), обусловивших повышенный риск для БП;
- выявление (идентификация) факторов, влияющих на уровень риска;
- синтез и оптимизация корректирующих воздействий по устранению или снижению степени влияния идентифицированных факторов опасности;
- реализация корректирующих воздействий;
- оценивание эффективности управления безопасностью полетов по степени снижения текущего (первоначально оцененного) уровня риска до остаточного (приемлемого) риска в результате выполнения управляющих (корректирующих) воздействий [Система управления..., 2021].

В СУБП предусматриваются два взаимосвязанных контура: «Обеспечение БП», содержащий традиционные и всем известные процедуры по контролю выполнения требований БП, и «Управление риском» – новое направление в безопасности полетов, как в одном из основных направлений авиационной науки. Поэтому фундаментальные основы теории рисков имеют особое значение в контуре управления риском СУБП. Именно с этими фундаментальными основами наблюдается проблема в SARP ICAO и в их русскоязычных версиях. Именно в «Управлении риском», как в одной из концептуальных рамок СУБП, отмечается большая часть неточностей и неопределенностей [Шаров и др., 2016; Шаров и др., 2019].

«*Safety risk*» переведен в русскоязычной версии РУБП ICAO как «*факторы риска*», однако определение понятия «*фактор риска*» в англоязычных версиях SARP ICAO не применяется, а в русскоязычной версии РУБП ICAO применяется довольно часто²⁰. Причем, используется термин «*фактор риска*» в тех местах, где ближе по смыслу могли быть такие привычные термины, как «*риск для безопасности (полетов)*» или «*риск в отношении безопасности полетов*». При этом слово «*фактор*» (*«factor»*) не подходит по своему смысловому значению. Нет сомнений в том, что вариант «*фактор риска*» в официальной русскоязычной версии РУБП ICAO – результат некорректного перевода «*safety risk*», поскольку в Приложении 19 (документ более высокого уровня) переведено правильно^{21,22}.

Сложно воспринимается российскими пользователями и термин «*hazard*», который в разных документах ICAO переведен не только как «*опасность*», но еще и «*источник опасности*», и «*опасный фактор*», и «*фактор опасности*», и др. Даже в одном, отдельно взятом документе ICAO, на русском языке можно встретить разные варианты перевода^{20,21,22} [Safety..., 2018].

²⁰ Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), издание 4. Doc 9859. Монреаль: ИКАО, 2018. 218 с.

²¹ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с

²² Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation. Safety Management. Second Edition. Montreal: ICAO, 2016. 46 p.

Одновременно, к уже используемому набору терминов «*риск*», «*фактор риска*», «*фактор опасности*», в российских нормативных документах добавляются комбинированные термины типа «*анализ данных о факторах опасности и риска*»²³. Анализ дополнительного «нововведения» не оставляет сомнения в том, что причина всеобщего неприятия нового словосочетания кроется в профессиональной некомпетентности лица, допустившего некорректный перевод двух терминов: «*фактор опасности*» и «*риск*». Смысл новому сложному термину «*анализ данных о факторах опасности и риска*» возвращается добавлением одной буквы «*х*»: «*анализ данных о факторах опасности и рисках*» [Шаров и др., 2019]. Тем не менее, в Постановлении Правительства РФ № 642 дано даже определение термина «*факторы опасности и риска*»²³. Ранее, в 2015 году, предыдущее Постановление Правительства РФ № 1215, отмененное Постановлением № 642 в 2022 году, давало четкие определения, исключающие неоднозначность понимания терминов:

«*фактор опасности*» – результат действия или бездействия, обстоятельство, условие или их сочетание, влияющие на безопасность полетов гражданских воздушных судов²⁴;

«*риск*» – прогнозируемые вероятность и тяжесть последствий проявления одного или нескольких факторов опасности»²⁴.

Поставщики услуг вынуждены руководствоваться положениями более раннего, хотя официально отмененного, Постановления, в котором дается не обобщенное определение «*факторы опасности и риска*», а разделенные на два, более конкретные и объяснимые термины.

Для реализации реального управления безопасностью полетов необходим механизм и инструмент оценивания уровня БП. В отечественной авиации существовала система показателей БП^{25, 26}. С введением требования по внедрению СУБП общепринятым был термин «*Показатель безопасности полетов*» («*Safety indicator*»), как мера, используемая для выражения уровня БП.

В SARP ICAO (англ.) введены определения:

“*Safety performance indicator*” – data-based parameter used for monitoring and assessing safety performance;

²³ Постановление Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2022г. № 642 «Правила разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации и признавшими утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». М., 2022. 7 с.

²⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2014г. № 1215 «О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими». М., 2014. 5 с.

²⁵ ГОСТ В 20570-88* Изделия авиационной техники. Порядок нормирования и контроля показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности. М.: Изд-во стандартов, 1988. 10 с.

²⁶ Зубков Б. В. Безопасность полетов : учебник / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров. Ульяновск : Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации, 2012. 451 с. EDN LENOJO.

“Safety performance” – a state or a service provider’s safety achievement as defined by its safety performance targets and safety performance indicators²⁷ [Safety..., 2018, p. 8].

Ни в одном из этих определений не содержится термин «*effectiveness*» или «*efficiency*», однако в русскоязычных версиях SARP ICAO дается:

“Показатель эффективности обеспечения безопасности полетов (*Safety performance indicator*)”, как основанный на данных параметр, используемый для мониторинга и оценки эффективности обеспечения БП. Словом «эффективность» искажается смысл показателя. Более того, это искажение распространилось и на другие понятия, например,

“*Safety performance target*” – The State or service provider’s planned or intended target for a safety performance indicator over a given period that aligns with the safety objectives²⁸

имеет перевод в русскоязычной версии:

“Целевой уровень эффективности обеспечения безопасности полетов” – планируемая или предполагаемая государством или поставщиком обслуживания целевая установка для показателя эффективности обеспечения БП на заданный период, отражающая цели в области^{29,30} («эффективность» подчеркнуто авторами).

Очередной пример трудно понимаемого понятия, связанного с «эффективностью», которое содержится в русскоязычной версии РУБП ICAO (предназначено для эксплуатантов ВС): “Приемлемый уровень обеспечения эффективности безопасности полетов”¹⁹. По содержанию определения «приемлемый уровень БП», оно предназначено для использования, в первую очередь, государственными полномочными органами, однако в документе более высокого уровня, предназначенного для использования как раз государственными полномочными органами (Приложение 19), это определение почему-то отсутствует.

Можно предположить, что ошибки или серьезные «погрешности» базовых положений и терминов в русскоязычных версиях SARP ICAO обусловлены срочностью выполнения переводов, но, к примеру, четвертое издание руководства РУБП ICAO (2018 г.) в русскоязычной версии вышло почти через год после англоязычной. Кроме того, SARP ICAO в периоды между изданиями достаточно часто обновляются, дополняются, уточняются через официальное внесение Поправок, Дополнений. РУБП ICAO полностью переиздается каждые пять лет: 2006 г., 2008 г., 2013 г., 2018 г. Однако, «погрешности» переносятся из прежних изданий в последующие либо без существенных исправлений (изменений), либо – с задержкой до трех

²⁷ Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation. Safety Management. Second Edition. Montreal: ICAO, 2016. 46 p.

²⁸ Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation. Safety Management. Second Edition. Montreal: ICAO, 2016. 46 p.

²⁹ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

³⁰ Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), издание 4. Doc 9859. Монреаль: ИКАО, 2018. 218 с.

переизданий, как это случилось с определением «БП».

Приложение 19 содержит предупреждение, важное для русскоязычных пользователей. Предупреждение является своеобразным обязывающим правилом для специалистов, выполняющих перевод SARP ICAO: в подлежащих обязательному исполнению стандартах ICAO (т. е. в Приложениях) в англоязычной версии применяется настоящее время глагола в изъявительном наклонении, а в рекомендуемой практике ICAO (т. е. в Руководствах) используются такие вспомогательные глаголы, как «should» («следует») или «shall» («должен»)³¹. Сравнением русско- и англоязычных версий SARP выявляется, что это правило ICAO выполняется не всегда, к сожалению. В русском языке глаголы «следует» и «должен» воспринимаются с двояким смыслом. В российской ГА руководства, в том числе РУБП ICAO, имплементируются в нормативных документах поставщиков услуг как рекомендации. При аудитах же European Aviation Safety Agency (EASA), которым до недавнего времени (до введения санкций) периодически подвергались российские авиакомпании, европейские аудиторы применяют рекомендуемую практику как стандарты, обязательные к исполнению [Management System..., 2017].

В интересах качества имплементации SARP ICAO в нормативной базе ГФ России необходимо, чтобы общие термины в разных нормативных документах ICAO на русском языке были абсолютно одинаковыми, если они одинаковы в исходных англоязычных версиях этих документов [Шаров, 2013].

Анализом первопричин проблемы имплементации SARP ICAO в нормативной базе СУБП российской ГА выявлено, что, во-первых, англоязычные версии документов ICAO содержат неоднозначное толкование некоторых базовых положений SMS, в том числе неточные, с научной точки зрения, определения некоторых терминов; во-вторых, официальные русскоязычные версии SARP ICAO содержат ошибки, обусловленные сложностью специализированного перевода положений СУБП, которые усугубляют несовершенство англоязычных версий SARP ICAO; в-третьих, ошибки и неоднозначности толкования понятий и терминов, допускаемые (добавляемые) непосредственно при имплементации SARP ICAO в государственных нормативных документах, неизбежно множатся при имплементации в нормативных документах СУБП поставщиков услуг.

Издержки имплементации SARP ICAO в российском авиационном законодательстве влекут за собой несовершенство подзаконных актов, разрабатываемых государственным регулятором на отраслевом уровне (на уровне Минтранса). Так Приказом Минтранса от № 423, регулирующим надзорные функции в ГА РФ, введен критерий «индекса риска», за основу которого взят абсолютный показатель количества инцидентов (3 инцидента) в

³¹ Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание 2. Монреаль: ИКАО, 2016. 44 с.

течение 30 дней³². Такой «индекс риска» оторван от определения «риска», основанного не на количестве событий, а на их вероятности или на их статистической частоте. В результате несогласованности, допущенной в терминах, надзорный орган владеет искаженной информацией об уровне риска в подконтрольных предприятиях. Очевидно, что малые и средние авиакомпании, имеющие несовершенные СУБП, никогда не будут иметь 3 инцидента за месяц, в силу малого количества выполняемых полетов. В то же время, ведущие авиакомпании, налет которых превышает 10 000 часов в месяц, ежемесячно будут превышать критерий «индекса риска» и, как следствие, попадать под внеплановые проверки Ространснадзора при приемлемом уровне безопасности полетов.

Пути минимизации ошибок и неопределеностей в версиях международных стандартов при их имплементации в России

Порядок и процедуры внесения поправок, изменений, дополнений в SARP ICAO (в англоязычные версии) регламентированы и выдерживаются. Внесение поправок, изменений, дополнений должны инициировать представители государственных полномочных органов, а рассматривать – Ассамблея высокого уровня (тоже на английском языке). Рассмотрение русскоязычных версий SARP представляет собой особую сложность, поскольку отнесено к категории частных, но не основных задач международной организации. До внесения поправок в Конституцию РФ такая задача была практически нерешаемой. В настоящее время исправление ошибок, несоответствий международных стандартов – в общем, и в безопасности полетов – в частности, значительно упрощается, поскольку государственные нормативно-правовые документы получили приоритет перед международными. Стало возможным компетентное уточнение SARP ICAO при реализации нормативно-правовой деятельности в области СУБП.

В SARP ICAO определение «БП», обновленное в 2013 году, по состоянию на декабрь 2023 г. содержит неопределенность, которая не дает ответа, состоянием чего является БП? В 2014 году в российском стандарте дано уточнение определению из русскоязычной версии Приложения 19 ICAO (уточнение выделено подчеркиванием):

Безопасность полетов воздушных судов – состояние авиационной транспортной системы, при котором риск снижен до приемлемого уровня и поддерживается на этом или более низком уровне посредством непрерывного процесса выявления угроз, контроля факторов риска и управления состоянием системы³³.

Safety Management System (SMS), переведена в SARP ICAO не как система менеджмента в области безопасности, что было бы ближе к истине, а

³² Приказ Министерства транспорта РФ от 30.11.2021 № 423 «Об утверждении перечня индикаторов риска нарушения обязательных требований при осуществлении федерального государственного контроля (надзора) в области гражданской авиации». М.: Минтранс РФ, 2021. 2 с.

³³ ГОСТ Р 55585-2013 Воздушный транспорт. Система управления безопасностью полетов воздушных судов. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014. 7 с.

как «система управления безопасностью полетов» (СУБП), которой требуется свое соответствующее определение. Но SARP ICAO определяют СУБП как «системный подход к управлению БП...», т. е. система СУБП – вовсе не «система». Для убедительности в SARP ICAO дается определение «системному подходу», которое не прибавляет ясности определению СУБП. В Руководстве ICAO дается и определение термина «система», но в этом определении отсутствует какая-либо связь с определением СУБП или с SMS³⁴.

Устраняет неопределенность российский ГОСТ Р 55585 (вышел на 5 лет раньше, чем Руководство ICAO изд. 4), который оставляет за СУБП принадлежность к системам:

Система управления безопасностью полетов воздушных судов – система, состоящая из множества взаимосвязанных и упорядоченных элементов и модулей, предназначенных для обеспечения необходимого уровня безопасности полетов воздушных судов в соответствии с принятым системным подходом³³. В этом определении СУБП отражены обязательные свойства систем: наличие набора компонентов, взаимосвязь компонентов и функционирование компонентов для достижения общей цели.

К сожалению, после «реформирования» государственной системы стандартизации в России государственные стандарты (ГОСТы) были лишены статуса «обязательные» к исполнению, но оставлены «рекомендательными». Поэтому научно обоснованные определения, которые ввел ГОСТ Р 55585-2013, принимать как истину в последней инстанции нет юридических оснований.

В России более высокий статус придается таким государственным правовым актам, как Постановления Правительства РФ, которые являются обязательными к исполнению (в части касающейся). Так в 2014 году Постановлением Правительства РФ от 18.11.2014 № 1215 было дано определение обобщенного понятия «СУБП поставщиков услуг», в котором выдержан риск-ориентированный подход к управлению безопасностью полетов. В Постановлении также исправлена «неточность», допущенная в русскоязычной версии SARP ICAO, обусловленная нелогичным ошибочным переводом понятия “Safety Risk”, как «фактор риска». Наконец-то дано четкое, научно обоснованное, соответствующее функционалу СУБП, определение термина «риск», как:

«прогнозируемые вероятность и тяжесть последствий проявления одного или нескольких факторов опасности»³⁵.

Одним из немногих, но значимых для СУБП определений представлен «фактор опасности» как:

«результат действия или бездействия, обстоятельство, условие или их сочетание, влияющие на БП ВС ГА»²⁴.

³⁴ Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), издание 4. Doc 9859. Монреаль: ИКАО, 2018. 218 с.

³⁵ Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2014г. № 1215 «О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими». М., 2014. 5 с.

Однако, следующее, более новое Постановление Правительства РФ от 12.04.2022 № 642 (отменило Постановление Правительства от 18.11.2014 № 1215) возвратило неопределенность через введение искусственно усложненного понятия “*фактор опасности и риска*” как результат «некорректного» перевода с английского языка³⁶.

Прямыми, наиболее логичными путем устранения (минимизации) несоответствий/ошибок, неточностей и неопределенностей в нормативном обеспечении СУБП является путь, реализуемый при имплементации SARP ICAO в государственную нормативно-правовую базу. Но на практике получил реализацию другой путь, менее логичный, но более ранний и практический, – при имплементации SARP ICAO и стандартов безопасности IOSA непосредственно в нормативно-правовом, а следом и в методическом обеспечении СУБП ведущих эксплуатантов ВС России (членов IATA). Второй путь был выбран эксплуатантами ВС вынужденно, по причине наблюдавшегося отставания в формировании (обновлении) государственной нормативно-правовой базы. «Регуляторная гильотина», объявленная в России, только усугубила отставание и низкое качество имплементации. Фактором, способствующим опережающей разработке нормативных документов именно на корпоративном уровне, стало то, что, начиная с 2006 года, ICAO начала рекомендовать эксплуатантам ВС разработку и внедрение SMS, соответствующую достигнутому уровню БП и виду операционной деятельности. Рекомендации ICAO касались, в первую очередь, эксплуатантов ВС, выполняющих полеты на международных линиях. Руководства ICAO, обновляемые каждые 5 лет (2008, 2013, 2018), способствуют развитию SMS эксплуатантами ВС даже при отсутствии или недостатках государственного нормативного регулирования.

Примечание: В России первый нормативный документ, предписывающий внедрение СУБП, датирован 25.11.2009 (Письмо Руководителя Росавиации № ГК 1.22-2979 от 25.11.2009)³⁷, т. е. почти через год по истечении срока внедрения СУБП, который назначила ICAO.

Дополнительным фактором, стимулирующим интенсивную разработку внутренних (корпоративных) нормативных документов по SMS, стало членство ведущих авиакомпаний мира в IATA. IATA, опережая ICAO, разрабатывает и постоянно (с периодичностью не более 2-х лет) обновляет стандарты безопасности IOSA для эксплуатантов ВС [IOSA..., 2021; IOSA..., 2023]. Стандарты безопасности IOSA используются только на английском языке, что избавляет пользователя от проблемы «некорректного» официального перевода. Они в развитии опережают SARP ICAO и при этом,

³⁶ Постановление Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2022г. № 642 «Правила разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации и признавшими утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». М., 2022. 7 с.

³⁷ Письмо Росавиации от 25.11.2009 № ГК 1.22-2979 «О внедрении системы управления безопасностью полетов». М., 2009. 4 с.

как ни странно, не противоречат стандартам и рекомендованной практике ICAO. Периодичность прохождения аудитов эксплуатантами – 2 года, т. е. синхронно с переизданием стандартов IOSA.

Стандарты безопасности IOSA, а с ними и SARP ICAO, оказались имплементированы эксплуатантами-членами IATA в корпоративной нормативно-методической документации раньше, чем SARP ICAO – в государственной нормативно-правовой базе ГА РФ.

С тех пор, как против ГА РФ были введены санкционные ограничения, EASA, подвергающая российских эксплуатантов ВС инспектированию и аудитам, никоим образом не учитывает сертификаты соответствия стандартам безопасности IOSA, которые, по заключению экспертов, наиболее совершенны и актуальны из всех известных международных и национальных стандартов. IATA, в свою очередь, руководствуясь целями, далекими от безопасности полетов, приостановила российским эксплуатантам продление сертификатов соответствия стандартам IOSA, даже после положительного прохождения аудита.

Поэтому возрастает роль первого пути минимизации ошибок и неопределенностей SARP ICAO при имплементации в российской нормативной базе.

Решением проблемы нормативного обеспечения СУБП проблема ее внедрения еще не решается, поскольку одновременно с ответом на традиционный для России вопрос «Что делать?» требуется ответ на вопрос «Как делать?» [Гузий, 2012]. Проблема методического обеспечения функционирования СУБП стоит не менее остро, чем нормативно-правовое обеспечение. В международных стандартах и рекомендуемой практике не приводится методическое обеспечение процесса практической реализации системного управления безопасностью полетов. Решение проблемы «Как делать?» возложено полностью на поставщиков услуг. Проблема общая, но решается, как правило, в частном порядке, в соответствии с потребностями и возможностями поставщиков услуг. Индивидуальный подход приводит к тому, что СУБП у поставщиков услуг значительно отличаются, что делает их трудно сопрягаемыми при решении общей проблемы безопасности полетов.

Проблема подготовки персонала в области СУБП также становится для поставщиков услуг «внутренней» проблемой. SARP ICAO предусматривают обязательное обучение авиаперсонала вопросам СУБП, а наличие программы внутреннего обучения у эксплуатанта ВС – требование стандарта IOSA.

Заключение

Ошибки, неточности, неопределенности, имеющие место в документах нормативно-правового и нормативно-методического обеспечения процедур разработки, внедрения и совершенствования СУБП – результат «недоработок», допускаемых на этапах:

1. Первоначальная разработка новых (обновляемых) SARP ICAO.

Причины несовершенства новых документов: недостаточная глубина исследования новых концепций, положений, понятий, определений, терминов

на момент подготовки документов; отсутствие единства мнений среди привлеченных к разработке экспертов; отсутствие должного взаимодействия между экспертами, работающими над разными разделами одного документа.

Устранение неизбежного несовершенства новых SARP должно выполняться при официальном обсуждении проекта документа до введения его в действие. Дальнейшее совершенствование документа должно выполняться через внесение официальных изменений, дополнений, поправок, либо при переиздании документа (по плану или вне плана).

2. Выполнение официального перевода оригинальных англоязычных версий документов на русский язык.

Причина увеличения степени несовершенства документов: ошибки и неоднозначность суждений, понятий, терминов, добавляемые «некорректным» переводом, выполняемым специалистами, не имеющими требуемой компетенции в конкретной области знаний (в области СУБП); отсутствие должного взаимодействия между переводчиками, работающими над разными разделами документа (перевод по частям).

Минимизация издержек перевода возможна, если:

- к переводу привлекать экспертов соответствующей специальности и компетенции, владеющих профессиональным английским языком;
- по готовности русскоязычной версии выполнять одним высококвалифицированным специалистом проверку всего документа на корректность;
- предусматривать процедуру обсуждения проекта русскоязычной версии, как это предусмотрено с проектом англоязычной версии.

Исправление ошибок, устранение неопределенностей, уточнение перевода должны выполняться при имплементации SARP ICAO в государственных нормативных документах.

3. Имплементация SARP ICAO в государственных нормативных документах.

Причина несоответствий: внесение дополнительных ошибок и неопределенностей экспертами, не являющимися специалистами в требуемой области и не в достаточной степени владеющими профессиональным английским.

Минимизация количества ошибок и неопределенностей возможна, если:

- к нормотворческой деятельности привлекать экспертов соответствующей специализации и компетенции;
- использовать процедуру согласования проекта с потенциальными пользователями (государственными полномочными органами, ведомственными научными и образовательными учреждениями, поставщиками авиационных услуг).

Исправление ошибок, устранение неопределенностей, актуализация и оптимизация содержания нормативного документа должны выполняться оперативным введением документов по внесению необходимых изменений, дополнений в ранее принятые документы. Совершенствованию ранее

принятых нормативных документов должна способствовать продекларированная в России «регуляторная гильотина».

4. Имплементация международных стандартов и государственных нормативных документов в корпоративной системе нормативных документов.

Причина несоответствий: неисправленные на предшествующих этапах ошибки, несоответствия, неопределенности; дополнительные неопределенности, перенесенные разработчиками из неактуальных государственных документов (стандартов); недостаточно высокий уровень компетенции специалистов, привлекаемых к исполнению корпоративных нормативных и методических документов.

В целях минимизации количества несоответствий при разработке корпоративных нормативных документов можно порекомендовать: в качестве источников использовать англоязычные версии SARP ICAO, стандарты IOSA, актуальные государственные нормативные документы; при введении необходимых терминов и определений в условиях неопределенности делать ссылку на документ более высокого уровня, выбранный как наиболее соответствующий предъявляемым требованиям; использовать научные, научно-практические и научно-методические материалы, публикуемые в официальных, желательно – в рецензируемых, изданиях.

В целях исправления выявляемых ошибок, устранения неопределенностей, совершенствования содержания корпоративных документов: вносить в них изменения (по мере обновления международной и государственной нормативной базы) – в оперативном порядке; выполнять актуализацию корпоративных документов – не реже одного раза в год.

В целях исправления ошибок, устранения неопределенностей и несовершенства государственной нормативной базы: обосновывать, формировать и представлять через Ассоциацию эксплуатантов воздушного транспорта России (АЭВТ) государственному регулятору предложения по внесению изменений, дополнений в нормативные документы; активно участвовать в обсуждении проектов документов, издаваемых государственными полномочными органами, в ходе «регуляторной гильотины».

На государственном уровне необходимо на базе АЭАТ регулярно обобщать положительный опыт разработки, внедрения и совершенствования СУБП ведущими отечественными эксплуатантами ВС-членами IATA и операторами аэрородомов.

Таким образом, по каждому этапу жизненного цикла документов нормативно-правового и нормативно-методического обеспечения СУБП показаны причины и источники выявленных в документах ошибок, неточностей, неопределенностей и выработаны предложения по исправлению ошибок, устранению неопределенностей, актуализации и оптимизации содержания документов по БП.

Библиографический список

- Авиационные стандарты Организации Объединенных Наций для миротворческих и гуманитарных авиационных работ. ООН, 2012. 50 с.
- Гузий А. Г. Проблема некорректного трактования терминов в англо- и русскоязычных версиях международных стандартов и рекомендованной практики ИКАО / А. Г. Гузий, А. А. Шпаковская // Гражданская авиация на современном этапе развития науки техники, общества: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 222-224. EDN VMVHAM.
- Гузий А. Г. Проблема пользования англо- и русскоязычными версиями международных стандартов в гражданской авиации России. Пути решения / А. Г. Гузий, А. А. Шпаковская // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2022. № 5. С. 123-132. DOI 10.36535/0869-4176-2022-05-14. EDN DRGGRK.
- Гузий А. Г. Что, как и кто будет делать? // [Электронный ресурс] // Aviation Explorer. 2012. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/2012/2/6/1506/> (дата обращения: 10.10.2023).
- Зубков Б. В. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов / Б. В. Зубков, В. Д. Шаров. М.: Моск. гос. технический ун-т ГА, 2010. 196 с. EDN QNWKNP.
- Система управления безопасностью полетов эксплуатанта воздушных судов. Курс обучения персонала авиакомпании / Гузий А. Г., Лушкин А. М., Мишин А. В., Ширяев Д. А.; под общей ред. А. Г. Гузия. М.: ИД Академия Жуковского, 2021. 182 с.
- Человек и безопасность полётов: сборник статей / Алёшин С.В., Алпатов И.М., Анисимов А.Н., Артёмов В.Н. и др. М.: Когито-Центр, 2013. 288 с. EDN: XNMDDZ
- Шаров В. Д. Анализ недостатков в описании процедур управления риском безопасности полетов в документах ИКАО / В. Д. Шаров, Б. В. Елисеев, В. В. Воробьев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22, № 2. С. 49-61. DOI 10.26467/2079-0619-2019-22-2-49-61. EDN ZEGADJ.
- Шаров В. Д. О некоторых проблемах понимания терминов, относящихся к управлению безопасностью полетов // Проблемы безопасности полетов. 2013. № 9. С. 12-21. EDN RBRDYH.
- Шаров В. Д. Ограничения по использованию матрицы ИКАО при оценке рисков для безопасности полетов / В. Д. Шаров, В. В. Воробьев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2016. № 225(3). С. 179-187. EDN WQUUDX.
- Fatigue Management Guide for Airline Operators. Second Edition. ICAO, IATA, IFALPA, 2015. 167 p.
- IOSA Audit Handbook. Procedures and Guidance (Audit Organizations and Airlines). 11th Edition. Montreal, Geneva: IATA, 2021. 171 p.
- IOSA Standards Manual. Edition 16. Montreal, Geneva: IATA, 2023. 692 p.
- Management System Assessment Tool // [Электронный ресурс]. 2017. – URL: <https://sassofia.com/wp-content/uploads/2023/11/EASA-Management-System-Assessment-Tool.pdf> (дата обращения: 29.10.2023).
- Ramp Inspection Manual (RIM). European Union Aviation Safety Agency, 2019. 111 p.
- Safety Management Manual (SMM). Doc 9859. Fourth Edition. Montreal: ICAO, 2018. 182 p.
- United Nations Aviation Standards for Peacekeeping and Humanitarian Air Transport Operations. Fourth Edition. UN, 2022. 58 p.

References

- Aleshin S. V., Alpatov I. M., Anisimov A. N., Artyomov V. N. et al. (2013). Man and flight safety: collection of articles. Moscow: Cogito-Center. 288 p. (In Russian)
- Aviation Standards for Peacekeeping and Humanitarian Air Transport Operations. UN, 2012. 50 p. (In Russian)

- Fatigue Management Guide for Airline Operators. Second Edition. ICAO, IATA, IFALPA, 2015. 167 p.
- Guziy A. G. (2012). What, how, and who will do it? Available at: <https://www.aex.ru/docs/4/2012/2/6/1506/> (accessed 10 October 2023). (In Russian)
- Guziy A. G., Lushkin A. M., Mishin A. V., Shirayev D. A. (2021). Flight Safety Management System of Aircraft Operator. Training Course for Airline Personnel / ed. by A. G. Guziy. Moscow: *Zhukovsky Academy Publishing House*, 2021. 182 p. (In Russian)
- Guziy A. G., Shpakovskaya A. A. (2022). The problem of using English and Russian versions of international standards in Russian civil aviation. Ways of solution. *Problems of safety and emergency situations*. 5: 123-132. (In Russian)
- Guziy A. G., Shpakovskaya A. A. (2023). Interpretation Issues in International Standards and Recommended Practices of ICAO: Comparative Analysis of English and Russian Versions. *Civil aviation at the current stage of science, technology, and society development. International scientific and technical conference dedicated to the 100th anniversary of civil aviation in Russia*. Moscow: *Zhukovsky Academy Publishing House*, 2023. 222-224. (In Russian)
- IOSA Audit Handbook. Procedures and Guidance (Audit Organizations and Airlines). 11th Edition. Montreal, Geneva: IATA, 2021. 171 p.
- IOSA Standards Manual. Edition 16. Montreal, Geneva: IATA, 2023. 692 p.
- Management System Assessment Tool: Available at: <https://sassofia.com/wp-content/uploads/2023/11/EASA-Management-System-Assessment-Tool.pdf> (accessed 29 October 2023).
- Ramp Inspection Manual (RIM). European Union Aviation Safety Agency, 2019. 111 p
- Safety Management Manual (SMM). Doc 9859. Fourth Edition. Montreal: ICAO, 2018. 182 p.
- Sharov V. D. (2013). Challenges in Understanding Flight Safety Management Terms. *Flight Safety Issues*. 9: 12-21. (In Russian)
- Sharov V. D., Eliseev B. P., Vorobyov V. V. (2019). Analysis of deficiencies in the procedures for the risk management of safety in the ICAO documents. *Civil Aviation High Technologies*. 22(2): 49-61. (In Russian)
- Sharov V. D., Vorobyev V. V. (2016). Applicability Restrictions of ICAO Matrix in Assessing Aviation Safety Risks: A Critical Analysis. *Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 225(3): 179-187. (In Russian)
- United Nations Aviation Standards for Peacekeeping and Humanitarian Air Transport Operations. Fourth Edition. UN, 2022. 58 p.
- Zubkov B. V., Sharov V. D. (2010). Risk Determination in Aviation Enterprises: Theory and Practice in Flight Safety Management System. Moscow: *Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2010. 196 p. (In Russian)

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ПОРЫВОВ ВЕТРА В ЗОНЕ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ ПРИ ПОСАДКЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Виталий Дмитриевич Рубцов,
orcid.org/0009-0007-4798-9150,
доктор технических наук, профессор
Почетный работник науки и техники РФ,
главный научный сотрудник
Государственный научно-исследовательский
институт гражданской авиации,
Михалковская ул., д. 67, корп. 1
Москва, 125438, Россия
vostburtiv@gmail.com

Елена Игоревна Трусова,
orcid.org/0009-0006-3990-261X,
аспирант
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
elenatru2011@yandex.ru

Александра Леонидовна Рыбалкина,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
rybalkina@list.ru

Аннотация. Предложен способ прогнозирования вероятности возникновения опасных порывов ветра в зоне взлетно-посадочной полосы (ВПП) за время посадки воздушного судна, основанный на использовании распределения абсолютных максимумов порывов ветра за время наблюдения. Данный способ даст возможность спроектировать систему посадки воздушных судов (ВС), позволяющую в зависимости от вероятности возникновения порывов ветра принимать различные управленические решения: разрешение на посадку, отправку ВС на второй круг либо отправку на запасной аэродром.

Ключевые слова: порывы ветра, вероятностное описание, безопасность полётов, воздушное судно, теория выбросов случайных процессов, регистрирующее устройство на зондирующем луче.

METHOD FOR PREDICTING THE PROBABILITY OF DANGEROUS GUSTS OF WIND IN THE RUNWAY AREA WHEN LANDING AN AIRCRAFT

Vitalii D. Rubtsov,
orcid.org/0009-0007-4798-9150,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation,
Chief Scientific Officer
The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,
67, k. 1, Mihalkovskay
Moscow, 125438, Russia
vostburtiv@gmail.com

Elena I. Trusova,
orcid.org/0009-0006-3990-261X,
graduate student
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
elenatru2011@yandex.ru

Alexandra L. Rybalkina,
orcid.org/0009-0009-4063-6525,
Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
rybalkina@list.ru

Abstract. The authors propose a method of predicting the probability of occurrence of dangerous gusts of wind in the runway area during landing of an aircraft, based on the use of the distribution of absolute maximum wind gusts during the observation period. The method makes it possible to design an aircraft landing system that allows, depending on the probability of wind gusts, to make various management decisions: permission to land, sending the aircraft on a go-around, or sending it to an alternate airfield.

Keywords: gusts of wind, probabilistic description, flight safety, aircraft, theory of emissions of random processes, recording device on a probing beam.

Введение

Этапы захода на посадку и посадки ВС являются наиболее важными с точки зрения безопасности полетов. Существующие средства метеообеспечения в аэродромной зоне позволяют определить скорость и направление ветра [Богаткин, 1986; Гузий, 2009; Мануйлов, 2021], высоту облачности, дальность видимости, температуру и влажность, в то время как порывы ветра, будучи непредсказуемыми [Афанасьева и др., 2017; Баранов и др., 1981; Воробьев и др., 1991], представляют наибольшую опасность возникновения предпосылок летных происшествий при посадке [Ахрамеев и др., 2020].

Экспериментальные данные, полученные с использованием регистрирующего устройства, свидетельствуют об импульсном характере

ветровых возмущений [Рубцов и др., 2015] (рисунок 1). В работе [Рубцов, 1978] показано распределение абсолютных максимумов огибающей атмосферного шума, также имеющих импульсный характер, подобно ветровым возмущениям, что позволяет использовать математический аппарат для вероятностного описания порывов ветра.

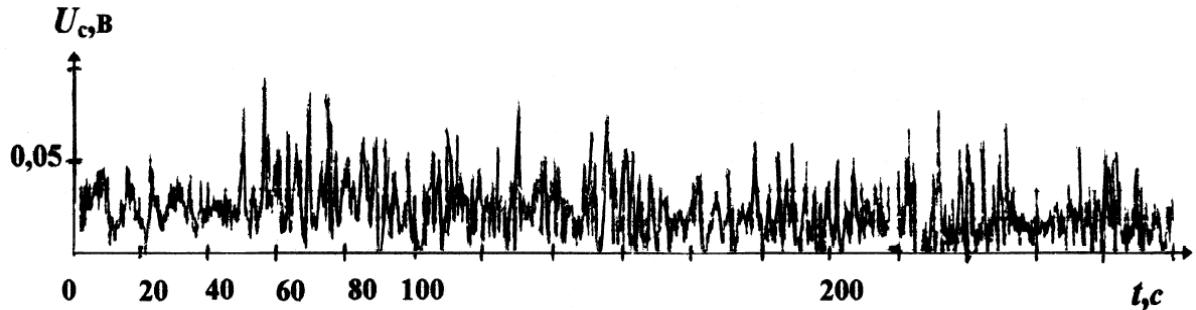


Рисунок 1 – Порывы ветра, зарегистрированные параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче

Метод математического описания распределения абсолютных максимумов порывов ветра

Интегральная функция распределения абсолютных максимумов порывов ветра задается выражением:

$$F_1(h) = \exp\left\{-\exp\left[\alpha(h)\right]\right\}, \quad T \rightarrow \infty, \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha(h) = \left[2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}\right]^{1/2} \left\{ \left[2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}\right]^{1/2} - \ln h / \sigma - \sigma \right\}. \quad (2)$$

Нормированное значение абсолютных максимумов порывов ветра определяется аналогично распределению абсолютных максимумов атмосферного шума за время наблюдения. Время наблюдения может быть принято как суммарное время захода на посадку и посадки ВС.

$$h = \max_{0 < t < T} \left[E(t) / B_E^{1/2}(0) \right] \approx \exp\left(\sigma \left\{ \left[2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}\right]^{1/2} + \left[2 \ln \frac{\mu(T)}{\sigma}\right]^{-1/2} \xi - \sigma \right\}\right), \quad (3)$$

где:

$$\mu(T) = T[-R_E''(0)]^{1/2} / 2\pi \quad (4)$$

$$E(t) = A \exp\left[\xi(t)\right] \text{ – текущее значение порыва ветра; } \quad (5)$$

$\xi(t)$ – нормальный стационарный дифференцируемый случайный процесс с математическим ожиданием и функцией корреляции, равными нулю;

σ – параметр, характеризующий степень «импульсности» порыва ветра, связанный с легкоопределяемым экспериментально параметром V_d , представляющим собой выраженную в децибелах разность среднеквадратического и среднего значения процесса [Левин, 1966].

$$V_d = 20 \lg \left[B_E^{1/2}(0) / m_{IE} \right]; \quad (6)$$

$R(\tau)$ – нормированная интегральная функция корреляции порывов ветра;

$$R_\tau = \frac{1}{\sigma^2} \ln [R_E(\tau)] + 1, \quad (7)$$

где $R_{E(\tau)} = B_E(\tau) / B_E(0)$ – коэффициент корреляции огибающей шума; $B(0)$ – дисперсия процесса; $R(\tau)$ – нормированная к дисперсии процесса $B(0)$ корреляционная функция процесса; $R''(\tau)$ – вторая производная по времени нормированная корреляционная функция; $B_E(\tau)$ – функция корреляции порывов ветра.

На рисунке 2 приведено семейство кривых интегральной функции распределения абсолютных максимумов порывов ветра при различных значениях времени наблюдения T . Из кривых видно, что при увеличении времени наблюдения T , функция распределения имеет тенденцию к увеличению. Это связано с тем, что при увеличении периода наблюдения абсолютный максимум будет увеличиваться. При повышении степени импульсности функции распределения становится шире, что связано с повышением вероятности резкого возрастания и снижения скорости ветра.

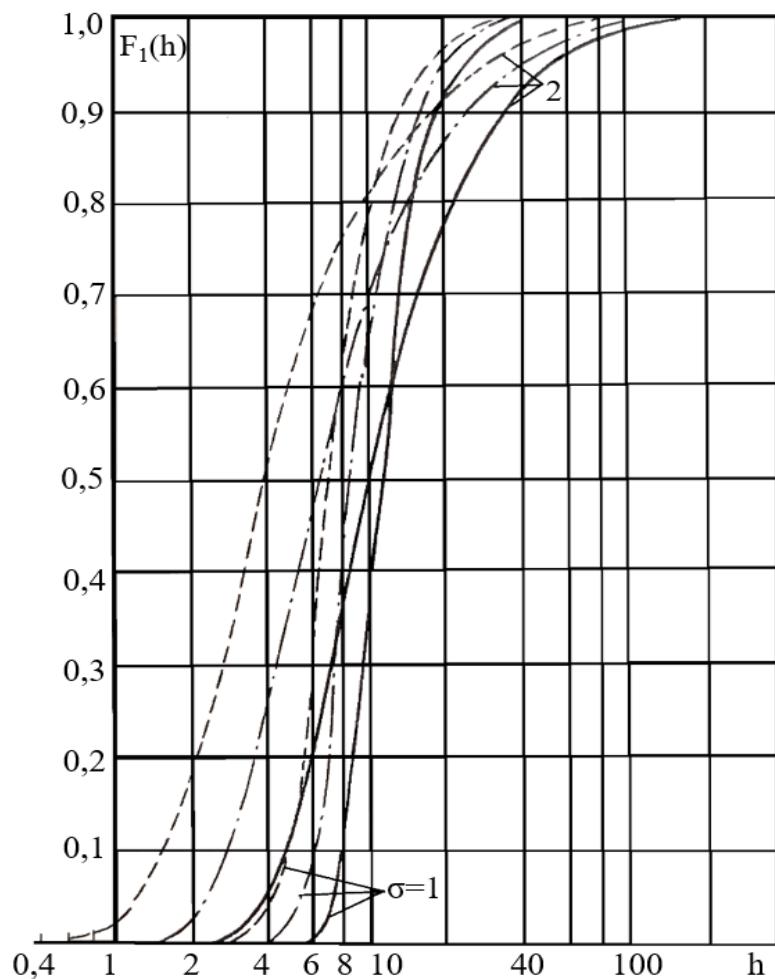


Рисунок 2 – Интегральная функция распределения абсолютных максимумов огибающей порывов ветра: сплошные кривые – $\mu(T)=200$; штрих-пунктир – $\mu(T)=100$; пунктир – $\mu(T)=50$

Дискуссия

Возмущения типа порывов ветра относятся к упругим волнам. Основу метода приема упругих волн при помощи зондирующих электромагнитных волн составляет накопление по длине зондирующего луча девиации фазы колебаний в нем, фазовая модуляция которых вызывается изменением скорости распространения колебаний в луче под действием избыточного давления, создаваемого упругой волной [Рубцов, 1997].

Принцип работы волновых антенн базируется на параметрическом взаимодействии узконаправленных зондирующих колебаний в среде и волн, принимаемых антенной. По длине луча происходит накопление этого взаимодействия. Регистрация производится методами микрофазометрии. Природа этих волн может различаться или быть одинаковой, а среда может быть твердой, жидкой или газообразной.

Зондирующий луч находится под некоторым углом относительно порыва ветра (рисунок 3). Отражатель предназначен для объединения точек излучения и приёма колебаний.

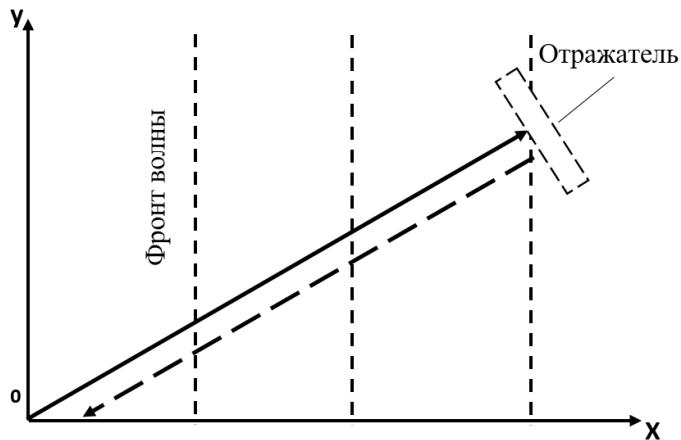


Рисунок 3 – Принцип действия волновой антенны

В работе [Рубцов и др., 2015] показано, что при использовании регистрирующего устройства с ультразвуковым зондирующим лучом, с использованием которого были получены приведенные выше данные (рис. 1), максимальная диаграмма направленности устройства находится в направлении луча, при использовании же электромагнитного зондирующего луча (оптического или СВЧ) максимум диаграммы направленности направлен по нормали.

На рис. 4 приведена структурная схема регистрирующего устройства с наиболее простым в реализации методом фазовых измерений [Рубцов и др., 2015]. Полезный эффект получается путем измерения разности фаз на входе и выходе узкополосного полосового фильтра Пф. Использование узкополосного фильтра обусловлено тем, что ветровые возмущения имеют достаточно узкий спектр. При этом за счет крутой фазовой характеристики полосового фильтра происходят колебания фазы в луче, вызванные ветровым возмущением.

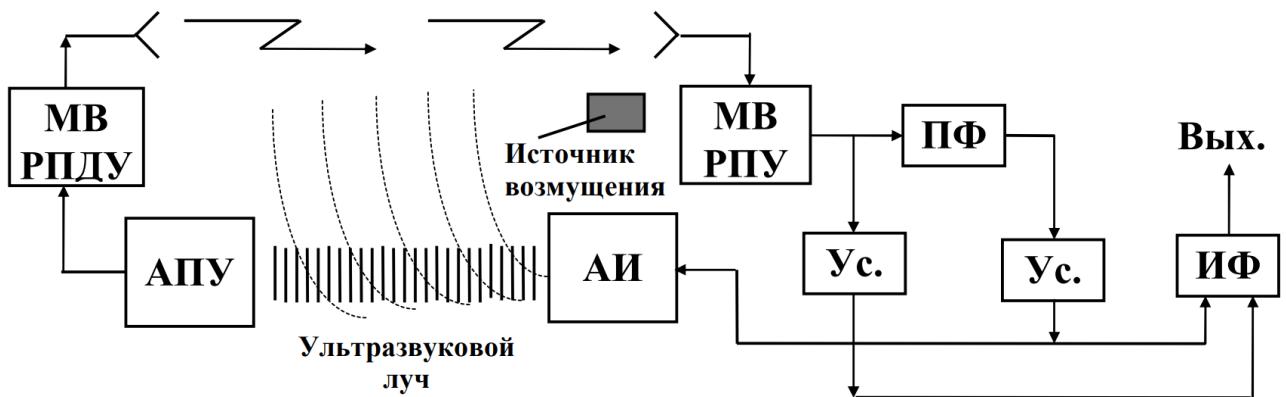


Рисунок 4 – Структурная схема параметрического регистрирующего устройства на ультразвуковом луче с относительными фазовыми измерениями и совмещением пунктов излучения и приема зондирующих колебаний, где:

МВВ РПДУ – метровые волны радиопередающего устройства;

МВ РПУ – метровые волны радиоприёмного устройства;

АИ – акустический излучатель; АПУ – акустическое приемное устройство;

ПФ – полосовой фильтр; Ус. – усилители; ИФ – измеритель фазы

Результаты

Для получения метеоинформации на аэродроме применяется комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция – КРАМС. КРАМС предназначена для измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, нижней границы облачности, метеорологической дальности видимости и т.д.

Принцип действия данной станции заключается в измерении метеорологических параметров при помощи первичных измерительных преобразователей.

Центральная система, входящая в состав КРАМС, состоит из комплекта технических средств, специального программного обеспечения и измерительных преобразователей метеовеличин (датчиков) [Институт радарной..., б.г.]. Данные от датчиков поступают каждые 15 секунд, обрабатываются, анализируются и передаются диспетчерам аэропорта.

Однако КРАМС не позволяет оперативно решить проблему передачи на борт информации о порывах ветра. Поэтому предлагается дополнить систему КРАМС параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче (рисунок 5).



Рисунок 5 – Структурная схема станции КРАМС с базовым набором датчиков, дополненная параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче. *Источник: составлено на основе «Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция «КРАМС-4» // Электронный ресурс]. URL: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0*

Данные, которые были получены параметрическим регистрирующим устройством на ультразвуковом луче, поступают на вход центрального устройства и обрабатываются. Центральное устройство станции КРАМС, кроме обработки измерительных сигналов, проводит сравнение значений порывов ветра с допустимыми. Затем по этим данным формируется информация, которая в дальнейшем будет передана руководству и службам управления полётами для дальнейшей консультации лётных экипажей и передачи информации по линиям связи.

Проанализируем существующие системы передачи информации на борт ВС. Наиболее распространенными являются наземная станция контрактного автоматического наблюдения (АЗН), Controller-Pilot Data Link Communications (CPDLC) и Aircraft Communications, Addressing and Reporting System (ACARS).

АЗН применяется для передачи данных с ВС на землю, обмена данными между ВС, передачи на ВС информации о воздушной и метеообстановке и т. д. [Система АЗН-К..., б.г.].

ACARS осуществляет обмен информацией между ВС и наземной станцией, передает сообщения в закодированном виде, а к пользователю информации попадает уже в текстовом виде. [Как работает система..., 2014].

CPDLC или связь «диспетчер-пилот» используется для передачи информации по связи «воздух-земля» между службами УВД (диспетчерами) и экипажами ВС (пилотами) в целях безопасного обслуживания воздушного движения. CPDLC используют, чтобы передать текстовые сообщения, которые не требуют срочных действий. Оно может использоваться для

получения разрешений на борт ВС о продолжении бесступенчатого набора высоты от органа УВД, при этом канал радиосвязи останется свободным для передачи более приоритетных указаний, которые непосредственно влияют на безопасность полетов. [CPDLC..., 2019]. Поэтому информацию о порывах ветра целесообразно передавать через CPDLC.

Схема установки устройства приведена на рисунке 6. Регистрирующее устройство устанавливается в районе КРМ и подключается к общей системе метеообеспечения аэродрома. В автоматическом режиме зондирующий луч посылает сигналы в атмосферу и при наличии порывов ветра регистрирует сигнал. Информация о порывах ветра считывается и передаётся на сервер системы КРАМС, где через CPDLC передаётся на ВС на высоте 60 м на бортовой компьютер, который выдает голосовое сообщение.

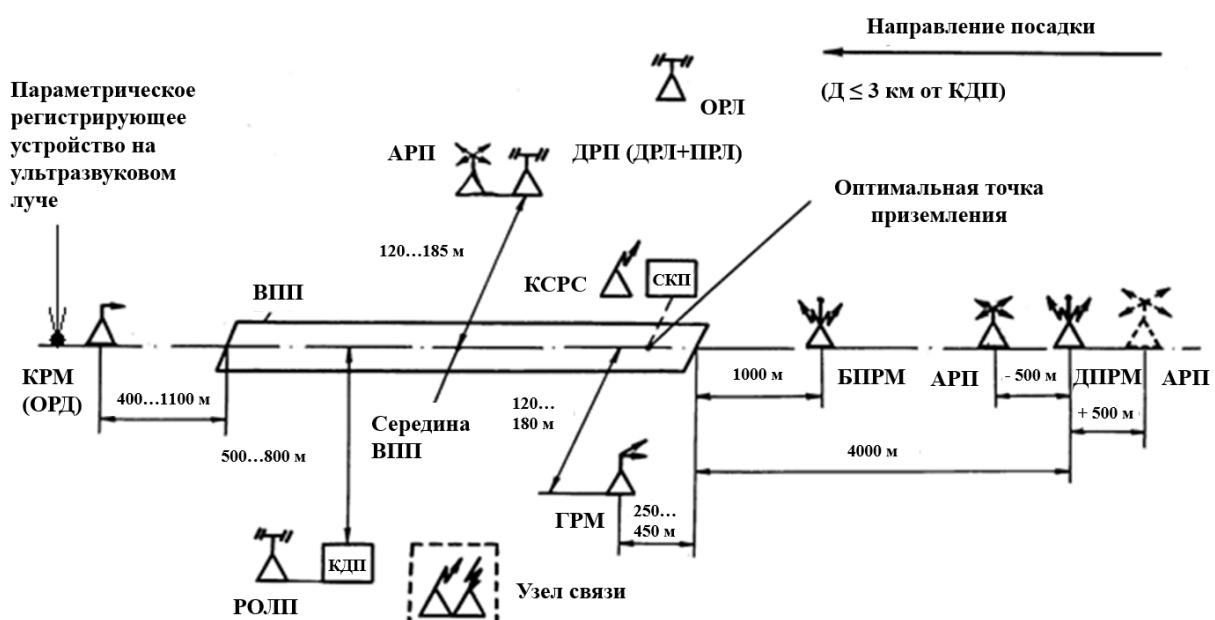


Рисунок 6 – Схема измерения величины порывов ветра на ВПП. Источник: составлено на основе «Устройство аэродромов. Радиотехнические средства» // [Электронный ресурс]. URL: <https://oleg-knyzhov.ru/uroki/ustrojstvo-aerodromov-radiotekhnicheskie-sredstva>

Голосовые сообщения будут кратко передавать основную информацию об уровне опасности порывов ветра, опираясь на светофорную модель (таблица 1).

Таблица 1 – Светофорная модель распределения уровня опасности порывов ветра

Наличие порывов	Скорость порыва ветра	Уровень
Нет	-	Приемлемый
Да	0-5 м/с	Допустимый
Да	более 5 м/с	Не допустимый

Таким образом, голосовые сообщения, поступающие на борт воздушного судна для принятия решения экипажами, могут быть следующими:

- «Порывы ветра в допустимых значениях»;
- «Опасные порывы ветра, необходим уход на второй круг».

В случае, если после ухода на второй круг порывы ветра сохраняются, необходимо уходить на запасной аэродром.

Заключение

Внедрение в метеослужбу аэродрома параметрического регистрирующего устройства на ультразвуковом луче позволит информировать экипаж воздушного судна о наличии порывов ветра в зоне взлета/посадки на ВПП, что позволит вовремя предпринять меры для минимизации рисков для безопасности полетов.

Библиографический список

- Афанасьева Ю. С. Оценка метеорологических рисков в гражданской авиации / Ю. С. Афанасьева, О. Г. Богаткин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2017. № 1(14). С. 5-13. EDN YJTXKT.*
- Ахрамеев В. И. Сдвиг ветра – угроза безопасности полетов / В. И. Ахрамеев, А. Г. Костылев, Д. В. Плаксин // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов. 2020. № 14. С. 206-212. EDN FJMLLT.*
- Баранов А. М. Авиационная метеорология / А. М. Баранов, С. В. Солонин. СПб.: Гидрометеоиздат, 1981. 304 с.*
- Богаткин О. Г. Графический способ прогноза болтанки самолетов // Труды ЛГМИ. 1986. № 34. С. 84-87.*
- Воробьев В. И. Синоптическая метеорология / В. И. Воробьев, А. П. Князев. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 581 с.*
- Гузий А. Г. Системный подход к управлению безопасностью полетов // Проблемы безопасности полетов. 2009. № 8. С. 9-15. EDN NCLUFN.*
- Институт радарной метеорологии. КРАМС-4 // [Электронный ресурс]. URL: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0 (дата обращения: 02.09.2023).*
- Как работает система ACARS // [Электронный ресурс]. 2014. – URL: <http://skynav.ru/likbez/acars/> (дата обращения: 03.09.2023).*
- Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Советское радио, 1966. 728 с. EDN UYYXZD.*
- Мануйлов С. А. Обеспечение безопасности полетов при воздействиях неблагоприятных метеорологических условий на воздушное судно // Проблемы безопасности полетов. 2021. № 10. С. 21-44. DOI 10.36535/0235-5000-2021-10-4. EDN MZTKJ.*
- Рубцов В. Д. Прием волновых возмущений при помощи узконаправленных колебаний // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42, № 6. С. 645-648.*
- Рубцов В. Д. Распределение абсолютных максимумов огибающей атмосферного шума // Радиотехника и электроника. 1978. Т. XXIII, № 3. С. 621-623.*
- Рубцов В. Д. Экспериментальные исследования параметрических устройств регистрации на оптическом и ультразвуковом зондирующих лучах волновых возмущений в воздушной и водной средах / В. Д. Рубцов, С. А. Дубянский // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 213(3). С. 129-134. EDN TONSAF.*

Система АЗН-К. Назначение, принцип функционирования. Передаваемая информация и линии передачи. // [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/14539657/page:3/> (дата обращения: 03.09.2023).

CPDLC – Навстречу новым возможностям // [Электронный ресурс]. 2019. – URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2019/05/23/589135.html> (дата обращения: 03.09.2023).

References

- ADS system Purpose, principle of operation. Transmitted information and transmission lines. Available at: <https://studfile.net/preview/14539657/page:3/> (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Afanasieva Y. S., Bogatkin O. G. (2017). Assessment of meteorological risks in civil aviation. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 1(14): 5-13. (in Russian)
- Akhrameev V. I., Kostylev A. G., Plaksin D. V. (2020). Wind shear - a threat to flight safety. *Flight Operations and Flight Safety Issues*. 14: 206-212. (in Russian)
- Baranov A. M., Solonin C. V. (1981). Aviation meteorology. Saint Petersburg: *Gidrometeoizdat*, 1981. 304 p. (in Russian)
- Bogatkin O. G. (1986). Graphical method for forecasting aircraft chatter. *Proceedings of the LGMI*. 34: 84-87. (in Russian)
- CPDLC – Towards new opportunities. (2019). Available at: [https://www.aviaport.ru/digest/2019/05/23/589135.html/](https://www.aviaport.ru/digest/2019/05/23/589135.html) (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Guziy A. G. (2009). A systematic approach to flight safety management. *Flight safety issues. Scientific and technical journal*. 8: 9-15. (in Russian)
- How does the ACARS system work? (2014). Available at: <http://skynav.ru/likbez/acars/> (accessed 03 September 2023). (in Russian)
- Institute of Radar Meteorology. KRAMS-4. Available at: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=20-0. (accessed 02 September 2023). (in Russian)
- Levin B. R. (1966). Theoretical foundations of statistical Radio Engineering. Moscow: Soviet radio, 1966. 728 p. (in Russian).
- Manuilov S. A. (2021). Ensuring flight safety under the influence of unfavorable meteorological conditions on an aircraft. *Flight safety issues*. 10: 21-44. (in Russian)
- Rubtsov V. D. (1978). Distribution of absolute maxima of the atmospheric noise envelope. *Radio engineering and electronics*. XXIII(3): 621-623. (in Russian)
- Rubtsov V. D. (1997). Reception of wave disturbances using narrowly directed oscillations. *Radio engineering and electronics*. 42(6): 645-648. (in Russian)
- Rubtsov V. D., Dubyansky S. A. (2015). Experimental studies of parametric devices for recording wave disturbances in air and water media on optical and ultrasonic probing beams. *Scientific Bulletin of the MSTU CA*. 213(3): 129-134. (in Russian)
- Vorobyov V. I., Knyazev A. P. (1991). Synoptic meteorology. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1991. 581 p. (in Russian)

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 629.7.073
DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_67

СЕНСОРНАЯ И ИНТЕРСЕНСОРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПИЛОТ – ВОЗДУШНОЕ СУДНО

Геннадий Владимирович Коваленко,
orcid.org/0000-0002-4849-8878,

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации имени главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38

Санкт-Петербург, 196210, Россия
kgv@inbox.ru

Артем Андреевич Федоров,
orcid.org/0000-0001-6607-2961,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации имени главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38

Санкт-Петербург, 196210, Россия
melom111@yandex.ru

Андрей Валерьевич Федоров,
orcid.org/0000-0001-7911-8631,

кандидат педагогических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации имени главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38

Санкт-Петербург, 196210, Россия
fav1309@yandex.ru

Аннотация. В этой статье представлен обзор компонентов модели пилота, используемой для проектирования системы управления полетом, в которой особое внимание уделяется физиологическим аспектам и аспектам ручного управления. Использована структура многоэлементной системы, раскрывающая совокупность взаимодействия пилота с воздушным судном при реализации ручного управления. Ручное управление является наиболее сложным процессом при выполнении полета воздушного судна, требующего большого опыта и высоких навыков пилота. Рассмотрены сенсорная и интерсенсорная модели системы «пилот – воздушное судно». Применение этих моделей требует знания механизмов и процессов, которые непосредственно участвуют в развитии пространственной ориентации пилота при ручном управлении воздушным судном. Разработка метода и математической модели формирования навыка по ведению пространственной ориентации является актуальной задачей научных исследований.

Ключевые слова: пилот, модель, пространственная дезориентация, воздушное судно, органы чувств, человеческий фактор.

SENSORY AND INTERSENSORY MODEL OF THE PILOT – AIRCRAFT SYSTEM

*Gennady V. Kovalenko,
orcid.org/0000-0002-4849-8878,
Doctor of Technical Science, Professor
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, street of Pilots
Saint-Petersburg, 196210, Russia
kgv@inbox.ru*

*Artem A. Fedorov,
orcid.org/0000-0001-6607-2961,
postgraduate student
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, street of Pilots
St. Petersburg, 196210, Russia
melom111@yandex.ru*

*Andrey V. Fedorov,
orcid.org/0000-0001-7911-8631,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, street of Pilots
St. Petersburg, 196210, Russia
fav1309@yandex.ru*

Abstract. The paper provides an overview of the components of the pilot model used to design the flight control system which focuses on the physiological aspects and aspects of manual control. The structure of a multi-element system is used which allows the authors to reveal the totality of interaction between the pilot and the aircraft during the implementation of manual control. Manual control is the most difficult process when performing an aircraft flight and requires a lot of experience and high pilot skills. The sensory and intersensory models of the pilot–aircraft system are considered. The application of these models requires knowledge of the mechanisms and processes that are directly involved in the development of the pilot's spatial orientation when controlling the aircraft manually. The development of a method and a mathematical model for the formation of spatial orientation skills is an urgent task of scientific research.

Keywords: pilot, model, spatial disorientation, aircraft, sensory organs, human factor.

Введение

Данная статья является составной частью диссертационного исследования на тему «Метод и математическая модель формирования навыка по ведению пространственной ориентации». Математические представления о поведении человека при управлении воздушным судном сыграли очень важную роль в пилотируемой авиации, особенно в определении требований к управляемости воздушным судном. Проблемы, связанные с достижениями в области аэрокосмических технологий, таких как компьютеризированные системы управления и моделирование полета, привели к появлению все более сложных математических представлений о поведении пилота. Однако все эти

области, как правило, исследуются отдельно и параллельно с исследованиями человеческого фактора.

Цель работы – анализ существующих моделей и методов, обеспечивающих реализацию ручного управления воздушным судном, для разработки совершенной системы «пилот – воздушное судно», обеспечивающей заданный уровень безопасности полетов.

Дискуссия

В процессе составления модели пилота используется широкая область инженерных достижений с вкладом из многих дисциплин, которые рассматривают взаимодействие с людьми, будь то оператор или пользователь [Radar Systems..., 2021]. Инженерные результаты включаются либо явно, либо неявно при проектировании повседневных объектов или сложных устройств. В свое время исследователи фокусировались в основном на качественных описаниях возможных действий человека, но за последние двадцать лет понимание человеческого восприятия и обработки информации значительно продвинулось. Сейчас же используются доступные вычислительные мощности, что помогает исследовать глубокие функции мозга, а также определять и разрабатывать функциональные карты нейронов в мозге, рассмотренные в работах [Brain–Computer..., 2013; Markram, 2012; Seung, 2012].

Материалы и методы

Из всей области моделирования деятельности пилотов в данной статье авторами предложены те методы, в которых рассматриваются вопросы моделирования динамики ручного пилотирования, направленные на обеспечение заданного уровня безопасности полетов [Besogonov et al., 2023].

Данное исследование требует не только понимания ручного пилотирования, но и понимания системы «пилот – воздушное судно» (П-ВС) в целом. Современные гражданские самолеты фактически имеют три режима работы:

1. Управление воздушным судном может осуществляться посредством полного ручного управления с выдерживанием траектории самим пилотом или при помощи директорных указателей системы автоматизированного управления воздушным судном [Attitude..., 2023].

2. Управление может быть осуществлено при помощи панели управления режимами автопилота. Здесь пилот в основном контролирует режимы автопилота, и его вмешательство требуется лишь на определенных этапах выполнения задачи.

3. Компьютер управления полетом может быть запрограммирован на земле. Автопилот самолета будет выдерживать траекторию полета при помощи указателей. В данном случае пилот берёт на себя функции наблюдения и контроля функций автопилота, с дополнительным контролем службы движения [Emergency..., 2023].

На рис. 1 представлены основные компоненты, которые участвуют в ручном управлении, эти компоненты необходимы для отображения динамики ручного пилотирования. Главным компонентом этой системы является цель, для достижения которой, посредством обработки цели высшими функциями мозга, определяется процесс достижения результата.

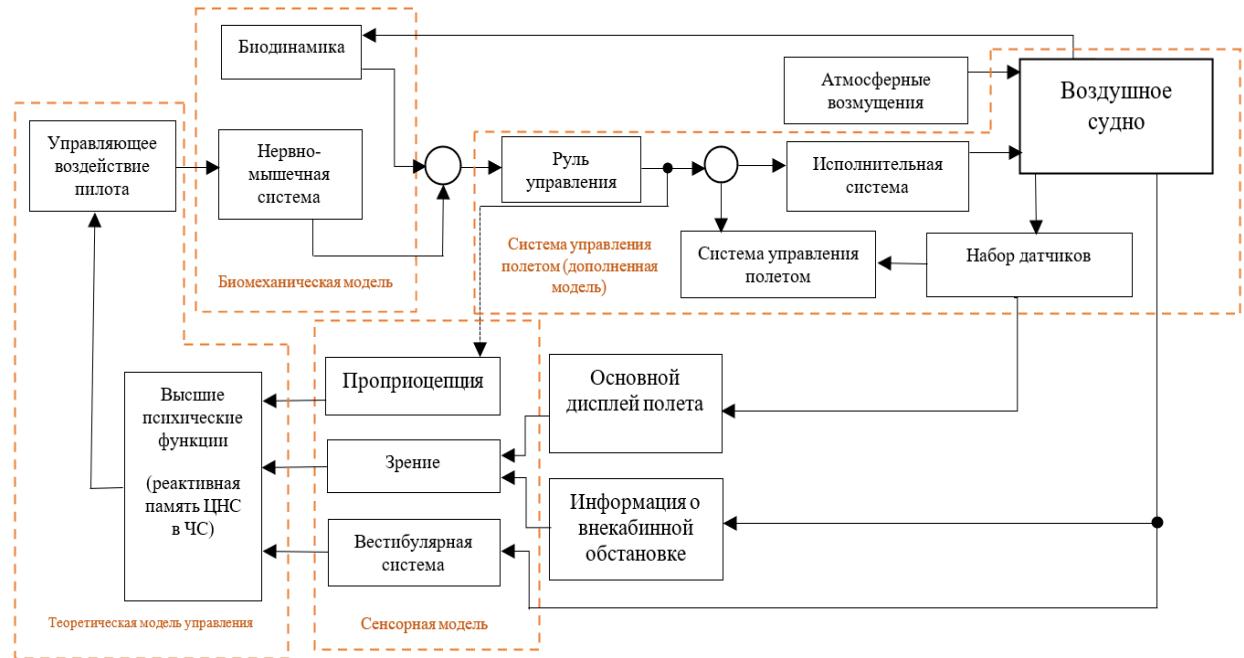


Рисунок 1 – Блок-схема, представляющая систему «пилот – воздушное судно» при ручном управлении.

Источник: <https://www.routledge.com/Principles-and-Practice-of-Aviation-Psychology/Tsang-Vidulich/p/book/9780805833904>

В ситуациях, требующих немедленное выполнение определенных процедур, идет упрощение цели. Здесь управляющие действия уже во многом зависят от опыта и навыков пилота, именно поэтому на данном этапе большую роль играет обучение пилота. Знания, навыки и опыт пилота помогают определить необходимые сигналы и усилия для того, чтобы установить контроль с обратной связью. Нервно-мышечная система осуществляет управляющее воздействие на руль управления. Сигналы от руля управления, в свою очередь, используются в качестве требований к параметрам динамики полета, таким как угол тангажа или нормальное ускорение. Эти требования удовлетворяются при помощи системы управления самолета, которая обеспечивает соответствующее движение управляющих поверхностей или изменение режимов работы двигателя. Таким образом, изменения положения крыла или хвостового оперения, или значения тяги двигателя создают силы и моменты, которые меняют положение самолета относительно встречного воздушного потока. Пилот получает информацию о новом положении самолета в основном посредством визуальной сенсорной системы, которая доставляет информацию о внекабинной обстановке в мозг [Erokhin et al.,

2021]. Пилот также воспринимает сигнал руля управления через проприоцептивное чувство. Эти сигналы эффективно замыкают контуры управления с обратной связью. Однако положение пилота в самолете также означает, что его тело подвержено результирующим ускорениям, возникающим либо из-за его команд, либо из-за атмосферных возмущений. Поэтому на нервно-мышечные силы, действующие на руль управления, влияет возмущение, возникающее, когда ускорения самолета проходят через биодинамическую систему пилота, то есть ключевые компоненты модели пилота могут быть сгруппированы как теоретические и сенсорные модели управления.

Существующие модели формирования навыка ручного управления воздушным судном. Сенсорная модель

Наши органы чувств эволюционировали и теперь представляют собой сложный сенсорный комплекс, который, в сочетании с центральной нервной системой (ЦНС), можно определить как сложный пример сбора и объединения данных. Однако эта система лучше всего подходит для умеренных угловых вращений короткой продолжительности, ежедневно испытываемых на земле. Несмотря на то, что мы считаем наше восприятие окружения безошибочным, частые вращения низкой интенсивности и большой продолжительности, испытываемые в полете, могут легко привести к ошибочному восприятию, ведущему к дезориентации.

Ситуация, когда пилот не может правильно воспринимать положение, движение или отношение самолета в рамках фиксированной системы координат, обеспечивающей поверхностью Земли и ее гравитационным полем, определяется как пространственная дезориентация (ПД).

Сенсорная модель человека должна, по крайней мере, быть способна имитировать некоторые виды дезориентации пилота.

Исследования в области ПД были начаты Эрнстом Махом, чья работа в области сверхзвукового фактически уходила корнями в более ранние исследования человеческого вестибулярного аппарата и восприятия звука. Спустя время, в 1877 году, он опубликовал свою работу о сверхзвуковом движении снаряда. Исследования в контексте авиации начались позже, в конце Первой мировой войны, а настоящий прогресс был достигнут только в 1990-х годах. В настоящее время ПД подразделяется на три категории [Tsang et al., 2002]:

- тип I: когда пилот не знает, что воспринимаемая ориентация неверна;
- тип II: когда происходит осознанное признание конфликта между чувствами и приборами;
- тип III: когда пилот испытывает чувство беспомощности и неспособности сохранять контроль из-за непреодолимой путаницы в ориентации.

Во время ситуаций, относящихся к типу I и II, пилот часто отказывается верить приборам, или неправильно интерпретирует сигналы внекабинной

обстановки, что, в свою очередь, является причиной большинства катастроф, связанных с пространственной дезориентацией [Tsang et al., 2002].

Для того, чтобы составить математическую модель пространственной дезориентации, требуется знания механизмов и процессов, которые непосредственно участвуют в развитии пространственной ориентации. На сознательном уровне слуховые и визуальные сигналы используются для получения информации о состоянии воздушного судна в любой момент времени. Подсознательно визуальные, вестибулярные и проприоцептивные сигналы обрабатываются для получения данных о положении, угловом и линейном ускорении. Затем центральная нервная система отвечает за интерпретацию и сравнение с внутренней моделью. Эти модели формулируются на основе прошлого опыта и подготовки, которые, в свою очередь, формируют ожидания относительно динамики самолета [Previc et al., 2004].

Интерсенсорная модель

Современное научное понимание человеческого познания в контексте мультисенсорных стимулов все еще находится на ранних стадиях развития. Большинство подходов к моделированию пилота сосредоточены либо на результирующей динамике полета системы П-ВС, либо изучают динамику пилотирования только через мониторинг входных сигналов рулей управления. Мультисенсорное восприятие моделируется либо просто линейным суммированием сигналов [Hosman et al., 1999; McRuer et al., 1974], либо взвешенной суммой с кажущимся произвольным выбором весовых коэффициентов (значений) (как в случае, предложенном Хессом [Hess, 1980; Hess, 1990]). В большинстве случаев динамика полета под воздействием ПД либо оставлена для качественных исследований человеческого фактора, либо для испытаний на летных тренажерах. Модель, предложенная Тельбаном и Кардулло [Telban et al., 2001], позволяет включить эффекты ПД в более широкую систему моделирования пилота, показанную на рис. 1. Более сложная модель представляет собой нелинейную комбинацию зрительных и вестибулярных органов чувств, которая способна улавливать такие ПД, как иллюзия движения тела пилота. Она позволяет исследовать взаимодействие между зрительными и вестибулярными сигналами, при этом сенсорная модель остается отделенной от теоретического компонента управления. Она также использует подход Хосмана для моделирования динамики зрительного аппарата, отолита и полукружного канала и поэтому остается относительно простой.

Модель вращательного восприятия предоставляет средства для вычисления единой воспринимаемой угловой скорости с учетом фактической угловой скорости, поступающей на зрительные и вестибулярные органы чувств, где последние представлены динамикой полукружного канала. Аналогично, модель поступательного восприятия предоставляет средства для получения воспринимаемой скорости с учетом фактической удельной силы (вектор силы тяжести на единицу массы) и ускорения. Вестибулярная модель

будет представлена здесь отолитовыми органами, которые реагируют на конкретную силу, в то время как зрительная модель обрабатывает информацию о скорости.

Пользователь может определить переменные, которые занимают периферийное или фокусное зрение пилота с помощью переключателя. Это позволяет моделировать ситуации, включающие много-осевые задачи, когда пилот наблюдает за угловой скоростью крена при помощи периферийного зрения одновременно с угловой скоростью тангажа при помощи центрального зрения.

Результаты исследований

В работах приводятся результаты психофизических экспериментов [Hosman et al., 1999; Telban et al., 2000], в которых было установлено, что визуальное восприятие собственного движения вызывает искусственный вестибулярный ответ, и в ограниченной степени верно и обратное. Главной особенностью модели Тельбана и Кардулло является ее способность улавливать такие оценки самодвижения под влиянием зрения и, таким образом, моделировать ПД. Компоненты оптокинетического влияния представляют собой нелинейный коэффициент усиления и фильтр низких частот первого порядка с постоянной времени 1,59 с. Коэффициент усиления эффективно отражает значения, которые обозначают вестибулярное и зрительное восприятие. Он рассчитывается с помощью модифицированной функции Ханна, которая связана с разницей между зрительными и вестибулярными показателями. Затем фильтр моделирует постепенное нарастание воспринимаемого собственного движения. Общее воспринимаемое движение представляет собой сумму вестибулярной оценки и результата оптокинетического воздействия. Второй особенностью является использование внутренних моделей полукружных каналов и отолитов, что неявно предполагает, что ЦНС сравнивает визуальные стимулы с оценкой вестибулярного ответа.

Вестибулярная модель Фернандеса [Fernández et al., 1971] и модель отолита, предложенная Талибаном [Telban et al., 2000], практически идентичны модели, разработанной Хосманом [Hosman et al., 1999]. Отолитовые органы реагируют на специфическую (удельную) силу (f), определяемую следующим образом:

$$f = \hat{g} - a_h, \quad (1)$$

где \hat{g} – вектор локальной гравитационной силы, а a_h – ускорение головы относительно системы отсчета, зафиксированной на теле. Для простоты можно предположить, что голова пилота остается на одном уровне относительно продольной оси самолета (на одной оси с корпусом самолета). Передаточная (трансферная) функция, связывающая измеренную удельную силу (\hat{f}) с фактической удельной силой, выглядит следующим образом:

$$\frac{\hat{f}(c)}{f(c)} = \frac{0,4(13,2c+1)}{(5,33c+1)(0,66c+1)}, \quad (2)$$

Было показано, что следующая передаточная функция адекватно связывает воспринимаемую угловую скорость вращения ($\hat{\omega}$) с фактической скоростью вращения (ω) [Fernández et al., 1971]:

$$\frac{\hat{\omega}}{\omega} = \frac{456c^2}{(5,7c+1)(80c+1)} \quad (3)$$

И, таким образом, обеспечивает адекватное представление динамики вестибулярного канала.

Оператор адаптации определяет продолжительность, в течение которой допускается конфликт между зрительными и вестибулярными сигналами. Он связывает погрешность между сигналами взаимодействия с погрешностью размытия через следующую передаточную функцию:

$$\frac{e_w(c)}{|e(c)|} = \frac{\tau_w c}{\tau_w c + 1} \quad (4)$$

Было установлено, что постоянная времени τ_w для оператора адаптации составляет восемь и одну секунду для вращательного и поступательного восприятия соответственно.

Динамический отклик двух моделей восприятия показан на рис. 2 и 3. Эти результаты моделирования демонстрируют способность модели отражать тот факт, что, в то время как вестибулярные чувства имеют временные (переходные) характеристики, индуцированное (искусственные) движение через зрительный канал по-прежнему доминирует в восприятии движения человеком.

На рис. 2 представлен более интересный сценарий моделирования поступательного восприятия. Здесь импульс подается только на вестибулярное чувство, в то время как зрительный канал остается «слепым». В результате воспринимаемое движение состоит из начального переходного пика и постоянной скорости, равной нулю. Переходный момент обусловлен вестибулярным сигналом, но он быстро сводится на нет оптокинетическим влиянием. Большая ошибка приводит к большему изменению усиления оптокинетического влияния, что приводит к эффекту отмены.

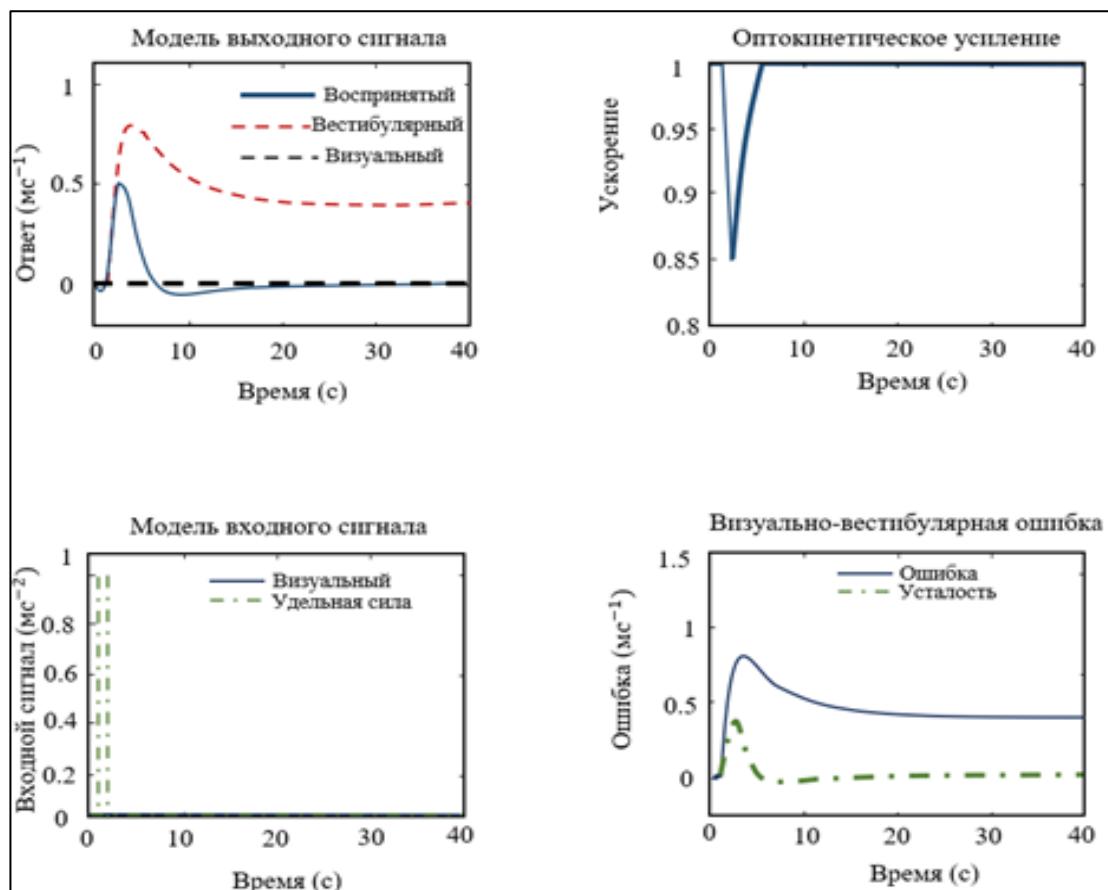


Рисунок 2 – Реакция трансляционной модели только на вестибулярный ввод импульса длительностью 1 мс^{-2} . Источник: <https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jn.1971.34.4.661>

На рис. 3 представлена реакция модели восприятия вращения на визуальный и вестибулярный ступенчатый сигнал $1^\circ/\text{с}$. Реакция показывает резкий и точный зрительный ответ, и затухающий вестибулярный ответ. Поскольку оба органа чувств получают одинаковую информацию, угловая скорость в стабильном состоянии улавливается точно.

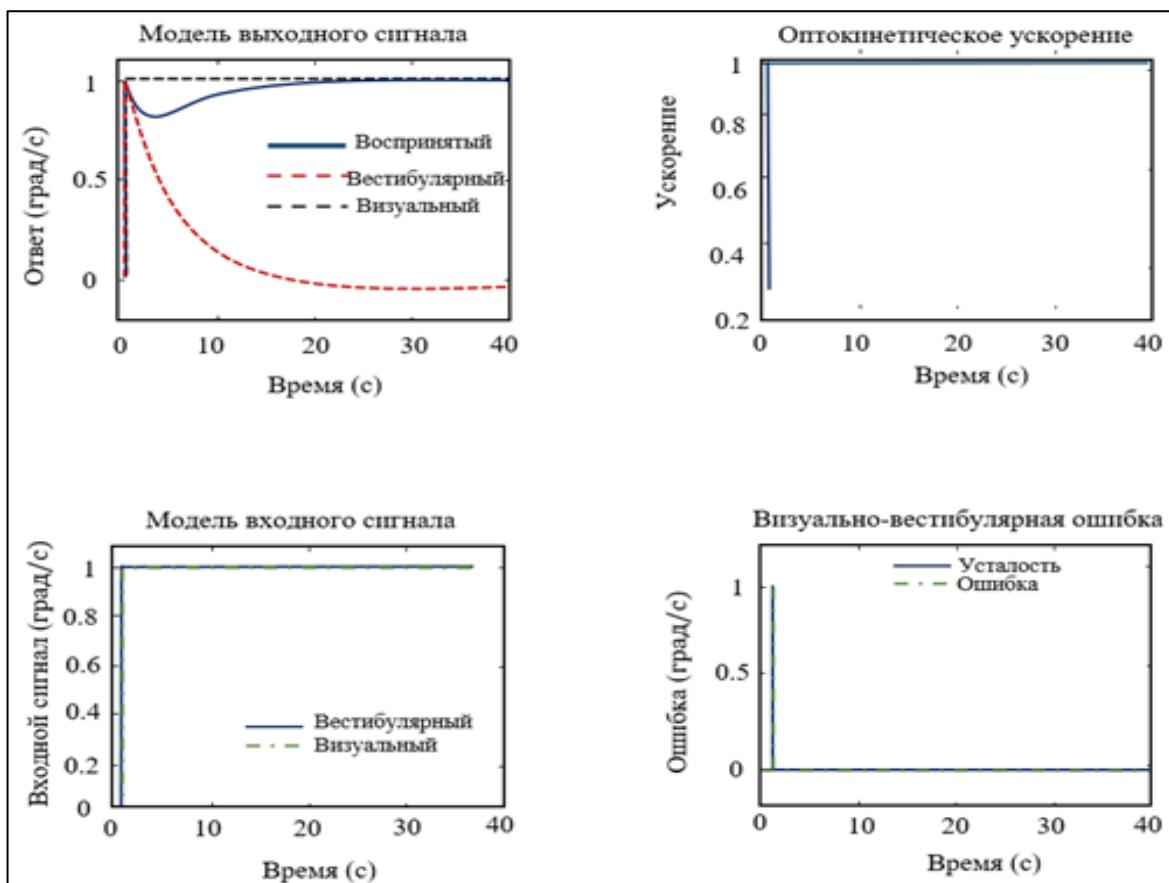


Рисунок 3 – Реакция вращательной модели на вестибулярный и визуальный шаг. Источник:
<https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/jn.1971.34.4.661>

Заключение

В статье проведен анализ системы пилот – воздушное судно. Выделены основные компоненты модели пилота, которые были сгруппированы как сенсорные и теоретические модели управления. Более подробно рассмотрены сенсорная и интерсенсорные модели. Обоснованно применение интерсенсорной модели при исследовании пространственной дезориентации и построении математической модели пилота. В дальнейшем планируется провести эксперимент для обоснования влияния разрабатываемой математической модели на качество подготовки летного состава.

Библиографический список

- Attitude Indicators in Bank Angle Determination: A Study of Errors. / O. Arinicheva, N. Lebedeva, A. Malishevskii, R. Arefyev // In: O. A. Gorbachev, X. Gao, B. Li (eds) Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer, 2023. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_24.
- Besogonov V. Development of a Multifactorial Flight Safety Level Assessment Methodology in the Russian Federation Civil Aviation / V. Besogonov, A. Kostylev, M. Ushakov // In: O. A. Gorbachev, X. Gao, B. Li (eds) Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer, 2023. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_32.

- Brain-Computer Interfaces / B. He, S. Gao, H. Yuan, J. R. Wolpaw // In: He, B. (eds) Neural Engineering. Boston, MA: Springer, 2013. DOI 10.1007/978-1-4614-5227-0_2.
- Emergency Performance Assessment in Air Traffic Control / A. Malishevskii, I. Krivoborsky, A. Khumorov, S. Vorobyov // In: O. A. Gorbachev, X. Gao, B. Li (eds) Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. 2023. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_29.
- Erokhin V.* Bi-criteria Aircraft Trajectory Optimization in Implementing the Area Navigation Concept // V. Erokhin, B. Lezhankin, T. Portnova // Int. J. Aeronaut. Space Sci. 2021. № 22. pp. 948–962. – DOI 10.1007/s42405-021-00353-3.
- Fernández C.* Physiology of peripheral neurons innervating semicircular canals of the squirrel monkey. II. Response to sinusoidal stimulation and dynamics of peripheral vestibular system / C. Fernández, J. M. Goldberg // Journal of neurophysiology. 1971. №34(4). 661-75.
- Hess R. A.* Model for human use of motion cues in vehicular control // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1990. № 13(3). pp. 476-482.
- Hess R. A.* Structural Model of the Adaptive Human Pilot // Journal of Guidance Control and Dynamics.. 1980. Vol. 3. pp. 416-423.
- Hosman R.* (1999). Pilot's perception in the control of aircraft motions / R. Hosman, H. Stassen // Control engineering practice. 1999. Vol. 7(11). pp. 1421–1428. DOI 10.1016/s0967-0661(99)00111-2.
- Markram H.* The human brain project // Scientific American. 2012. Vol. 306(6). pp. 50–55. DOI 10.1038/scientificamerican0612-50.
- McRuer D. T.* Mathematical Models of Human Pilot Behavior / D. T. McRuer, E. S. Krendel. London: AGARDograph AGARD-AG-188, Advisory Group for Aerospace Research & Development. 1974. 80 p.
- Previc F. H.* Spatial Disorientation in Aviation / F. H. Previc, W. R. Ercoline. Reston, Verginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. 2004. 576 p.
- Radar Systems of Air Transport. In: Theoretical Foundations of Radar Location and Radio Navigation / D. A. Akmaykin, E. A. Bolelov, A. I. Kozlov, B. V. Lezhankin, A. E. Svistunov, Y. G. Shatrakov // Springer Aerospace Technology. Singapore: Springer, 2021. DOI 10.1007/978-981-33-6514-8_11.
- Seung S.* Connectome: How the Brain's Wiring Makes Us Who We Are. Boston, New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2012. 384 p.
- Telban R.* An integrated model of human motion perception with visual-vestibular interaction / R. Telban F. Cardullo // in: AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit. 2001. DOI 10.2514/6.2001-4249.
- Telban R.* Investigation of mathematical models of otolith organs for human centered motion cueing algorithms / R. Telban, F. Cardullo L. Guo // in: AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit. 2000. DOI 10.2514/6.2000-4291.
- Tsang P. S.* Principles and Practice of Aviation Psychology / P. S. Tsang & M. A. Vidulich. CRC Press, 2002. 624 p. DOI 10.1201/b12466.

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

УДК 621.396.96
DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_78

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА РАСХОДИМОСТИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ

Вячеслав Владимирович Ерохин,
orcid.org/0000-0002-5549-3952,

доктор технических наук

Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
ww_erohin@mail.ru

Борис Валентинович Лежанкин,
orcid.org/0000-0001-5504-0884,

кандидат технических наук, доцент

Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
lezhbor@mail.ru

Дмитрий Юрьевич Урбанский,
orcid.org/0009-0000-2574-512X,

Восточно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ»,
Бородина, 57

Иркутск, 664056, Россия
urbdim.ru@gmail.com

Аннотация. Точность измерения местоположения воздушных судов (ВС) напрямую влияет на безопасность полётов и является одной из важнейших тактических характеристик. Внедрение новых перспективных средств наблюдения, таких как многопозиционные системы наблюдения (МПСН), может значительно повысить уровень безопасности полётов, а также улучшить эффективность использования воздушного пространства. В статье рассматривается задача улучшения качества функционирования МПСН и повышения точности оценки координат воздушных судов (ВС). Точность определения местоположения определяется погрешностью измерения времени прихода сигнала в условиях влияния шумов и помех. Случайные возмущения необходимо учитывать для обеспечения качественной работы МПСН, что достигается путем применения методов Калмановской теории фильтрации. Поэтому для решения задачи оценивания переменных состояния МПСН предлагается использовать фильтр Калмана (ФК). Эффективность применения фильтра Калмана зависит от адекватности математических моделей и реальных процессов. Неточности моделей, связанные с функционированием навигационных систем, приводят к расходимости ФК. В работе

приведены результаты теоретических исследований и имитационного моделирования процессов функционирования МПСН на основе реализации алгоритма ФК.

Ключевые слова: фильтр Калмана, расходимость процесса фильтрации, алгоритм оценивания, многопозиционная система наблюдения, случайные возмущения, воздушное судно.

SYNTHESIS OF AN ALGORITHM FOR ESTIMATING PARAMETERS OF A MULTIPOSITION SURVEILLANCE SYSTEM AND RESEARCH OF FILTERING DIVERGENCE

*Vyacheslav V. Erokhin,
orcid.org/0000-0002-5549-3952,
Doctor of Technical Science
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
ww_erohin@mail.ru*

*Boris V. Lezhankin,
orcid.org/0000-0001-5504-0884,
Candidate of technical sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
lezhbor@mail.ru*

*Dmitry Y. Urbansky,
orcid.org/0009-0000-2574-512X,
East Siberian branch of FSUE «VNIIFTRI»,
57, Borodina
Irkutsk, 664056, Russia
urbdim.ru@gmail.com*

Abstract. The accuracy of aircraft position measurements directly affects flight safety and is one of the most important tactical characteristics. The introduction of new advanced surveillance tools, such as multi-position surveillance systems (MPSS), can significantly increase the level of flight safety, as well as improve the efficiency of airspace use. The authors consider the task of improving the quality of MPSS functioning and increasing the accuracy of estimating the aircraft coordinates. The accuracy of position-fixing is determined by the error in measuring the time of signal arrival under the influence of noise and interference. Random disturbances must be taken into account to ensure high-quality MPSS operation. This is achieved by applying the methods of Kalman filtration theory. Therefore, to solve the problem of estimating the MPSS state variables, it is proposed to use a Kalman filter (KF). The effectiveness of using the Kalman filter depends on the adequacy of mathematical models and real processes. Model inaccuracies associated with the functioning of navigation systems lead to KF divergence. The paper presents the results of theoretical studies and simulating the MPSS functioning processes based on the implementation of the KF algorithm.

Keywords: Kalman filter, divergence of the filtering process, estimation algorithm, multi-position surveillance system, random disturbances, aircraft.

Введение

Гражданская авиация является активно развивающейся отраслью промышленности и играет важную роль в обеспечении экономического развития Российской Федерации. Увеличение интенсивности воздушного движения послужило началом модернизации Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Для обеспечения эффективного функционирования системы УВД предлагается использовать многопозиционную систему наблюдения (МПСН).

Системный анализ принципов построения и функционирования МПСН показал значительные преимущества МПСН по сравнению с существующими классическими средствами наблюдения – возможность использования системы в труднодоступных районах для радиолокационных средств, а также простота обслуживания [Исследование..., 2023; Лежанкин и др., 2019].

Точность измерения местоположения воздушных судов (ВС) напрямую влияет на безопасность полётов и является одной из важнейших тактических характеристик. Внедрение новых перспективных средств наблюдения, таких как МПСН, может значительно повысить уровень эффективности использования воздушного пространства [Синтез..., 2022]. При этом важное значение имеет исследование точностных характеристик МПСН в зависимости от конфигурации параметров системы.

Точность определения местоположения ВС характеризуется качеством измерения времени прихода сигнала в условиях влияния шумов и помех [Арефьев и др., 2021; Применение..., 2021; Туринцев и др., 2022]. Случайные возмущения необходимо учитывать для обеспечения качественной работы МПСН, что достигается путем применения методов Калмановской теории фильтрации [Формирование..., 2008; Using..., 2022]. При синтезе алгоритмов оценки параметров МПСН, необходимо учитывать случайные возмущения для обеспечения качественной работы в условиях действующих шумов и помех, что достигается путем применения различных методов, в том числе, методов Калмановской теории фильтрации. Эффективность применения фильтра Калмана (ФК) существенно зависит от степени соответствия математических моделей реальным процессам. Неточности моделей, связанные с функционированием радионавигационных систем, приводят к появлению эффекта расходимости ФК.

На основе анализа вышеизложенного можно сделать вывод о том, что исследование точностных характеристик МПСН и повышение эффективности определения координат ВС в условиях воздействия случайных возмущений является актуальной научно-исследовательской задачей.

Цель работы – разработка алгоритма определения переменных вектора состояния многопозиционной системы наблюдения и исследование расходимости процессов фильтрации.

Постановка задачи

В основе принципа работы МПСН при определении положения приёмоответчика ВС лежат измерения на приемных пунктах значений псевдозадержки принятых сигналов, которые можно представить в виде:

$$U_{ex}(t) = \sum_{i=1}^n S_i(t, \tau_i, f_{di}) + n(t),$$

$$S_i(t, \tau_i, f_{di}) = A_i G_{DK}(t - \tau_i) G_{HC}(t - \tau_i) \cos(\omega_{0i}(t - \tau_i) + \phi_{0i}) =$$

$$= A_i G_{DK}(t - \tau_i) G_{HC}(t - \tau_i) \cos(\omega_{0i}t + 2\pi \int_0^t f_{di}(v) dv + \phi_{0i}),$$

где $S_i(t, \tau_i, f_{di})$ – принимаемый i -ым ПП сигнал с амплитудой A_i ; ω_{0i} – несущая частота; ϕ_{0i} – случайная начальная фаза; τ_i – псевдозадержка; f_{di} – псевдододоплеровское смещение частоты; $G_{DK}(t - \tau_i), G_{HC}(t - \tau_i)$ – координатная часть в виде преамбулы и информационное сообщение, содержащее данные о воздушном судне, параметрах его движения; $n(t)$ – белый гауссовский шум (БГШ).

Измеренную псевдодальность представим в виде:

$$D_i = c \tau_i = D_i + \tilde{D}_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + \tilde{D}_i, \quad (1)$$

где D_i – расстояние от ВС до i -й приемной станции; x, y, z – координаты ВС; τ_i – измеренное значение времени прихода сигнала от ВС до приемного пункта; c – скорость распространения радиоволн; \tilde{D}_i – погрешность измерения дальности.

Все псевдодальномерные измерения можно объединить в вектор, состоящий из сигналов n видимых приемных станций:

$$\mathbf{y}(t_v) = \left[S_1(t_v, \tau_1, f_{d1}) + n_{j1}, S_2(t_v, \tau_2, f_{d2}) + n_{j2}, \dots, S_n(t_v, \tau_n, f_{dn}) + n_{jn} \right]^T, \quad (2)$$

где $n_{jl}, l = \overline{1, n}$ – дискретные БГШ (ДБГШ) с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсией $\sigma_n^2 = N_0 / (2T_d)$; $T_d = t_j - t_{j-1}$ – шаг дискретизации.

Синтез алгоритма

Применимально к задаче дискретной фильтрации, в предположении Марковского характера процесса \mathbf{x}_v , алгоритм вычисления значений апостериорной плотности вероятности (АПВ) имеет вид:

$$p(\mathbf{x}_v | \xi_0^v) = cp(\mathbf{y}_k | \mathbf{x}_v) p(\mathbf{x}_v | \xi_0^{v-1}), \quad (3)$$

$$p(\mathbf{x}_v | \xi_0^{v-1}) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\mathbf{x}_{v-1} | \xi_0^{v-1}) cp(\mathbf{x}_v | \mathbf{x}_{v-1}) d\mathbf{x}_{v-1}, \quad (4)$$

$$p(\mathbf{x}_0 | \xi_0^0) = p_{ap}(\mathbf{x}_0). \quad (5)$$

Уравнения (3) – (5) позволяют рекуррентно вычислять значение АПВ $p(\mathbf{x}_v | \xi_0^v)$ на v -м шаге по соответствующему значению той же плотности на предыдущем шаге. Начальные условия для такой рекуррентной процедуры описываются выражением (5).

При использовании метода максимума правдоподобия для обработки аддитивной смеси полезного сигнала и шума напряжение на выходе дискриминатора запишем в виде

$$u_{\Delta v}(\tilde{\mathbf{x}}_v) = \left(\frac{\partial \ln p(\xi_1^M, \mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right)^T \Big|_{\mathbf{x} = \tilde{\mathbf{x}}_v},$$

где $\xi_1^M = \{y_{v-1,1}, y_{v-1,2}, \dots, y_{v-1,M}\}$ – принимаемые сигналы на интервале $[t_{v-1,1}, t_{v-1,M}]$, вектор состояния $\mathbf{x} = [\tau, f_{\Delta}]^T$; $p(\xi_1^M, \mathbf{x})$ – функция правдоподобия.

Применимально к рассматриваемой задаче АПВ $p(\xi_1^M, \mathbf{x})$ представим в виде:

$$p(\xi_1^M, \mathbf{x}) \cong \exp \left(\sum_{l=1}^M S^T \left(t_{v-1,l}, \tau, \dot{f}_D, \vartheta_{NS} \right) \mathbf{D}_n^{-1} \left(y(t_{v-1,l}) - \frac{1}{2} S \left(t_{v-1,l}, \tau, \dot{f}_D, \vartheta_{NS} \right) \right) \right), \quad (6)$$

На основании выражений (3) – (6) вычисляются оценки времени задержки $\hat{\tau}$ и доплеровского сдвига частоты \hat{f}_D , соответствующие максимуму АПВ:

$$\{\hat{\tau}, \hat{f}_D\} = \max_{\tau, f_D} p(\tau, f_D | Y_{t_0}^{t_0+T}).$$

Модель динамики параметров МПСН представим в виде:

$$\tau_v = \tau_{v-1} + TV_{\tau, v-1}, \quad (7)$$

$$V_{\tau, v} = V_{\tau, v-1} + n_{\tau, v-1}, \quad (8)$$

где T – время наблюдения; $n_{\tau, v}$ – ДБГШ с известной дисперсией $D_{n_{\tau}}$; V_{τ} – скорость изменения времени задержки сигнала; v – временной индекс.

Уравнение наблюдения представим в виде:

$$\xi_v = \tau_v + n_{\xi, v}, \quad (9)$$

где $n_{\xi, v}$ – ДБГШ с дисперсией $D_{n_{\xi}}$.

На основе моделей (7) – (9) синтезирован алгоритм оценки параметров МПСН в скалярном виде:

$$\hat{\tau}_v = \tilde{\tau}_v + K_{1,v} (\xi_v - \tilde{\tau}_v),$$

$$\tilde{\tau}_v = \hat{\tau}_{v-1} + TV_{\tau, v-1},$$

$$\hat{V}_{\tau, v} = \hat{V}_{\tau, v-1} + K_{2,v} (\xi_v - \tilde{\tau}_v), K_1$$

$$K_{1,v} = \frac{R_{11,v}}{D_{n_{\xi}}}, K_{2,v} = \frac{R_{12,v}}{D_{n_{\xi}}},$$

где $K_{i,v}$ – коэффициенты усиления фильтра Калмана в выражениях для оценки соответствующих переменных; R_{ij} – элементы главной диагонали матрицы ошибок \mathbf{R} [Assad et al., 2019].

Матрица \mathbf{R} вычисляется на основе выражений:

$$\mathbf{R}_v^{-1} = \tilde{\mathbf{R}}_v^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{H} / D_{n_\xi},$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_v = \Phi_{v,v-1} \tilde{\mathbf{R}}_{v-1} \Phi_{v,v-1}^T + \mathbf{G} \mathbf{G}^T D_{n_\tau},$$

где $\tilde{\mathbf{R}}_v$ – экстраполированная матрица.

При реализации перехода от скалярного вида к векторно-матричному получаем следующую форму записи уравнений (7) – (9):

$$\mathbf{x}_v = \Phi_{v,v-1} \mathbf{x}_{v-1} + \mathbf{G}_{v,v-1} \mathbf{n}_{x,v-1},$$

$$\xi_v = \mathbf{H}_v \mathbf{x}_v + \mathbf{n}_{\xi,v},$$

$$\Phi = \begin{vmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \mathbf{G} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}, \mathbf{H} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Алгоритм оптимальной фильтрации вектора состояния представим в векторно-матричном виде:

$$\hat{\mathbf{x}}_v = \hat{\mathbf{x}}_{v/v-1} + \mathbf{K}_v (\xi_v - \mathbf{H}_v \hat{\mathbf{x}}_{v/v-1}), \quad (10)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_v = \Phi_{v,v-1} \mathbf{R}_{v-1} \Phi_{v,v-1}^T + \mathbf{G}_{v,v-1} \mathbf{Q}_{v-1} \mathbf{G}_{v,v-1}^T,$$

$$\mathbf{K}_v = \tilde{\mathbf{R}}_v \mathbf{H}_v^T \left[\mathbf{H}_v \tilde{\mathbf{R}}_{v-1} \mathbf{H}_v^T + \mathbf{V}_v \right]^{-1},$$

$$\mathbf{R}_v = [\mathbf{I} - \mathbf{K}_v \mathbf{H}_v] \tilde{\mathbf{R}}_v, \quad (11)$$

Алгоритм позволяет решить задачу фильтрации параметров МПСН, состоящую в нахождении наилучшей оценки времени прихода сигнала по результатам псевдодальномерных измерений при наличии ошибок, вызванных действием случайных возмущений.

Результаты моделирования и исследования

В работе выполнено исследование характеристик алгоритма оптимальной фильтрации параметров МПСН на основе специализированного программного обеспечения. В качестве исходных данных выбраны значения параметров, которые представлены в [Исследование..., 2023; Лежанкин и др., 2019].

Для оценки качества измерений разности времён прихода переданного приемоответчиком объекта сигнала на рис. 1 представлены ошибки оценки $\tau - \hat{\tau}$ и СКО σ_τ , на рис. 2 приведены графики ошибки оценки $V_\tau - \hat{V}_\tau$ и среднеквадратического отклонения σ_{V_τ} . Представленные на рисунках 1, 2 результаты показывают достаточно высокую точность оценки параметров сигналов МПСН при совпадении фактических и расчетных параметров фильтра Калмана.

В то же время при работе фильтра Калмана может наблюдаться расходимость процессов фильтрации, как показано на графиках, приведенных на рисунках 3 и 4, при несоответствии между принятыми моделями и

реальными процессами. Такое несоответствие, как показывают результаты исследований, представленные на рисунках 3 и 4, приводит к расходимости процессов фильтрации, т. е. к отличию между расчетным значением дисперсии ошибки оценивания и действительной ошибкой.

Расходимость возникает из-за того, что вероятностные характеристики шума наблюдений $n_{\xi, v}$ неизвестны и не учитываются в выражениях (4), (5) алгоритма фильтрации, при этом возникают расхождения между реальными процессами и моделями, принятыми в фильтре.

Расходимость процессов фильтрации приводит к увеличению дисперсии ошибки параметров МПСН, что демонстрируется на рисунках 5, 6.

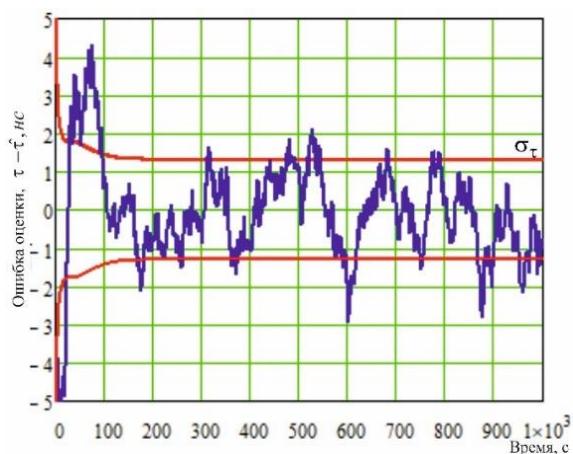


Рисунок 1 – Ошибка оценки времени задержки

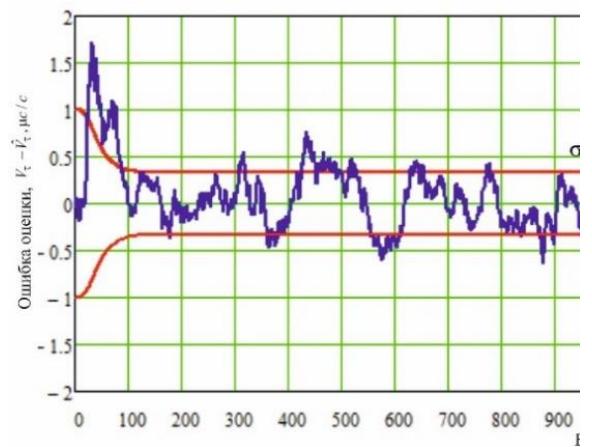


Рисунок 2 – Ошибка оценки скорости изменения времени задержки

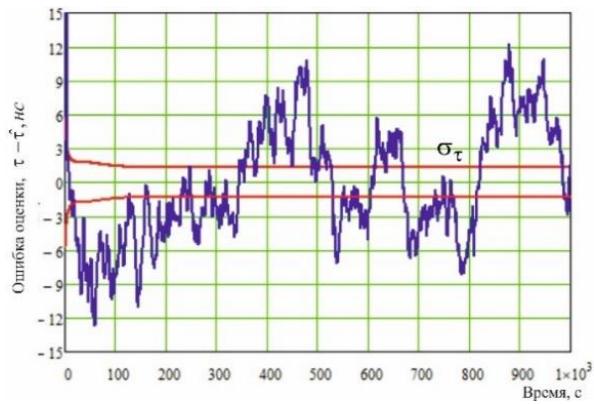


Рисунок 3 – Ошибка оценки времени задержки при расходимости

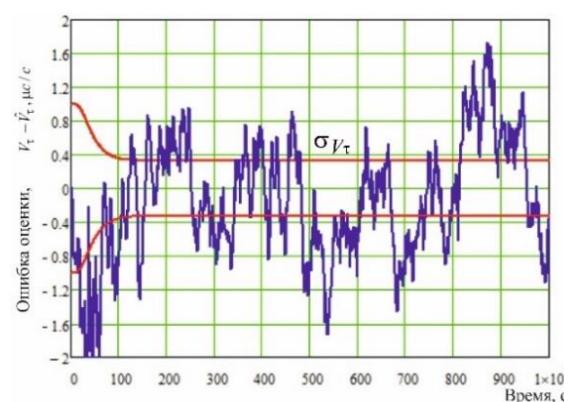


Рисунок 4 – Ошибка оценки скорости изменения времени задержки при расходимости

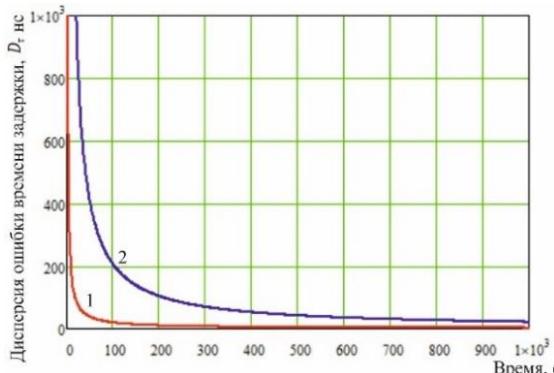


Рисунок 5 – Дисперсия ошибки оценки времени задержки:
1 – при корректной работе;
2 – при расходимости.

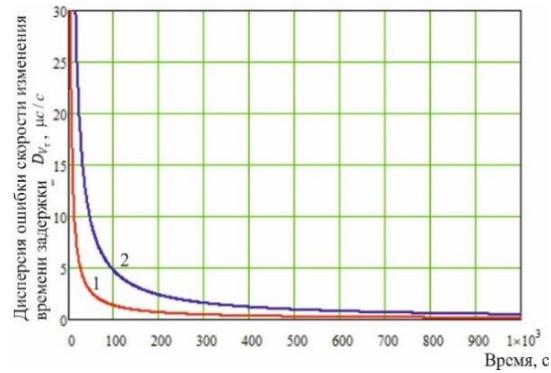


Рисунок 6 – Дисперсия ошибки оценки скорости изменения времени задержки:
1 – при корректной работе;
2 – при расходимости.

Анализ представленных результатов показывает необходимость исследования эффекта расходимости процессов фильтрации и разработки новых подходов к оценке параметров МПСН для устранения данной проблемы, что и предопределяет актуальность выбранного направления исследований.

Анализ проблемы расходимости процессов фильтрации

При использовании алгоритмов Калмановского типа при обработке информации в МПСН возникают ситуации, когда действительные ошибки фильтрации превышают теоретически рассчитанные значения. Это явление называется расходимостью (неустойчивостью) фильтра Калмана. Причины расходимости заключаются в неточном задании моделей процессов сообщения и наблюдения, отсутствии достоверной информации о реальных физических процессах. Расходимость вызывают ошибки моделирования шумов в условиях статистической неопределенности их вероятностных характеристик [Болелов, 2021].

Основная причина расходимости процесса фильтрации – быстрое стремление к нулю коэффициента передачи (усиления) K фильтра Калмана, как показано на рисунках 7, 8. При этом процесс оценивания перестает быть зависимым от обновляющей информации, содержащейся в последовательности наблюдений, и рост ошибки не влияет на формирования оценки.

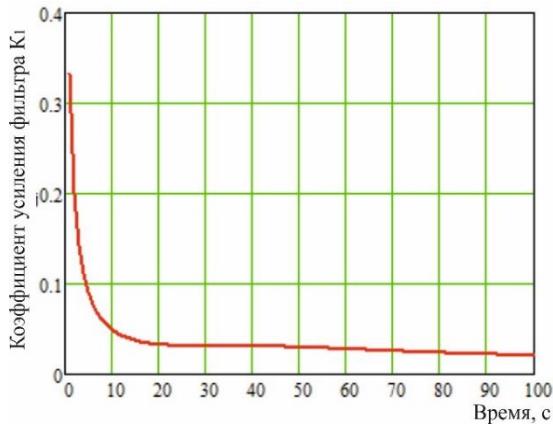


Рисунок 7 – Коэффициент усиления фильтра $K_{1,v}$

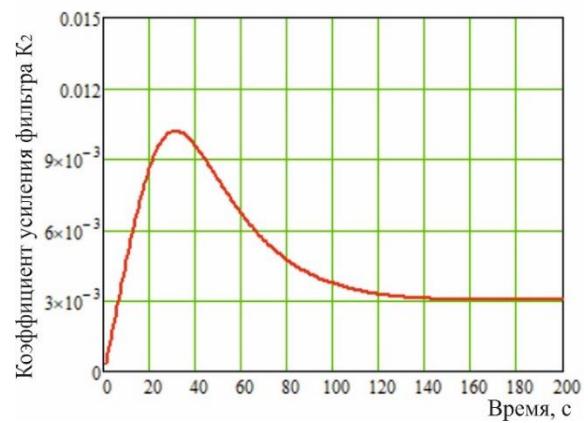


Рисунок 8 – Коэффициент усиления фильтра $K_{2,v}$

Следует отметить, что эффект расходимости – явление сложное и противоречивое, требующее проведения глубоких исследований применительно к решению конкретной задачи повышения эффективности функционирования МПСН.

В работе [Сейдж и др., 1976] рассматриваются методы устранения расходимости применительно к различным задачам. В основе рассмотренных методов лежит идея ограничения коэффициента усиления, чтобы избежать «нечувствительности» процесса фильтрации к вновь поступающей последовательности наблюдений.

Для уменьшения матричного коэффициента усиления предлагается использовать процедуру, состоящую в ограничении элементов матрицы снизу некоторой заранее выбранной величиной, либо можно добавить к элементам матрицы некоторую величину [Марковские модели..., 2019]. Например, в работе [Schmidt et al., 1968] для расчета матричного коэффициента усиления предлагается использовать следующее выражение:

$$\mathbf{K}_v = [\tilde{\mathbf{R}}_v + \varepsilon \mathbf{I}] \mathbf{H}_v^T [\mathbf{H}_v \tilde{\mathbf{R}}_v \mathbf{H}_v^T + \mathbf{V}_v]^{-1}.$$

Предложенный подход можно использовать для ограничения элементов матрицы дисперсий ошибок \mathbf{R}_v . В работе [Andrews, 1968] был развит другой подход, позволяющий контролировать нестабильность, который состоит в вычислении квадратного корня из матрицы \mathbf{R}_v . При рассмотрении данного способа вносится предположение, что шум модели равен нулю. Уравнение для матрицы ковариаций \mathbf{R}_v при $\mathbf{G}_v = 0$ записывается в виде:

$$\mathbf{R}_v = [\mathbf{I} - \mathbf{K}_v \mathbf{H}_v] \tilde{\mathbf{R}}_v,$$

где $\tilde{\mathbf{R}}_v = \Phi_{v,v-1} \mathbf{R}_{v-1} \Phi_{v,v-1}^T$ – экстраполированная матрица ковариаций.

Показано, что корень из матрицы \mathbf{R}_v равен

$$\tilde{\mathbf{R}}_v^{1/2} = \Phi_{v,v-1} \mathbf{R}_{v-1}^{1/2} \Phi_{v,v-1}^T;$$

$$\mathbf{R}_v = \mathbf{R}_{v-1}^{\frac{1}{2}} \left[\mathbf{I} - \left[\tilde{\mathbf{R}}_v^{\frac{1}{2}} \right]^T \mathbf{H}_v \left(\left\{ \mathbf{V}_v + \mathbf{H}_v \tilde{\mathbf{R}}_v \mathbf{H}_v^T \right\}^{\frac{1}{2}} \right)^{-1} \left(\left\{ \mathbf{V}_v + \mathbf{H}_v \tilde{\mathbf{R}}_v \mathbf{H}_v^T \right\}^{\frac{1}{2}} \right)^{-1} \mathbf{H}_v^T \mathbf{R}_{v-1}^{\frac{1}{2}} \right],$$

где используется нижняя треугольная матрица корней из дисперсий. Для случая непрерывного времени аналогичные выражения были предложены в [Andrews, 1968].

Перспективным направлением устранения эффекта расходимости является применение адаптивных алгоритмов фильтрации. Применение адаптивных алгоритмов представляется более эффективным ввиду того, что из-за расходимости величина ошибки становится относительно большой, что даёт возможность использовать большее количество информации для адаптации [Воскобойников, 2015]. Разработка и исследование алгоритмов адаптивной фильтрации параметров МПСН рассматривается в качестве приоритетного направления дальнейших исследований.

Заключение

Разработан алгоритм оценки переменных вектора состояния МПСН при использовании АЗН-В: времени, скорости и ускорения изменения времени задержки прихода сигнала на основе Калмановской теории фильтрации. Проведены исследования точностных характеристик МПСН наблюдения с применением специализированного программного обеспечения. Анализ представленных результатов показывает высокую точность оценки параметров при совпадении фактических и расчетных параметров фильтра Калмана. В то же время при несоответствии между принятыми моделями фильтра Калмана и реальными процессами на выходе алгоритма наблюдается расходимость процессов фильтрации, которая проявляется в отличии между расчётной и действительной ошибкой оценивания. Показано, что расходимость процессов фильтрации приводит к увеличению дисперсии ошибки оценки параметров МПСН. Обоснована необходимость разработки новых подходов к оценке переменных вектора состояния для устранения расходимости. Рассмотрены методы устранения неустойчивости функционирования разработанного алгоритма, при этом разработка и исследование алгоритмов адаптивной фильтрации параметров МПСН выбраны в качестве приоритетного направления дальнейших исследований.

Библиографический список

- Арефьев Р. О. Применение помехоустойчивого кодирования при обработке сообщений локальной корректирующей станции / Р. О. Арефьев, С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 22-32. EDN YMDPPC.
- Болелов Э. А. Методы и алгоритмы комплексной обработки метеоинформации при метеорологическом обеспечении полетов воздушных судов гражданской авиации: специальность 05.22.14 Эксплуатация воздушного транспорта: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Болелов Эдуард Анатольевич, 2021. 421 с. EDN RAOAVI.
- Воскобойников Ю. Е. Критерий расходимости и алгоритм адаптации рекуррентного алгоритма оценивания вектора состояния / Ю. Е. Воскобойников // Научный вестник

Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 3(60). С. 7-22. DOI 10.17212/1814-1196-2015-3-7-22. EDN UNEYLN.

Исследование точностных характеристик широкозонной многопозиционной системы наблюдения Иркутского регионального центра организации воздушного движения / Э. А. Болелов, Б. В. Лежанкин, М. А. Межетов, В. В. Ерохин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 3(40). С. 89-101. EDN LKMF MX.

Лежанкин Б. В. Системный анализ задачи определения местоположения воздушного судна в многопозиционной системе наблюдения / Б. В. Лежанкин, В. В. Ерохин, В. С. Марюхненко // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2019. № 1(2). С. 46-61. EDN ZDOOGT.

Марковские модели технического состояния перспективных бортовых радиолокационных систем воздушных судов / А. С. Богачев, Э. А. Болелов, А. Т. Кудинов [и др.] // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 26. С. 113-125. EDN YVVCPC.

Применение технологии LoRa в беспилотных авиационных системах / М. А. Межетов, А. И. Тихова, У. С. Вахрушева, А. В. Федоров // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 180-185. EDN UZUCLT.

Сейдж Э. П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. П. Сейдж, Дж. Мелс [пер. с англ. под ред. Б.Р. Левина]. М.: Связь, 1976. 496 с.

Синтез многопозиционных радиолокационных систем на базе сети специализированных излучателей / А. В. Журавлев, В. В. Кирюшкин, А. В. Коровин, Д. И. Савин // Успехи современной радиоэлектроники. 2022. Т. 76, № 4. С. 47-55. DOI 10.18127/j00338486-201807-21. EDN OQAAER.

Турицев С. В. Программная реализация алгоритма кодирования и декодирования местоположения ВС в дискретно-адресном режиме вторичной радиолокации / С. В. Турицев, М. С. Турицева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро "Туполев", 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. С. 115-121. EDN YGUUY.

Формирование радиолокационной карты подстилающей поверхности путем фильтрации случайных полей / О. Н. Скрыпник, Б. В. Лежанкин, Б. М. Миронов, Н. П. Малисов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2008. № 133. С. 60-66. EDN KVVEYT.

Andrews A. A square root formulation of the Kalman covariance equations // AIAA Journal. 1968. Vol. 6. pp. 1165-1166. DOI 10.2514/3.4696.

Assad A. Novel Adaptive Fuzzy Extended Kalman Filter for Attitude Estimation in Gps-Denied Environment / A. Assad, W. Khalaf, I. Chouaib // Gyroscopy Navig. 2019. Vol. 10. pp. 131-146. DOI 10.1134/S2075108719030027.

Schmidt S. F. (1968) Case Study of Kalman Filtering in the C-5 Aircraft Navigation System / S. F. Schmidt, J. P. Weinberg, J. S. Lukesh // Joint Automatic Control Conf. Univ. of Michigan. 1968. pp. 59-109.

Using a MLAT Surveillance System to Locate Unmanned Aerial Vehicles Flying as a Swarm / E. A. Bolelov, B. V. Lezhankin, V. V. Erokhin, S. A. Zyabkin // 2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh). 2022. pp. 67-70. DOI 10.1109/TSCZh55469.2022.9802475.

References

Andrews A. (1968). A square root formulation of the Kalman covariance equations. *AIAA Journal*. 6: 1165-1166. DOI 10.2514/3.4696.

- Arefyev R. O., Turintsev S. V., Turintseva M. S. (2021). The use of noise-resistant coding in the processing of messages from a local correction station. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii». pp. 22-32. EDN YMDPPC. (in Russian)
- Assad A., Khalaf W., Chouaib I. (2019). Novel Adaptive Fuzzy Extended Kalman Filter for Attitude Estimation in Gps-Denied Environment. *Gyroscopy Navig.* 10: 131-146. DOI 10.1134/S2075108719030027.
- Bogachev A. S., Bolelov E. A., Kudinov A. T. (2019). Markov model of the technical state of advanced airborne radar systems aircraft. *Scientific bulletin of GosNII GA*. 26: 113-125. EDN YVVCPC. (in Russian)
- Bolelov E. A. (2021). Methods and algorithms of complex processing of meteorological information in meteorological support of flights of civil aviation aircraft: Special'nost' 05.22.14 Ekspluataciya vozdushnogo transporta: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. 2021. 421 p. EDN RAOAVI. (in Russian)
- Bolelov E. A., Lezhakin B. V., Erokhin V. V., Zyabkin S. A. (2022). Using a MLAT Surveillance System to Locate Unmanned Aerial Vehicles Flying as a Swarm. *2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh)*. 67-70. DOI 10.1109/TSCZh55469.2022.9802475.
- Bolelov E. A., Lezhakin B. V., Erokhin V. V., Mezhetov M. A. (2023). Study of the accuracy characteristics of the wide-area multi-position surveillance system of the Irkutsk regional center for air traffic management. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviacii*. 3(40): 89-101. EDN LKMF MX. (in Russian)
- Lezhakin B. V., Erokhin V. V., Maryukhnenko V. S. (2019). System analysis of the problem of determining the location of the aircraft in the multiposital observation system. *Informacionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovaniye v upravlenii slozhnymi sistemami*. 1(2): 46-61. EDN ZDOOGT. (in Russian)
- Mezhetov M. A., Tikhova A. I., Vakhrusheva U. S., Fedorov A. V. (2021). Application of LoRa technology in unmanned aircraft systems. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviacii: sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Irkutsk, 14–15 oktyabrya 2021 goda. Tom 2. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii». 180-185. EDN UZUCLT. (in Russian)
- Sage E. P., Mels J. (1976). The theory of evaluation and its application in communication and management [transl. from English B.R. Levina]. Moscow: Svyaz', 1976. 496 p. (in Russian)
- Schmidt S. F., Weinberg J. P., J. S. Lukesh (1968). Case Study of Kalman Filtering in the C-5 Aircraft Navigation System. *Joint Automatic Control Conf. Univ. of Michigan*. 59-109.
- Skrypnik O. N., Lezhakin B. V., Mironov B. M., Malisov N. P. (2008). Formation of a radar map of the underlying surface by filtering random fields. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviacii*. 133: 60-66. EDN KVVEYT. (in Russian)
- Turintsev S. V., Turintseva M. S. (2022). Software implementation of the algorithm for encoding and decoding the location of aircraft in the discrete-addressable mode of secondary radar. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviacii: Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii". 115-121. EDN YGUUY. (in Russian)
- Voskoboynikov Yu. E. (2015). The divergence criterion and the algorithm for adapting the recurrent algorithm for estimating the state vector. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviacii*. 3(60): 7-22. DOI 10.17212/1814-1196-2015-3-7-22. EDN UNEY LH. (in Russian)
- Zhuravlev A. V., Kiryushkin V. V., Korovin A. V., Savin D. I. (2022). Synthesis of multi-position radar systems based on a network of specialized emitters. *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*. 4: 47-55. DOI 10.18127/j00338486-201807-21. EDN OQAAER. (in Russian)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ДАННЫХ АЗН-В С КОРРЕКЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА НА МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ (ЧАСТЬ 2)

Андрей Сергеевич Калинцев,
orcid.org/0000-0002-2578-2892,
ФГУП «Государственный научно-исследовательский
институт гражданской авиации» (ГосНИИ ГА),
ул. Михалковская, д. 67, корпус 1
Москва, 125438, Россия
kas4job@gmail.com

Аннотация. В первой части статьи была предложена модифицированная методика подтверждения данных АЗН-В, которая оценивает и сравнивает высоты полета воздушного судна: барометрическую (получаемую от барометрического высотомера) и геометрическую (получаемую от приемника ГНСС). В представленной работе выполнено моделирование применения модифицированной методики подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В. При моделировании были использованы реальные данные, полученные от наземной станции АЗН-В, расположенной на аэродроме Мезень. Использованы реальные значения давления и температуры. Модифицированная методика учитывает значения показателей качества данных АЗН-В. Для одного полета МВЛ было показано превышение допустимого интервала (данные ГНСС, согласно методике, не подтверждены). Полученный результат согласуется с параметром геометрической вертикальной точности GVA. Для верификации модифицированной методики определения температуры по данным геометрической и барометрической высот, полученные данные температуры сравниваются со значениями модели прогнозирования ECMWF. Среднее значение RMSE для 11 рейсов составило 1,58 °C. Для ВС, набирающих высоту, максимальное значение RMSE составило 1,93 °C, для ВС, выполняющих посадку, максимальное RMSE = 2,7 °C.

Ключевые слова: безопасность полетов, АЗН-В, модель, местные воздушные линии, барометрическая высота, геометрическая высота, TAS, IAS.

SIMULATION OF ADS-B DATA CONFIRMATION WITH TEMPERATURE CORRECTION WHEN ESTIMATING FLIGHT ALTITUDE ON LOCAL AIR LINES (PART 2)

Andrey S. Kalintsev,
orcid.org/0000-0002-2578-2892,
The State Scientific Research Institute
of Civil Aviation (GosNII GA),
Mikhalkovskaya str. 67, bld. 1
Moscow, 125438, Russia
kas4job@gmail.com

Abstract. In the first part of the article, the author proposed a modified method for confirming the ADS-B data, which estimates and compares the aircraft flight altitude: barometric altitude (received from a barometric pressure altimeter) and geometric altitude (received from a GNSS receiver). In the presented work, application of the modified technique for confirming the ADS-B geometric altitude data is simulated. When simulating, real data were used which were received from the ADS-B ground station located at the Mezen aerodrome. Real values of pressure

and temperature were used. The methodology takes into account the values of quality indicators of ADS-B data. For one flight on local airlines, an excess of the permissible interval was shown (GNSS data, according to the methodology, are not confirmed). The result obtained is consistent with the geometric vertical accuracy parameter GVA. To verify the modified method of the temperature determination according to geometric and barometric altitude, the obtained temperature data are compared with the values of the ECMWF forecasting model. The average RMSE value for 11 flights was 1.58 °C. For climbing aircraft the maximum RMSE value was 1.93 °C, for landing aircraft, maximum RMSE = 2.7°C.

Key words: flight safety, ADS-B, model, local airlines, barometric altitude, geometric altitude, TAS, IAS.

Введение

В соответствии с Транспортной стратегией РФ до 2030 года³⁸, критический износ аэродромной инфраструктуры является одним из ключевых вызовов транспортного комплекса. Стратегия³⁸ предполагает необходимость модернизации инфраструктуры аэродромов гражданской авиации. Очевидно, что в рамках реализации стратегии³⁸ в части модернизации авиационной инфраструктуры следует использовать экономически эффективные технологии и оборудование.

Наземная станция АЗН-В может заменить собой вторичный радиолокатор (ВРЛ), а ее стоимость будет в 5-7 раз ниже [Калинцев и др., 2021]. Однако повсеместному внедрению АЗН-В препятствует тот факт, что координаты ВС могут быть определены бортовыми системами с большой погрешностью, при этом оценить величину погрешности на земле практически невозможно. Для решения этой задачи Международная организация гражданской авиации (ИКАО) рекомендует подтверждать данные АЗН-В с помощью дорогостоящих вторичных радиолокаторов (ВРЛ) и многопозиционных систем наблюдения (МПСН)³⁹, что сводит на нет всю предполагаемую экономическую выгоду. Отсюда следует, что крайне актуальной становится задача разработки альтернативных методов подтверждения данных АЗН-В.

В работах [Калинцев и др., 2021; Плясовских и др., 2020; Плясовских и др., 2019] предложены методики подтверждения данных в горизонтальной плоскости. В основе приведенных методик лежат алгоритмические методы подтверждения данных. В работе [Подтверждение достоверности..., 2023] предложена методика подтверждения данных АЗН-В в вертикальной плоскости. В методике [Подтверждение достоверности..., 2023] используются метеопараметры реальной атмосферы и прогнозные значения температуры на высотах, получаемые от метеослужбы.

В первой части исследования [Калинцев., 2023] была представлена модифицированная методика подтверждения данных АЗН-В, учитывающая влажность воздуха, коррекцию температуры, допустимые ошибки метеопараметров, а также показатели качества АЗН-В. Целью настоящей

³⁸ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 с прогнозом на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р).

³⁹ Aeronautical Surveillance Manual. Doc. 9924 AN/474. ICAO, 2020. 372 р.

публикации является моделирование применения разработанной модифицированной методики. В данной работе выполнено полунаатурное моделирование применения методики, проведена оценка точности получения температурных значений по данным геометрической и барометрической высот, полученных в стандартном сообщении АЗН-В.

Целью работы является моделирование применения методики подтверждения данных АЗН-В, предложенной в первой части исследования [Калинцев, 2023]. При этом необходимо решить задачи получения и обработки данных АЗН-В, метеопараметров, вычисления температуры атмосферы на высотах по данным геометрической и барометрической высот, передаваемых в стандартном сообщении АЗН-В. Выполнить сравнение полученных данных со значениями модели числовых прогнозов ECMWF.

Материалы и методы

Материалом исследования является разработанная в первой части статьи модифицированная методика [Калинцев., 2023], способы получения температуры и метеопараметров атмосферы.

При выполнении исследования были применены методы анализа и синтеза, методы теории вероятностей и математической статистики, системный анализ, математическое и полунаатурное моделирование.

В работе выполнено моделирование с использованием реальных данных АЗН-В, полученных от наземной станции НС-1А, расположенной на аэродроме Мезень. Из отчетов АЗН-В была извлечена информация о местоположении ВС, выполняющих полеты МВЛ, получены значения геометрической, барометрической высот полета и показатели качества NIC_{BARO} , GVA . Для полетов МВЛ выполнен анализ показателей качества АЗН-В. Выполнено моделирование подтверждения данных ГНСС.

При моделировании были использованы фактические значения параметров атмосферы и прогнозные значения. Модель обработки данных и выполнения расчетов представлена на рисунке 1.

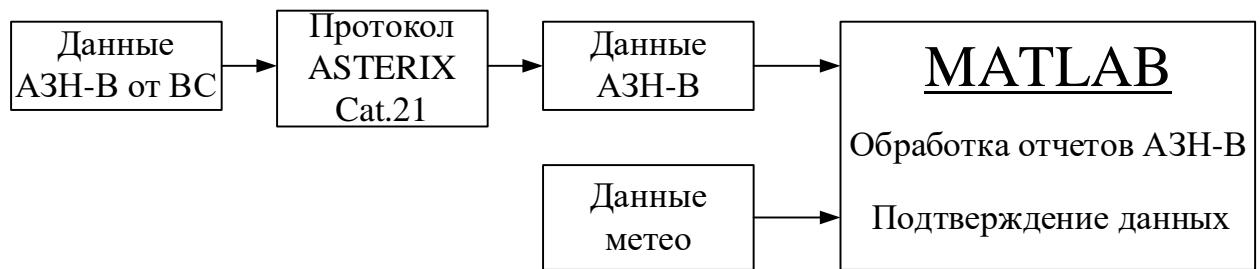


Рисунок 1 – Модель обработки данных АЗН-В

Необходимо обратить внимание, что обрабатываются данные АЗН-В, представленные в соответствии с протоколом ASTERIX⁴⁰. При моделировании не учитывалась высота перехода.

Из метеопрогнозов для площадей были взяты значения температуры для высот 1500 и 3000 м. Для определения температуры слоя H , в среде MATLAB, по прогнозным значениям ближайших слоев с известной температурой, выполнена линейная интерполяция для значений, соответствующих высоте полета по данным ГНСС. Для соответствующих площадей, по данным сайта «Расписание погоды» [Архив погоды в Архангельске..., 2023, Архив погоды в Мезени ..., 2023], были использованы архивные значения приведенного давления к уровню моря, температуры и точки росы. Температура у поверхности земли приведена к уровню MSL.

Вычисления выполняются для каждой итерации программы, при движении ВС над другой площадью (площадью с другими значениями) значения температуры соответствуют прогнозам для этой площади. Для полученных координат АЗН-В ВС вычисляется высота геоида и значения высоты ГНСС приводятся к MSL.

Методика определения максимально допустимого интервала подробно приведена в первой части исследования. Приведем основные этапы исследуемой модифицированной методики подтверждения геометрической высоты АЗН-В.

1. Находим с использованием полной формулы Лапласа (1) высоту полета ВС [Таблицы..., 1976]:

$$z_2 - z_1 = 18400 \left(1 + C_1 t_{cp}\right) \left[1 + C_2 \left(\frac{e}{P}\right)_{cp}\right] (1 + C_3 \cos 2\varphi) (1 + C_4 z_{cp}) \lg \left(\frac{P_1}{P_2}\right), \quad (1)$$

где $z_2 - z_1$ разность высот, м;

P_1 – давление на высоте z_1 (QNH или QFF);

P_2 – давление на высоте z_2 (давление в точке полета ВС);

t_{cp} – средняя температура слоя, °C;

$\left(\frac{e}{P}\right)_{cp}$ – среднеарифметическое отношение упругости пара, содержащегося в воздухе к атмосферному давлению;

z_{cp} – средний уровень в слое, м;

φ – широта места;

C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные ($C_1 = 0,0036 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; $C_2 = 0,378$; $C_3 = 0,00264$; $C_4 = 3,14 \cdot 10^{-7}$ м).

2. Полученные значения давления и температуры суммируем со значениями допустимых ошибок соответствующих метеопараметров;

⁴⁰ EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange – ASTERIX Part 12 Category 21: ADS-B Target Reports. EUROCONTROL-SPEC-0149-12. EUROCONTROL, Brussels, 2021.

3. Находим по формуле (1) значения высоты с учетом допустимых ошибок метеопараметров;

4. Для значений, полученных в пунктах 1 и 3, находим модуль разности высот (Δh_{Error});

5. Максимально допустимая ошибка параметров температуры на высоте (T_{Air_err}) определяется по следующему алгоритму:

5.1. К рассчитанным или используемым параметрам температуры на высоте добавляем нормально распределенные значения с заданной заранее, в зависимости от источника используемых данных, СКП. При этом ошибка считается нормально распределенной случайной величиной. Для температуры, полученной по данным из сообщений воздушной скорости АЗН-В, основываясь на исследованиях [de Haan et al., 2013a], СКП принята равной 4,1 °C. СКП температуры прогнозных значений принята равной 4,5 °C. Для коррекции температуры по данным барометрической и геометрической высот, с учетом выполненного в разделе «моделирование» настоящей статьи сравнения полученных значений температуры и значений температуры модели прогнозирования ECMWF, СКП принята равной 3,5 °C. Согласно RTCA DO-260C⁴¹ АЗН-В версии 3 поддерживает передачу температуры и воздушной скорости⁴. Учитывая использование одних и тех же датчиков определения температуры атмосферы на ВС, сделано предположение о равной точности температур AMDAR и АЗН-В версии 3. Согласно [de Haan, 2013b] СКО температуры по данным AMDAR составило 1 К. Следовательно, для передаваемой в сообщении АЗН-В версии 3 температуры, СКП принята равной 1,5 °C;

5.2. Следующим этапом необходимо сгенерировать значения нормально распределенной величины температуры с заданным значением СКП;

5.3. Для полученных в п. 5.2. сгенерированных значений температуры выполняем вычисления высот с учетом ошибок определения температуры по формуле (1) и находим разность с высотой полета, полученной в п. 1;

5.4. Находим СКП величины, полученной в пункте 5.3. – величина максимально допустимой ошибки в метрах. Далее необходимо привести найденную величину СКП к вероятности 95%.

6. Выполняем вычисление допустимого интервала по формуле:

$$\Delta H_i = \sqrt{\Delta h_{B_i}^2 + T_{Air_err_i}^2 + \Delta h_{Error_i}^2 - \varepsilon^2}, \quad (2)$$

где Δh_{Error} – разность высоты и допустимой ошибки;

T_{Air_err} – максимально допустимая ошибка в м, вызванная ошибкой определения параметров температуры.

⁴¹ Minimum operational performance standards for 1090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance – broadcast (ADS-B) and traffic information services – broadcast (TIS-B). RTCA DO260C, 2020. 1714 р.

Отметим, что допустимый интервал принимается равным среднему значению полученной величины ΔH_i и находится по формуле:

$$\Delta \bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta H_i, \quad (3)$$

7. Далее необходимо сравнить значение допустимого интервала со значением допустимого интервала (90 м) по формуле:

$$\Delta \bar{H} - 90 > 0 \quad (4)$$

В случае невыполнения условия подтверждение данных невозможно.

8. При выполнении условия п. 7 необходимо определить разность максимально допустимого отклонения высоты полета, рассчитанной для реальной атмосферы, и геометрической высоты АЗН-В, приведенной к уровню MSL. Ее значение не должно превышать рассчитанный максимально допустимый интервал:

$$|H_{\text{реал.атм}} - H_{\text{ГНС-MSL}}| < \Delta \bar{H}, \quad (5)$$

где ΔH – максимально допустимый интервал.

Коррекция температуры и учет парциального давления по данным из сообщения АЗН-В о воздушной скорости в точке ВС выполняется по следующему алгоритму:

1. По полученным из сообщения АЗН-В значениям скоростей TAS и IAS, с использованием таблиц коррекции скоростей, определяем значение CAS;

2. Находим значение динамического давления q , приняв $\gamma = \frac{1}{4}$ [Lowry, 1999]:

$$q = P_0 \cdot \left(\left[\frac{\left(\frac{CAS}{a_0} \right)^2}{5} + 1 \right]^{\frac{7}{2}} - 1 \right) \quad (6)$$

где a_0 – скорость звука (ISA $a_0 = 340,294$ м/с).

3. Атмосферное давление до 11 000 м, может быть определено по методике, представленной в работе [Подтверждение достоверности..., 2023] и в соответствии с ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная, параметры», по формуле:

$$P = P_0 \cdot \theta^{\left(\frac{g_c}{L \cdot R} \right)}, \quad (7)$$

где P_0 – давление на уровне моря (101325 Па);

L – градиент температуры в соответствии с параметрами стандартной атмосферы (0,0065 К/м);

R – газовая постоянная ($287,0531 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$);

$\theta = \frac{T}{T_0}$, где $T = T_0 - L \cdot h$;

g_c – стандартное ускорение свободного падения;
 T_0 – температура поверхностного слоя стандартной атмосферы (288,15 K);
 h – барометрическая геопотенциальная высота ВС.
Число Маха может быть найдено как [Lowry, 1999]:

$$M = \sqrt{5 \left[\left(\frac{q}{P} + 1 \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \quad (8)$$

4. Температура в точке полета ВС может быть выражена из представленной в RTCA⁴² формулы TAS:

$$T = T_0 \left(\frac{TAS}{a_0 M} \right)^2, \quad (9)$$

5. Согласно [Lowry, 1999], эквивалентная воздушная скорость EAS (Equivalent airspeed) может быть найдена по формуле:

$$EAS = \sqrt{\frac{2\gamma P}{(\gamma-1)\rho_0} \left[\left(\frac{q}{P} + 1 \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}, \quad (10)$$

Тогда плотность воздуха в точке ВС ρ можно выразить как:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{EAS}{TAS} \right)^2 \quad (11)$$

6. Выполняется вычисление виртуальной температуры по формуле⁴³:

$$T_v = T \left(1 + 0,378 \frac{e}{P} \right) \quad (12)$$

7. Значения парциального давления в точке ВС могут быть найдены по формуле:

$$e = \left(\frac{T_v - T}{0,378} \right) \cdot \frac{P}{T} \quad (13)$$

8. Полученные значения являются приоритетными при выполнении подтверждения данных.

Температура воздуха может быть выражена из формулы, связывающей геометрическую и барометрическую скорости, приведенной в RTCA⁵. Согласно

⁴² Minimum operational performance standards for 1090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance – broadcast (ADS-B) and traffic information services – broadcast (TIS-B). RTCA DO260B, 2009. 1410 р.

⁴³ Хромов С. П. Метеорология и климатология: учебник / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. 7-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006. 582 с.

модифицированной методике [Калинцев, 2023], температуру на высотах находят по формуле:

$$T_{actual} = T_{sd(hp)} \begin{pmatrix} \frac{\partial h}{\partial t} \\ \frac{\partial H_p}{\partial t} \end{pmatrix} \quad (14)$$

При этом необходимо использовать сообщения от ВС, выполняющих взлет. Допустимо использовать данные АЗН-В от ВС, выполнивших посадку, но при этом необходимо использовать накопленные данные от нескольких ВС. При обработке данных, полученных от выполнивших посадку ВС, следует использовать метод наименьших квадратов (далее МНК). При наличии данных, прогнозные значения температуры на высотах корректируются на значения, полученные с использованием формулы (14).

Алгоритм модифицированной методики подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В выглядит следующим образом:

1. По формуле (7) полученные значения барометрической высоты АЗН-В преобразуем в значения реального давления в точке ВС.
2. Приводим к уровню MSL температуры у поверхности земли. При наличии значений температуры для требуемых высот, полученных с использованием формулы (14), необходимо скорректировать прогнозные значения температуры на реальные.
3. При отсутствии данных о значениях воздушных скоростей TAS, IAS и числе Маха, температура воздуха вычисляется линейной интерполяцией двух прогнозных значений на соседних высотах, для которых имеется прогноз.

При наличии необходимого количества данных, для расчета температуры с использованием формулы (9), выполняется коррекция прогнозных значений температуры на реальные значения. При этом парциальное давление на высоте полета ВС определяется по формуле [Задачник..., 1984]:

$$e_z = e_0 10^{-k(t_0-t)} \quad (15)$$

где t и t_0 температура воздуха на высоте и у земной поверхности соответственно;

e_0 – парциальное давление у земной поверхности;

$k = 0,0387$ – эмпирический коэффициент.

В случае приема сообщения АЗН-В (ADS-Wx), содержащего данные о температуре воздуха, используются принятые значения температуры;

4. Находим высоту полета ВС. Для этого используем полную формулу Лапласа (1), давление QNH (QFF) соответствующей площади и полученное в п. 1. реальное давление в точке полета ВС. Полученная высота – Нреал;

5. Находим величину максимально допустимого интервала согласно приведенной выше методике;

6. Выполняем проверку надежности барометрического источника данных ВС по формуле (16):

$$H_{pearl_alt} = NIC_{BARO} \cdot H_{pearl} \quad (16)$$

7. Геометрическая высота АЗН-В (ГНСС) приводится к уровню моря – H_{GNSS_MSL} ;

8. Выполняется сравнение полученных высот по формуле (5). Модуль разности не должен превышать допустимый интервал.

Коррекция температуры и учет парциального давления по данным из сообщения АЗН-В о воздушной скорости в точке ВС выполняется по следующему алгоритму:

1. По полученным от АЗН-В значениям скоростей TAS и IAS с использованием таблиц коррекции скоростей определяем значение CAS;
2. По формуле (6) находим значение динамического давления q ;
3. Зная динамическое давление q и рассчитав давление по формуле (7) с использованием формулы (8), вычисляем число Maxa;
4. По полученным от АЗН-В значениям TAS, IAS и рассчитанному числу Maxa находим значение температуры по формуле (9).

Результаты

Выполнено моделирование определения параметров атмосферы в точке полета ВС. Для моделирования передаваемых по ЛПД 1090 ES данных (TAS, IAS) использована модель Simulink [Indicated Airspeed..., s.a.].

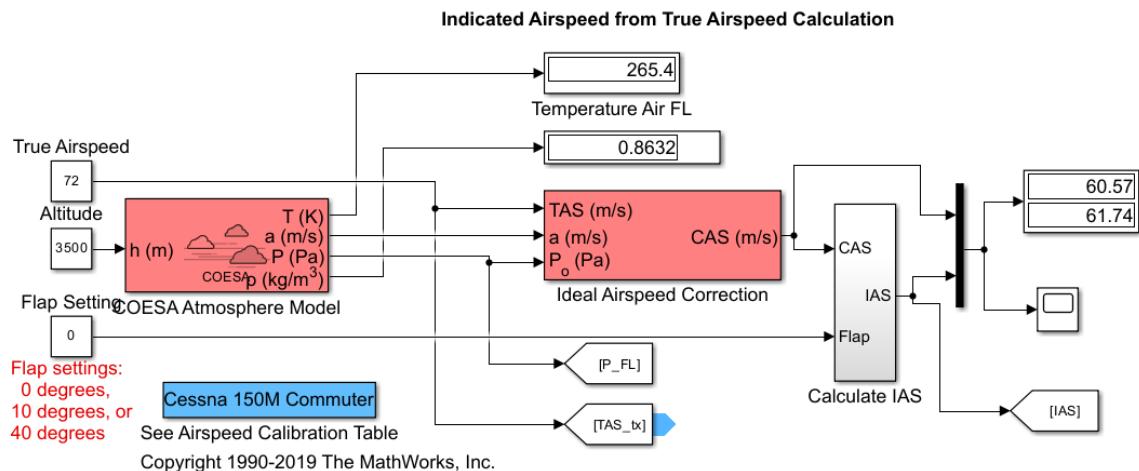


Рисунок 2 – Модель Simulink

Рассчитанные моделью IAS from TAS данные передаются на разработанную в среде MATLAB Simulink модель вычисления значений температуры и плотности (рис. 3.).

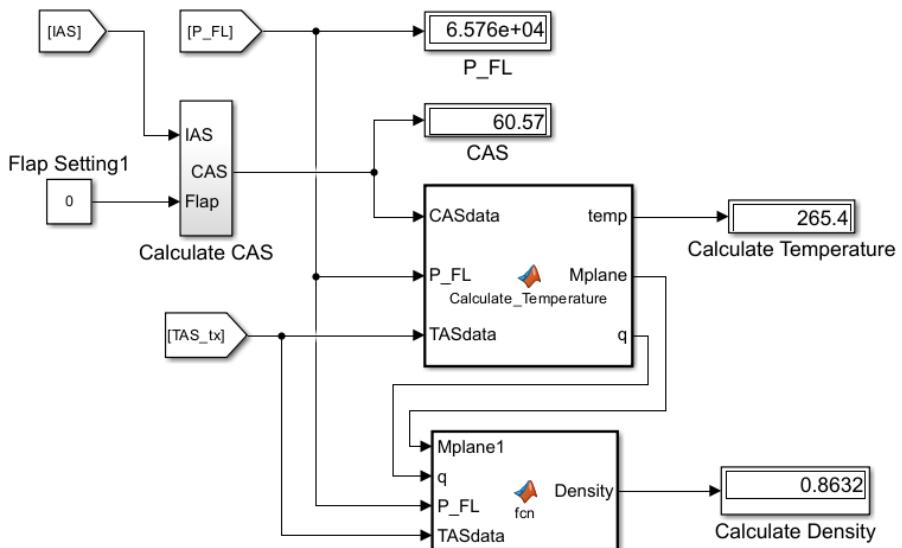


Рисунок 3 – Модель вычисления значений температуры и плотности

Блок «COESA Atmosphere model» позволяет задать стандартную атмосферу и экстремальные значения параметров атмосферы, соответствующие документации MIL-STD-210A и MIL-HDBK-310. В качестве экстремальных параметров могут быть заданы высокая и низкая температура, а также плотность. Частота появления экстремальных значений задается процентом времени.

Результаты моделирования определения параметров атмосферы (рис. 2 и 3) в точке ВС приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты вычисления температуры по данным АЗН-В

H, м	COESA		MIL-HDBK-310, low temperature 1%		MIL-HDBK-310, high temperature 1%	
	T _{исх.} , K	T _{расч.} , K	T _{исх.} , K	T _{расч.} , K	T _{исх.} , K	T _{расч.} , K
1000	281.65	281.65	227.147	227.147	292.157	292.158
1500	278.4	278.4	230.65	230.65	293.16	293.159
2000	275.15	275.1	234.139	234.139	294.16	294.155
2500	271.9	271.9	231.82	231.82	291.663	291.666
3000	268.65	268.65	229.49	229.49	289.165	289.172

Таблица 2 – Результаты вычисления плотности по данным АЗН-В

H, м	COESA		MIL-HDBK-310, low temperature 1%		MIL-HDBK-310, high temperature 1%	
	ρ _{исх.} , кг/м ³	ρ _{расч.} , кг/м ³	ρ _{исх.} , кг/м ³	ρ _{расч.} , кг/м ³	ρ _{исх.} , кг/м ³	ρ _{расч.} , кг/м ³
1000	1.112	1.112	1.344	1.344	1.075	1.075
1500	1.058	1.058	1.229	1.229	1.011	1.011
2000	1.006	1.006	1.124	1.124	0.95054	0.95056
2500	0.9569	0.9569	1.054	1.054	0.9039	0.9039
3000	0.9091	0.9091	0.9886	0.9886	0.8595	0.8595

Анализ таблиц 1 и 2 показывает, что с использованием модели рис. 3, для заданных высот, за исключением значений на высоте 2000 м (модель MIL-HDBK-310, high temperature 1%), значения плотности в точке ВС восстановлены без ошибок.

Восстановленные значения температуры отличаются для модели с экстремальными значениями температуры (модель MIL-HDBK-310, high temperature 1%) в третьем значке после запятой. Остальные значения совпадают. Можно сделать вывод, что погрешность будет определяться ошибками определения воздушных скоростей (TAS/IAS), их разрешением и ошибками перевода CAS.

Необходимо отметить, что следует обрабатывать усредненные за некоторое время данные. Для повышения частоты данных TAS и IAS следует использовать навигационный треугольник скоростей, согласно требованиям RTCA⁵.

Определение температуры на высоте по данным АЗН-В

Выполнено моделирование определения температуры по данным геометрической и барометрической высот. Необходимо подчеркнуть, что используются данные, обработанные в соответствии с протоколом ASTERIX³.

Приведем алгоритм удаления аномалий и сглаживания данных. Аномальные значения температуры отфильтрованы в несколько этапов. На первом этапе из выборки полученных данных удалены значения температуры, превышающие +40 °C и – 100 °C. Далее выполнено вычисление СКО с использованием метода скользящего окна по 3 точкам. Значения СКО, превышающие 6 °C, удалены. При моделировании установлено, что на каждые 100 метров высоты ВС получено, в среднем, 30 сообщений (отчетов ASTERIX). Следующим шагом выполняется усреднение полученных данных: методом скользящего окна вычисляется математическое ожидание для 30 отсчетов. Значения, полученные по данным прямолинейного движения, исключены. Геометрическая высота ГНСС АЗН-В приведена к уровню MSL.

Ниже приведены графики зависимости температуры от приведенной к уровню MSL высоты ГНСС АЗН-В (рис. 4). Данные представлены без сглаживания и со сглаживанием. На приведенных графиках аномальные значения удалены.

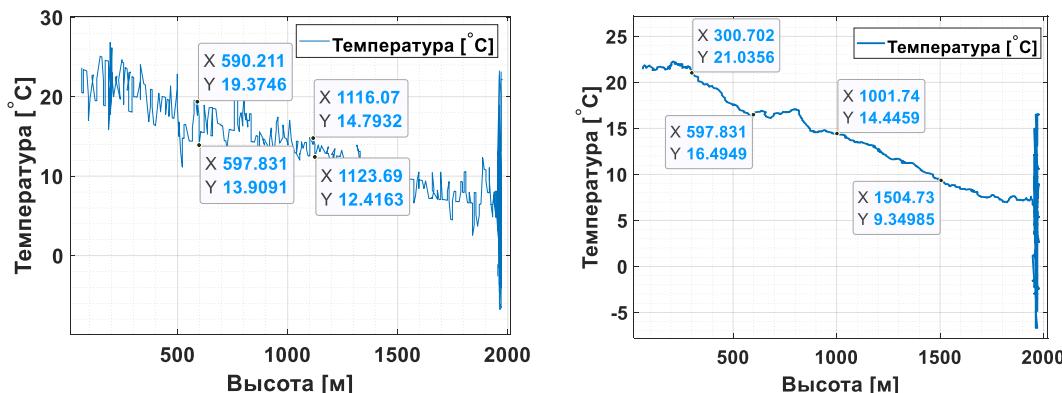


Рисунок 4 – Значения температуры по данным рейса Мезень – Архангельск 23.05.2023 без сглаживания – слева. Температура со сглаживанием – справа

Температура воздуха у земной поверхности 22 °C. Прогнозные значения температуры на высотах 300, 600, 1500, и 3000 м составляли 22 °C, 16 °C, 8 °C и -5 °C соответственно.

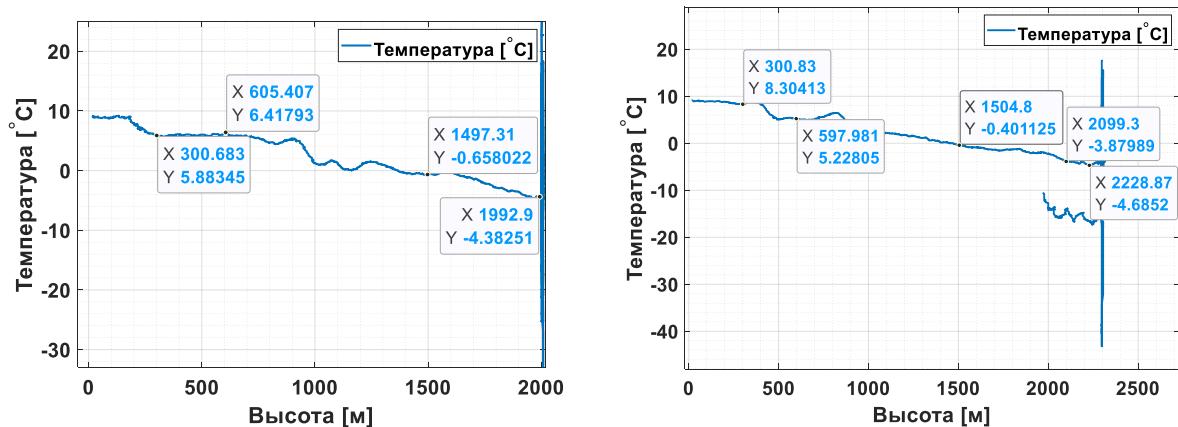


Рисунок 5 – Значения температуры по данным рейсов 01.06.23. Архангельск – Мезень слева, Мезень – Архангельск справа

Прогнозные значения температуры по площадям для высот 300, 600, 1500 м составили 5 °C, 8 °C, 1 °C. По данным геометрической и барометрической высот температура составила 5,8 °C, 6,4 °C, -0,6 °C, на соответствующих высотах.

Температура по данным прогностического зонда Windy (модель ECMWF)⁷ для высот 300, 600, 1500 и 2100 м составила 9 °C, 6 °C, 0 °C, -4 °C соответственно. По данным АЗН-В для рейса Архангельск – Мезень получили значения 5,8 °C, 6,4 °C, -0,6 °C и -4,3 °C, для рейса Мезень – Архангельск значения составили 8,3 °C, 5,2 °C, -0,4 °C, -3,8 °C.

Для рейса Мезень – Архангельск 01.06.23, в связи со снижением ВС в Архангельской зоне УВД, наблюдаются значения температуры в районе -15 °C (рис. 5.). Эти данные следует исключать. Можно сделать вывод, что необходимо использовать в одном наборе данных значения только для набора высоты или посадки ВС.

Отметим, что оценка полученных параметров температуры является темой отдельного исследования и относится к области метеорологии.

Для верификации результатов выполнено сравнение полученных значений температуры со значениями модели прогноза погоды ECMWF, разработанной Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды.

При моделировании выполнено сравнение оценки температуры, рассчитанной по формуле (14) с удалением аномальных значений, со значениями прогностического зонда Windy (ECMWF модель)⁴⁴. Значения модели ECMWF были взяты для высот: 300-3000 м, с шагом 100 м. Для данных температуры по данным АЗН-В и модели ECMWF выполнено вычисление RMSE по формуле [Root-mean-square..., s.a.]:

⁴⁴Windy // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.windy.com> (дата обращения: 21.07.2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i|^2} \quad (17)$$

В результате моделирования установлено, что предложенная методика определения температуры может вносить погрешность при горизонтальном движении ВС. Температура рассчитывалась от 300 м до высоты, равной 85% высоты горизонтального полета ВС ($H_{ГП} * 0,85$). На рис. 6 приведены графики полученных значений температуры и прогнозных значений модели ECMWF.

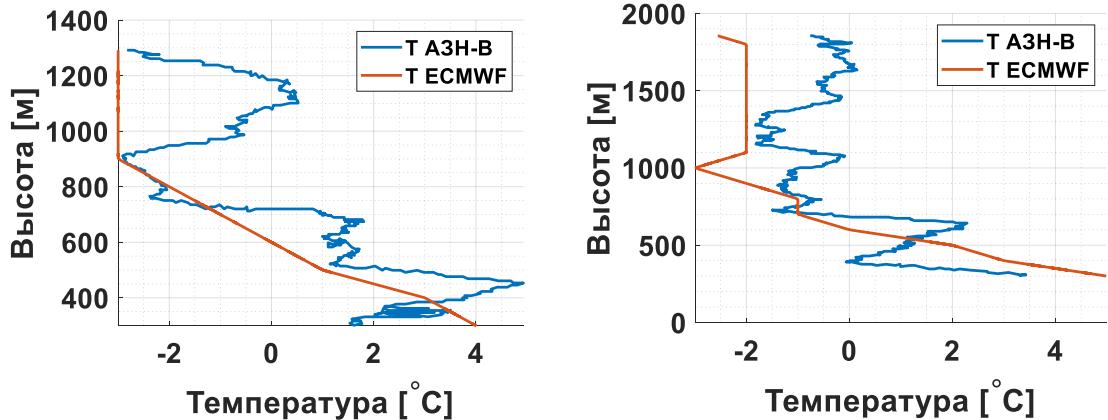


Рисунок 6 – Архангельск – Мезень 20.06.2023 – слева. Мезень – Архангельск 20.06.2023 – справа

Приведем пример температуры по данным рейса с максимальной RMSE=2,7 °C и рейса с минимальной RMSE=0,86 °C (рис. 7).

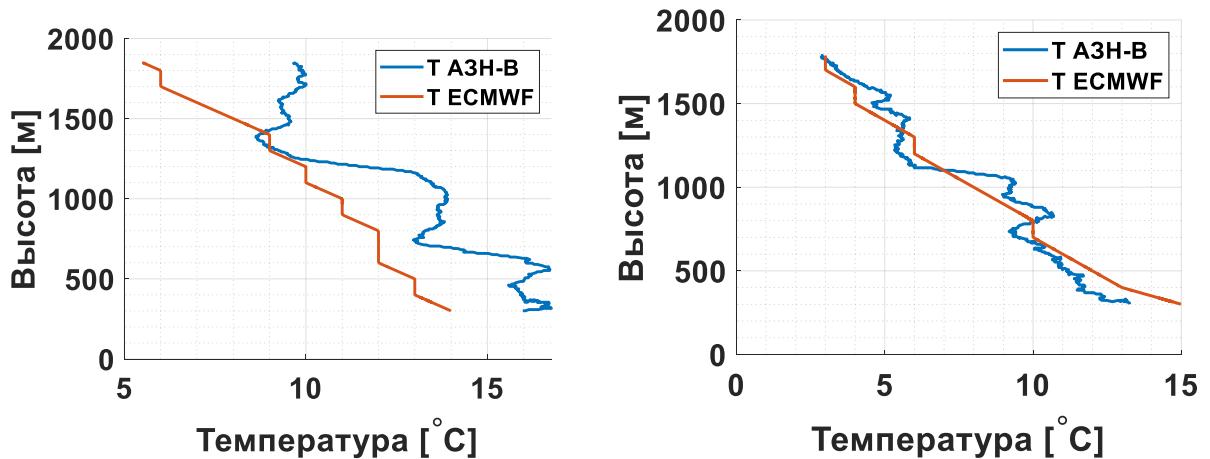


Рисунок 7 – Архангельск – Мезень 27.06.2023 – слева. Архангельск – Мезень 06.07.2023 – справа

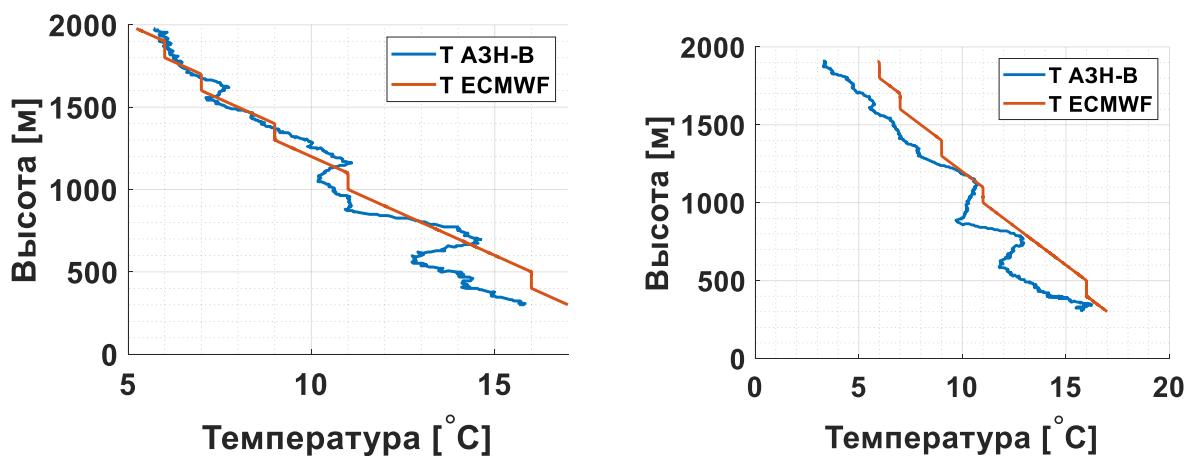


Рисунок 8 – Мезень – Архангельск 02.07.23 – слева. Архангельск – Мезень 02.07.23 – справа

Таблица 3 – Результаты сравнения температуры по данным АЗН-В и ECMWF

Рейс, дата	RMSE, °C	МО разности Температуры АЗН-В и модели ECMWF, °C	СКО разности Температуры АЗН-В и модели ECMWF, °C
Мезень – Архангельск, 20.06.2023	1,53	-0,73	1,35
Архангельск – Мезень, 20.06.2023	1,77	-1,12	1,4
Мезень – Архангельск, 27.06.2023	0,94	0,23	0,9
Архангельск – Мезень, 27.06.2023	2,7	-2,42	1,22
Мезень – Архангельск, 29.06.2023	1,6	-1,41	0,74
Архангельск – Мезень, 29.06.2023	3,32	-0,9	3,19
Мезень – Архангельск, 02.07.2023	0,98	0,4	0,9
Архангельск – Мезень, 02.07.2023	1,72	1,52	0,81
Мезень – Архангельск, 04.07.2023	1,93	1,74	0,84
Архангельск – Мезень, 04.07.2023	1,81	1,24	1,32
Мезень – Архангельск, 06.07.2023	1,58	-0,85	1,33
Архангельск – Мезень, 06.07.2023	0,86	0,021	0,86

Среднее значение RMSE для 11 рейсов равно 1,58 °C (рейс Архангельск – Мезень, 29.06.2023 не учитывался).

Следует отметить, что в данных рейса Архангельск – Мезень 29.06.2023 были обнаружены аномальные значения геометрической высоты АЗН-В: наблюдался сбой в работе ГНСС. Данные были получены только до удаления 42 км и высоты 1200 м. Эти данные необходимо исключить. Значения

приведены в таблице для демонстрации возникающих ошибок при возникновении аномалий ГНСС АЗН-В.

Для рейса Архангельск – Мезень 04.07.2023 при первичной обработке были получены аномальные значения температуры. Анализ графиков показал, что усреднение выполнено некорректно. Уменьшение количества отсчетов позволило восстановить значения температуры.

В методике следует использовать данные АЗН-В от ВС, выполняющего набор высоты. Данные от ВС, выполняющего посадку, могут быть использованы при обработке накопленной статистики от нескольких ВС МНК.

На основе представленных выше данных, в рамках предлагаемой методики, примем, что максимально допустимое значение СКП температуры в воздухе не должно превышать 3,5 °С. В данном случае речь идет о суммарной погрешности температуры в воздухе: температуры, полученной по данным АЗН-В, и температуры прогнозного значения вышележащего слоя.

Результаты моделирования подтверждения геометрической высоты ГНСС АЗН-В представлены на рис. 9 и 10. При этом приняты следующие обозначения:

- Н баро – полученные от ВС данные поля Flight Level³ АЗН-В, пересчитанные в барометрическую высоту полета;
- Н ГНСС к MSL – приведенная к MSL геометрическая высота АЗН-В;
- Н*NIC BARO – произведение пересчитанной для реальной атмосферы высоты полета ВС и показателя качества NIC_{BARO} АЗН-В.

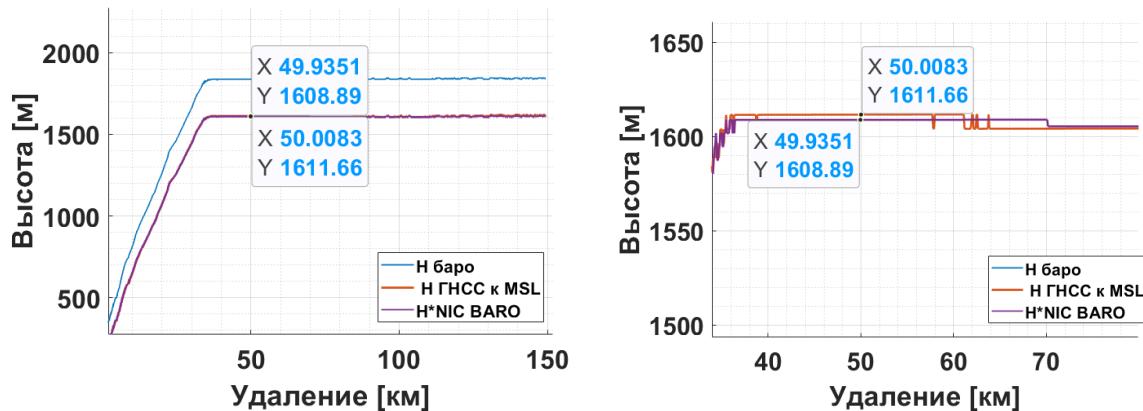


Рисунок 9 – Результаты моделирования подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В

На рис. 9 представлены результаты моделирования подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В. Разность значений высоты, рассчитанных для реальной атмосферы и приведенных к уровню MSL значений геометрической высоты АЗН-В, не превышает допустимый интервал. Следовательно, по представленным графикам можно сделать вывод, что выше эшелона перехода данные геометрической высоты АЗН-В подтверждаются на протяжении всего полета ВС.

Для демонстрации работоспособности методики на рис. 10 приведен пример неподтвержденных данных.

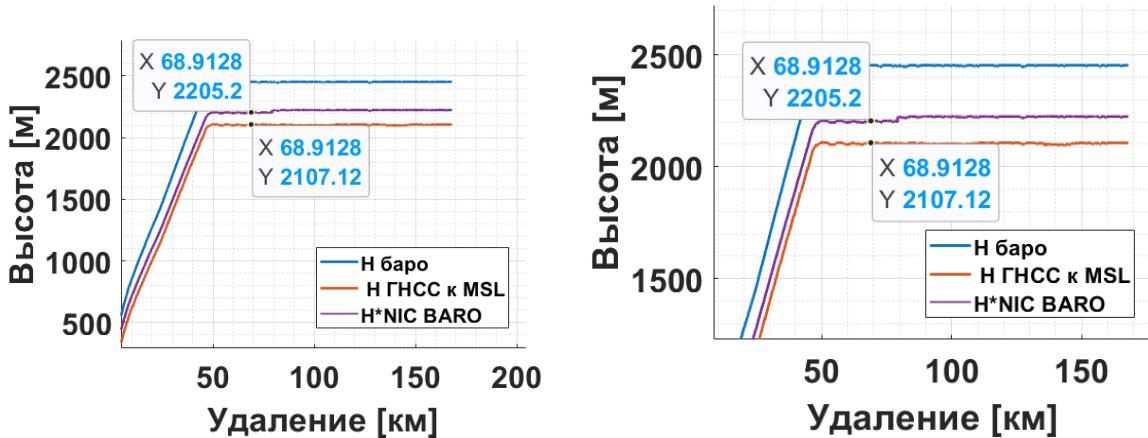


Рисунок 10 – Результаты моделирования подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В

По представленным на рис. 10 данным можно сделать вывод, что данные геометрической высоты не подтверждаются, так как разность приведённой к уровню MSL геометрической высоты и рассчитанной по реальной атмосфере высоты превышает допустимые значения 90 м.

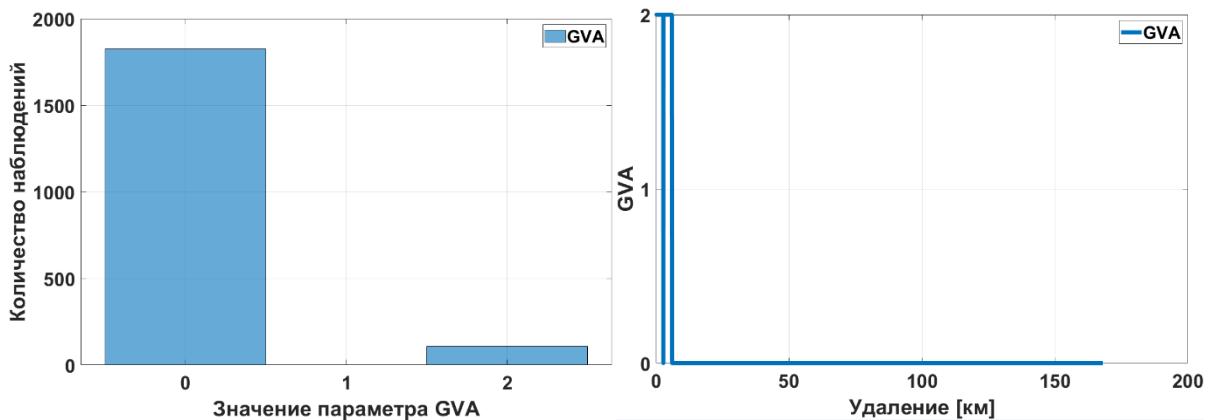


Рисунок 11 – График параметров качества АЗН-В NIC_{BARO} и GVA для рейса с неподтвержденными данными

В приведенном примере параметр GVA=0 игнорируется с целью проверки работоспособности методики.

Оценка погрешностей

Рассмотрим определение допустимого интервала и значения погрешностей для следующих возможных ситуаций:

1. а) Определение температур по воздушной скорости CAS и TAS. Примем, что данные распределены нормально и независимы. Для каждой скорости задано СКП=0,5 м/с. Высота 4500 м.

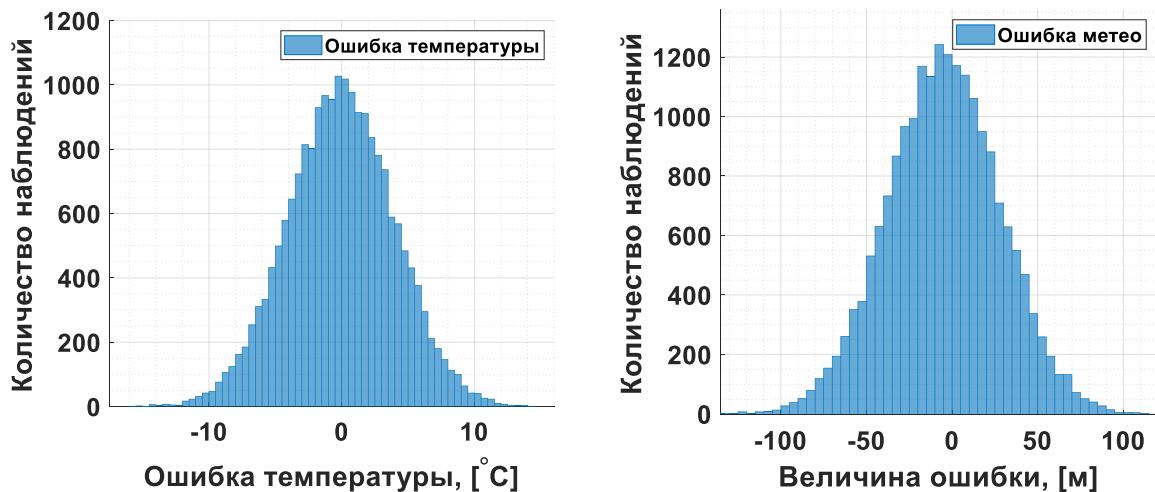


Рисунок 12 – Гистограммы ошибки температуры и отклонения от высоты

СКО отклонения от высоты (далее – S_{Air} , м), вызванная ошибкой определения температуры, составила 27,167 м – отклонение только для заданных погрешностей определения температуры на высоте, без учета наземных ошибок. Все ошибки учтены в допустимом интервале. Допустимый интервал составил 90, 57 м.

б) TAS рассчитывается из скорости CAS по параметрам давления и скорости звука на актуальной высоте. К значениям температуры добавлена ошибка СКП=2 °C. С учетом СКП рассчитывается скорость звука, которая является входным параметром для функции скорости TAS. Здесь определяющей является СКП температуры. Допустимый интервал составил 79,63 м, $S_{Air} = 16,5$ м.

2. Рассмотрим ошибки и величину допустимого интервала при использовании прогнозных значений температуры на высотах. Покажем необходимость сравнения допустимого интервала и максимально допустимой погрешности (90 м).

При использовании прогнозных значений, СКП ошибки температуры принято равным 4,5 °C. Высота 4500 м. Допустимый интервал составил 108,6 м, S_{Air} получена равной 37,01 м. Допустимый интервал превышает максимально допустимую погрешность (90 м). Для высоты 3000 м с заданными ранее значениями СКП допустимый интервал получен равным 89,17 м, $S_{Air} = 26,86$ м. Таким образом, для прогнозных значений температуры с заданным СКП ограничение по высоте составило 3300 м.

Выполним моделирование определения допустимого интервала для значений температуры, полученной из значений воздушной скорости. Зададим только СКП температуры равную 4,1 °C. Высота 4500 м. Допустимый интервал составил 102,6 м, $S_{Air} = 33,01$ м. Допустимый интервал превышает максимально допустимую погрешность равную 90 м. Для высоты 3300 м с заданными ранее значениями СКП, допустимый интервал равен 88,46 м, S_{Air}

=24,5 м. Таким образом, для прогнозных значений температуры с заданным СКП ограничение по высоте составило 3300 м.

Для случая передачи данных температуры с борта ВС (АЗН-В версии 3) примем СКП температуры 1,5 °C, высота 4500 м, допустимый интервал равен 76,59 м, $S_{Air} = 12,39$ м.

Сравнение точности методик можно выполнить по величине допустимого интервала. Наибольшие значения интервала получены для случая использования прогнозных значений. Использование температуры по данным сообщения о воздушной скорости АЗН-В позволит, при наличии данных, использовать актуальные значения температуры и несколько уменьшить размеры допустимого интервала в сравнении с прогнозными значениями.

Наиболее точным способом является передача температуры напрямую с борта ВС в составе сообщения АЗН-В версии 3. Использование оборудования 3 версии позволит повысить точность предлагаемого метода подтверждения данных.

Приведем преимущества модифицированной методики. Предлагаемая модифицированная методика позволяет использовать полученные по передаваемым данным АЗН-В, скорректированные значения температуры. Приведение к уровню MSL позволяет выполнить подтверждение данных, при выполнении полетов по трассе, для некоторой области выполнения полетов. Таким образом, расширяется область применения предлагаемой методики. Важной отличительной чертой предлагаемой модификации является использование допустимого интервала. Применение интервала позволяет учесть допустимые ошибки определения метеопараметров атмосферы и значения показателей качества, передаваемых по ЛПД АЗН-В. Значения интервала вычисляются итеративно.

Дискуссия

В работе [Semke et al., 2017], в результате выполненного анализа сигналов АЗН-В, авторами выявлены несоответствия барометрической и геометрической высот, а также обнаружены аномалии в виде перепадов по высоте. Выявленные аномалии представляют собой совместное скачкообразное изменение данных о высоте ВС. О значениях показателей качества данных АЗН-В в своем исследовании авторы не сообщают.

В работе [Ali et al., 2019] проанализированы данные о высоте ВС АЗН-В, в том числе и индикаторы качества высоты. Авторы работы [Ali et al., 2019] приходят к выводам о целесообразности использования параметров NIC BARO и SIL в будущих наземных и бортовых приложениях в качестве барьера.

В работе [Подтверждение достоверности..., 2023] предложена методика подтверждения данных геометрической высоты. Необходимо отметить, что методика [Подтверждение достоверности..., 2023] не учитывает ошибки метеопараметров и предполагает проверку данных в небольшой окрестности относительно порога ВПП.

Рассмотрим методы определения температуры по данным АЗН-В в контексте решаемой задачи. Предложенный в работе [De Leege et al., 2013] метод определения температуры, опять же, применительно к поставленной задаче, обладает некоторыми недостатками. Авторы работы [De Leege et al., 2013] принимают геометрическую высоту как истинное местоположение ВС. К данным давления, полученного из барометрической высоты, и геометрической высоты выполняется подгонка многочлена, описывающего зависимость этих величин.

Для полученного многочлена, применяя закон идеального газа и предположение гидростатического равновесия, авторами работы [De Leege et al., 2013] выполняется оценка температуры. Необходимо отметить, что использование зависимости геометрической высоты и давления при определении температуры, применительно к решаемой задаче, не позволит выполнить проверку данных.

В работе [Stone et al., 2015] выполняется оценка среднего слоя атмосферы (авторы используют слой толщиной 1500-2000 м), для реализации предложенного авторами способа определения температуры необходимо использование 2 ВС или одного ВС, выполняющего набор высоты или снижение. В результате авторы находят температуру слоя. Методика применима на высотах более 1000 м и для толщины слоя 1500-2000 м. Применительно к поставленной задаче необходимо определить температуру на высотах 300-3000 м.

Следует отметить, что модифицированная методика, разработанная на основе [Подтверждение достоверности..., 2023], также предполагает коррекцию значений метеопараметров атмосферы по данным метеозондов.

На рис. 11 представлены дополнительные параметры качества АЗН-В полета ВС с неподтвержденными предлагаемой методикой данными. Параметр GVA на удалении от 6 км до 167 км равен нулю, что интерпретируется как неизвестная или превышающая 150 м вертикальная точность. Значения GVA согласуются с полученными по предлагаемой методике выводами о недостоверности данных геометрической высоты ГНСС.

Анализ таблиц 1 и 2 показывает, что при коррекции температуры в точке ВС, погрешность будет определяться в первую очередь ошибками перевода CAS и разрешением скоростей TAS и IAS. Отметим, что значения СКП ошибок следует задавать по накопленной статистике полученных данных.

Анализ значений температуры модели ECMWF и температуры, полученной по данным геометрической и барометрической высот, показал, что для данных, полученных по значениям ВС, выполняющих посадку, возможны значительные отклонения температуры от значений модели ECMWF. Смещение может быть связано с выполнением предпосадочного маневра ВС либо с точностью самой модели прогнозирования в данный момент времени.

Отметим, что в дальнейшем необходимо предусмотреть механизм учета больших отклонений значений температуры, полученных с использованием геометрической и барометрической высот.

Первичное сглаживание выполняется по набору данных, то есть по накопленным значениям. Модификация способа сглаживания (фильтрации) данных может быть использована для повышения точности определения температуры. В дальнейших исследованиях необходимо выполнить проверку точности получаемых данных с использованием реальных значений температуры на высотах. Также, при определении температуры по данным геометрической и барометрической высот следует учесть особенности выполнения взлета и захода на посадку.

Следует выполнить анализ ошибок передаваемой в сообщениях АЗН-В версии 3 температуры. Ожидается, что значения ошибок будут совпадать с ошибками AMDAR, так как температура передается напрямую и используются одни и те же датчики ВС.

Выводы

Моделирование показало, что основной вклад в погрешность определения высоты полета ВС для реальной атмосферы вносит температура. От ее величины зависит разность значений высоты, рассчитанной для реальной атмосферы, и приведенной к уровню MSL геометрической высоты.

Для коррекции значений температуры на высоте необходимо использовать данные температуры, полученные по передаваемым значениям барометрической и геометрической высот. Геометрическая высота может быть подтверждена в случае отсутствия данных наземного вектора и при наличии данных скоростей TAS и IAS.

Выполнено моделирование определения параметров атмосферы по данным TAS и IAS. При моделировании были заданы экстремальные значения параметров атмосферы, в соответствии с MIL-HDBK-310. Моделирование вычисления параметров атмосферы по данным IAS и TAS показало, что предложенная методика коррекции позволяет вычислить значения температуры и плотности.

В результате анализа данных температуры, полученных из сообщений ВС, выполняющего набор высоты, и сравнения с моделью ECMWF, установлено, что максимальное значение RMSE составило 1,93 °C. Среднее значение RMSE для 11 рейсов составило 1,58 °C. Точность предложенного способа определения температуры можно повысить путем использования дополнительных данных о параметрах ВС, а также модификацией методов фильтрации данных. Максимальное RMSE по данным ВС, выполняющего снижение, составило 2,7 °C.

Следует отметить, что необходима верификация методики определения температуры с использованием фактических значений температуры на высотах. Также необходим дальнейший анализ и модификация предложенной методики с целью повышения согласованности и точности.

Предложенная методика получения значений температуры по передаваемым в стандартном сообщении АЗН-В данным геометрической и барометрической высот может быть использована для контроля прогнозных значений или с целью получения значений температуры на высотах на

аэродромах не обладающих развитой метеорологической инфраструктурой, таких как аэродромы МВЛ, а также на посадочных площадках.

Используемый при подтверждении данных геометрической высоты АЗН-В индикатор качества высоты NIC_{BARO} позволяет использовать только прошедшие на ВС проверку значения барометрической высоты. Параметр GVA , при выполнении вычисления максимально допустимого интервала, позволяет учитывать геометрическую точность ГНСС.

Отличительной особенностью представленной модификации методики [Подтверждение достоверности..., 2023] является итеративное вычисление максимально допустимого интервала, что позволяет учитывать ошибки определения метеопараметров.

Необходимо подчеркнуть возможность использования предложенной в работе модифицированной методики с данными стандарта АЗН-В третьей версии. Предложенная модифицированная методика применима для подтверждения данных геометрической высоты АЗН-В при выполнении полетов МВЛ.

Библиографический список

- Архив погоды в Архангельске // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске (дата обращения: 21.07.2023).
- Архив погоды в Мезени // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Мезени (дата обращения: 21.07.2023).
- Задачник по общей метеорологии / А. Г. Бродо, С. В. Зверева, А. В. Курбатова, Т. В. Ушакова; под ред. В. Г. Морачевского. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. 312 с.
- Калинцев А. С. Модифицированная методика подтверждения данных АЗН-В с коррекцией температуры при оценке высоты полета (часть 1) // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 4. С. 28-49. DOI 10.51955/2312-1327_2023_4_28.
- Калинцев А. С. Подтверждение данных АЗН-В в аэродромной зоне методом стробирования / А. С. Калинцев, Е. А. Рубцов, А. П. Плясовских // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 7. С. 39-49. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-7-39-49.
- Плясовских А. П. Метод оценки достоверности информации АЗН-В в системе наблюдения и контроля аэродромного движения / А. П. Плясовских, Е. А. Рубцов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2019. № 3(24). С. 90-102. EDN SMYDUH.
- Плясовских А. П. Теоретическое обоснование подтверждения достоверности информации о местоположении объекта на рабочей площади аэродрома / А. П. Плясовских, Е. А. Рубцов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 3. С. 32-40. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-3-32-40. EDN JWKBQM.
- Подтверждение достоверности сообщений АЗН-В путем оценки высоты полета воздушного судна / А. П. Плясовских, Е. А. Рубцов, А. С. Калинцев, В. Ю. Давиденко // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 1(36). С. 118-133. DOI 10.51955/2312-1327_2023_1_118.
- Таблицы физических величин: справочник / В. Г. Аверин, Б. А. Аронзон, Н. С. Бабаев и др.; под ред. акад. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1006 с.
- Ali B. S. A study on geometric and barometric altitude data in automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) messages / B. S. Ali, N. A. Taib // The Journal of Navigation, 2019. Vol. 72. № 5. pp. 1140-1158.
- de Haan S. An improved correction method for high quality wind and temperature observations derived from Mode-S EHS. KNMI, 2013b. 54 p.

de Haan S. The use of a commercial ADS-B receiver to derive upper air wind and temperature observations from Mode-S EHS information in The Netherlands / S. de Haan, M. de Hajj, J. Sondij. De Bilt, The Netherlands : KNMI, 2013a. 45 p.

De Leege A. M. P. Using Automatic Dependent Surveillance-Broadcast for Meteorological Monitoring / A. M. P. De Leege, M. M. van Paassen, M. Mulder // Journal of Aircraft. 2013. № 50(1). P. 249–261. doi:10.2514/1.c031901.

Indicated Airspeed from True Airspeed Calculation // Mathworks // [Электронный ресурс]. URL: <https://uk.mathworks.com/help/aeroblks/indicated-airspeed-from-true-airspeed-calculation.html> (дата обращения: 18.04.2023).

Lowry J. T. Performance of Light Aircraft (AIAA Education Series). Washington: DC, 1999. 475 p.

Root-mean-square error between arrays// Mathworks // [Электронный ресурс]. URL: <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/rmse.html> (дата обращения: 21.07.2023).

Semke W. Analysis of radar and ADS-B influences on aircraft detect and avoid (DAA) systems / W. Semke, N. Allen, A. Tabassum, M. Mccrink [et al.] // Aerospace. 2017. Т. 4. № 3. P. 49. DOI:10.3390/aerospace4030049.

Stone E. K. Introducing an approach for extracting temperature from aircraft GNSS and pressure altitude reports in ADS-B messages / E. K. Stone, M. Kitchen // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2015. Т. 32. №. 4. С. 736-743.

References

Ali B. S., Taib N. A. (2019). A study on geometric and barometric altitude data in automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) messages. *The Journal of Navigation*. 72(5): 1140-1158.

Averin V. G., Aronzon B. A., Babaev N. S. (1976). Tables of physical quantities: reference book. Moscow: Atomizdat Publ., 1976. 1006 p. (in Russian)

Broido A. G., Zvereva S. V., Kurbatova A. V., Ushakova T. V. (1984). Book of problems on general meteorology / Eds. V. G. Morachevskogo. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1984. 312 p. (in Russian).

de Haan S. (2013b). An improved correction method for high quality wind and temperature observations derived from Mode-S EHS. KNMI, 2013. 54 p.

de Haan S., de Hajj M., Sondij J. (2013a). The use of a commercial ADS-B receiver to derive upper air wind and temperature observations from Mode-S EHS information in The Netherlands. De Bilt, The Netherlands : KNMI, 2013. 45 p.

De Leege A. M. P., van Paassen M. M., Mulder M. (2013). Using Automatic Dependent Surveillance-Broadcast for Meteorological Monitoring. *Journal of Aircraft*. 50(1): 249–261. doi:10.2514/1.c031901.

Indicated Airspeed from True Airspeed Calculation. *Mathworks*. Available at: <https://uk.mathworks.com/help/aeroblks/indicated-airspeed-from-true-airspeed-calculation.html> (accessed 18 April 2023).

Kalintsev A. S. (2023). Modified methodology for confirming ADS-B data with correction of temperature values when estimating the flight altitude (part 1). *Crede Experto: transport, society, education, language*. 4: 28-49. DOI 10.51955/2312-1327_2023_4_28. (in Russian)

Kalintsev A. S., Rubtsov E. A., Plyasovskikh A. P. (2021). Confirmation of ADS-B data in the aerodrome traffic zone by gating method. *T-Comm*. 15(7): 39-49. (in Russian)

Lowry J. T. (1999). Performance of Light Aircraft (AIAA Education Series). Washington: DC, 1999. 475 p.

Plyasovskikh A. P., Rubtsov E. A. (2019). Reliability estimation method of ADS-B information for surface movement guidance and control system. *Vestnik Saint Petersburg State University of Civil Aviation*. 3(24): 90-102. (in Russian)

Plyasovskikh A. P., Rubtsov E. A. (2020). Theoretical substantiation of confirmation of the validity of information about the location of the object on the work area of the aerodrome. *T-Comm*. 14(3): 32-40. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-3-32-40. (in Russian)

- Plyasovskikh A. P., Rubtsov E. A., Kalintsev A. S., Davidenko V. Yu.* (2023). Confirmation of ADS-B Messages by aircraft flight altitude. *Crede Experto: transport, society, education, language.* 2023. № 1(36): 118-133. DOI 10.51955/2312-1327_2023_1_118. (in Russian)
- Root-mean-square error between arrays. *Mathworks.* Available at: <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/rmse.html> (accessed: 21 July 2023).
- Semke W., Allen N., Tabassum A., Mccrink M. [et al.].* (2017). Analysis of radar and ADS-B influences on aircraft detect and avoid (DAA) systems. *Aerospace.* 4(3): 49. DOI:10.3390/aerospace4030049.
- Stone E. K., Kitchen M.* (2015). Introducing an approach for extracting temperature from aircraft GNSS and pressure altitude reports in ADS-B messages. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.* 32(4): 736-743.
- Weather archive in Arkhangelsk. (2023). Available at: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске (accessed 21 July 2023) (in Russian)
- Weather archive in Mezen. (2023). Available at: URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Мезени (accessed 21 July 2023). (in Russian)

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 621.396.94
DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_113

УПРАВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИЕЙ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ИСТОЧНИКОВ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Борис Валентинович Лежанкин,
orcid.org/0000-0001-5504-0884,

кандидат технических наук, доцент

Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),

ул. Коммунаров, 3

Иркутск, 664047, Россия

lezhbor@mail.ru

Вячеслав Владимирович Ерохин,
orcid.org/0000-0002-5549-3952,

доктор технических наук

Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),

ул. Коммунаров, 3

Иркутск, 664047, Россия

ww_erohin@mail.ru

Николай Павлович Малисов,
orcid.org/0000-0002-9398-2028,

Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),

ул. Коммунаров, 3

Иркутск, 664047, Россия

malisovnik@mail.ru

Аннотация. В реальных условиях применения для высокоточного позиционирования и управления траекторией беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при полете по маршруту проявляется недостаточная помехозащищенность и точность функционирования приемников спутниковых навигационных систем. В связи с этим актуальным является исследование возможных методов и средств обеспечения высокоточных навигационных определений, в том числе на основе комплексной обработки сигналов от различных источников навигационной информации при решении задачи вывода БПЛА в терминальное множество.

В статье представлены результаты разработки алгоритма управления траекторией БПЛА на основе методов статистической теории оптимального управления, реализация которого позволит повысить точность выдерживания заданного маршрута полета. Рассмотрены характеристики для анализа ошибок выдерживания траектории полета.

Приведены результаты моделирования и исследования характеристик алгоритма управления траекторией при различных конфигурациях источников навигационной

информации (ИНИ) и показана зависимость точности выдерживания заданного маршрута полета БПЛА от ошибок оценок навигационных параметров.

Ключевые слова: управление траекторией, беспилотный летательный аппарат, алгоритм Летова-Калмана, источники навигационной информации, автоматическое зависимое наблюдение.

CONTROL OF THE FLIGHT PATH OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH DIFFERENT CONFIGURATIONS OF NAVIGATION INFORMATION SOURCES

*Boris V. Lezhankin,
orcid.org/0000-0001-5504-0884,
Candidate of technical sciences
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
lezhbor@mail.ru*

*Vyacheslav V. Erokhin,
orcid.org/0000-0002-5549-3952,
Doctor of Technical Science
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
ww_erohin@mail.ru*

*Nikolay P. Malisov,
orcid.org/0000-0002-9398-2028,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
malisovnik@mail.ru*

Abstract. In real conditions of application for high-precision positioning and trajectory control of unmanned aerial vehicles (UAVs) when flying along a route, insufficient noise immunity and operating accuracy of satellite navigation system receivers are manifested. In this regard, it is relevant to study possible methods and means of providing high-precision navigation definitions based on complex processing of signals from various sources of navigation information when solving the problem of displaying a UAV in a terminal set.

The article presents the results of developing a UAV trajectory control algorithm based on methods of statistical optimal control theory, the implementation of which will improve the accuracy of maintaining a given flight route. The characteristics for analyzing errors in maintaining the flight path are considered.

The results of modeling and research of the characteristics of the trajectory control algorithm for various configurations of navigation information sources (NIS) are presented and the dependence of the accuracy of maintaining a given UAV flight route on errors in estimating navigation parameters is shown.

Keywords: trajectory control, unmanned aerial vehicle, Letov-Kalman algorithm, sources of navigation information, automatic dependent surveillance.

Введение

В контексте решения широкого круга задач, в частности, автономного картографирования, БПЛА должен реализовывать следующие функции: инициализировать операцию и выполнять взлет, осуществлять полет в назначенный пункт маршрута с высокой точностью при создании своей карты, выполнять оценку качества сгенерированной карты и реализовывать программу возврата в точку вылета. Для эффективного управления траекторией полета БПЛА на каждом этапе требуется высокоточное определение навигационных параметров [Гончаренко и др., 2019; Применение..., 2021; Формирование..., 2008; Huttunen, 2019]. Высокоточное определение параметров траекторного движения возможно обеспечить благодаря глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС). Системы траекторного управления современных БПЛА получают координатно-временную информацию от ГНСС. При этом применение ГНСС в качестве основного средства навигации ограничивают проблемы, которые возникают в реальных условиях эксплуатации. В частности, ГНСС не всегда может обеспечить выполнение требований по непрерывности и достоверности навигационно-временных определений [Скрыпник и др., 2020]. Также следует учесть, что ввиду большого удаления потребителей от навигационных космических аппаратов (НКА) уровень сигнала на входе приемника спутниковой навигации (ПСН) составляет всего 10–16 Вт, что значительно снижает помехозащищенность системы [Серебренников и др., 2017]. В-третьих, в последнее время актуальной проблемой стал спуфинг – преднамеренное внесение изменений в псевдодальность сигнала, поступающего от навигационного космического аппарата (НКА) [Арефьев и др., 2021; Пешехонов, 2022]. Кроме того, существует вероятность ограничения доступа Российских потребителей к возможности применения зарубежных ГНСС, что приведет к значительному уменьшению числа спутников рабочего созвездия и может сделать невозможным решение навигационной задачи на борту БПЛА, либо значительно ухудшить точность позиционирования. При этом погрешности позиционирования будут приводить к ошибкам выдерживания заданного маршрута полета.

В работе [Пешехонов, 2022] рассматриваются функциональные возможности навигационных систем, гипотетически способных дополнить или заменить ГНСС. В частности, комплексирование ГНСС и инерциальной навигационной систем в рамках построения интегрированной системы навигации (ИСН) позволит повысить точность позиционирования БПЛА [Емельянцев и др., 2016]. При управлении траекторией полета БПЛА требуется надежный прием сигналов источников навигационной информации (ИНИ) на всех этапах полета. В дополнение к спутниковой навигации может быть использована УКВ линия передачи данных на основе вещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В) для измерений псевдодальностей [Межетов и др., 2020]. При этом наземные станции (НС) системы представляют собой навигационные опорные точки (НОТ) [Шестаков и др., 2014].

Поэтому на данном этапе актуальными представляются исследования степени повышения точности позиционирования и выдерживания заданной траектории БПЛА при различных конфигурациях источников навигационной информации (ИНИ).

Цель работы – синтез алгоритма функционирования системы траекторного управления полетом БПЛА и исследование влияния конфигурации источников навигационной информации на точностные характеристики навигационного комплекса.

Структура ИСН и динамическая модель беспилотного летательного аппарата

Способом повышения позиционирования и выдерживания заданной траектории БПЛА является применение ИСН, состав которой представлен на рисунке 1. Определение параметров траектории БПЛА будет осуществляться на основе псевдодальномерных измерений до НОТ АЗН-В и НКА, что позволит увеличить число наблюдений при оценке переменных состояния [Оценка эффективности..., 2012].

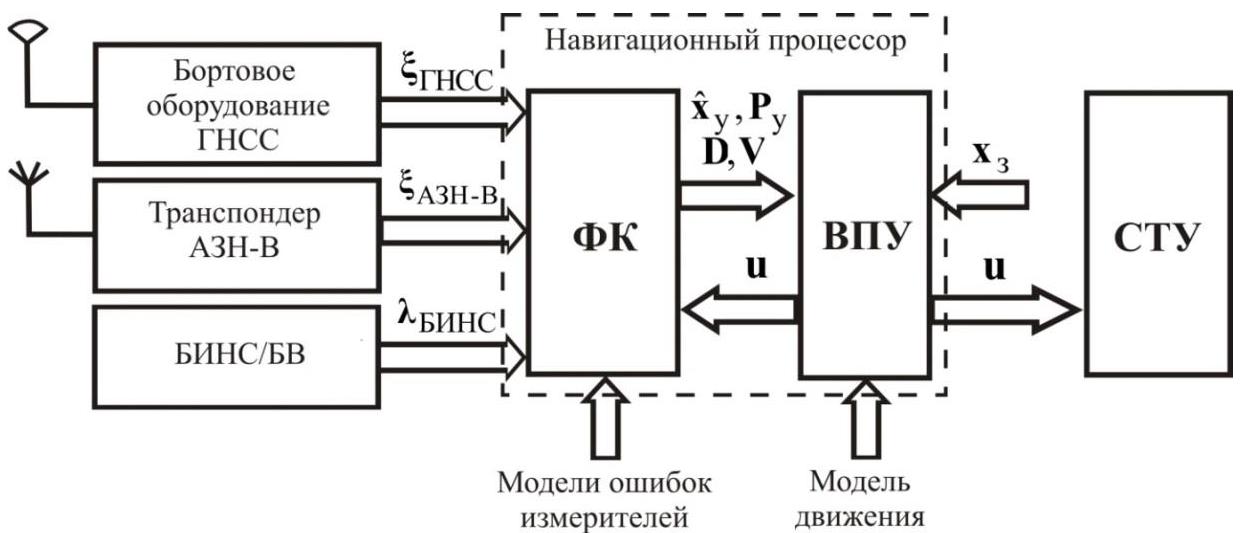


Рисунок 1 – Состав ИСН: СТУ – система траекторного управления; ФК – фильтр Калмана; ВПУ – вычислитель параметров управления

Принципы организации навигационных определений в ИСН для представленного варианта конфигурации ИНИ проиллюстрированы на рисунке 2.

Математическая модель, которая выражает полет БПЛА (рисунок 3), в работе представлена в виде системы [Воронов и др., 2011]:

$$\begin{cases} x' = V \cos \psi + v_x, \\ z' = V \sin \psi + v_z, \\ \psi' = \omega_{\max} u, \end{cases} \quad (1)$$

где x и z – координаты БПЛА; ψ – угол поворота траектории; V – скорость; v_x и v_z – составляющие вектора скорости ветра; ω – угловая скорость; u – управление $|u| \leq 1$.

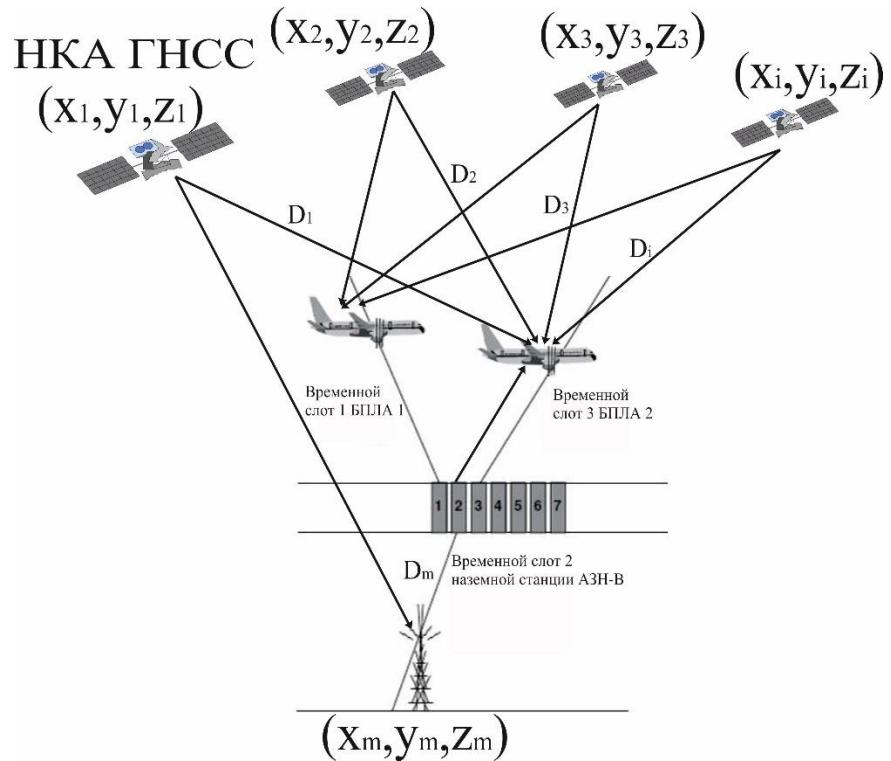


Рисунок 2 – Вариант конфигурации ИНИ и принцип обмена данным в АZh-В с УКВ ЛПД режима 4

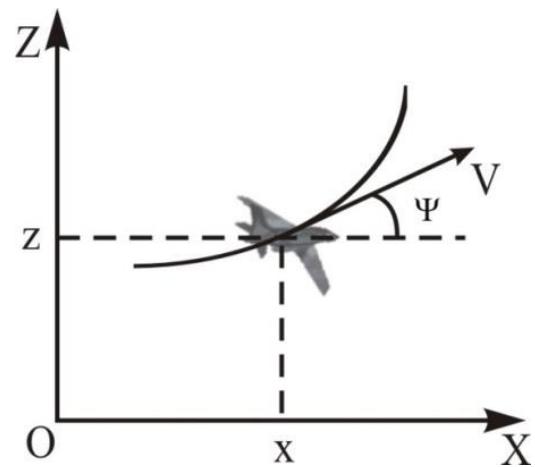


Рисунок 3 – Параметры траектории БПЛА

Постановка задачи

Фактический курс полета БПЛА вычисляются на основе текущих координат:

$$\psi = \arctg \left[\frac{y_i - (y + \Delta y)}{x_i - (x + \Delta x)} \cos \frac{x + \Delta x}{R} \right],$$

где x_i, y_i – координаты i -того пункта маршрута (ПМ); Δx и Δy – ошибки определения координат; R – радиус Земли.

Координатные ошибки Δx и Δy влияют на точность определения курса и выдерживания заданного маршрута полета. Поэтому модель измеренных навигационно-временных параметров (НВП) предлагается представить следующим образом:

$$\lambda_v = \mathbf{x}_v + \Delta \mathbf{x}_v, \quad (2)$$

где \mathbf{x} – вектор истинных значений, $\Delta \mathbf{x}$ – вектор погрешностей измерений.

Погрешности измерений подсистем объединим в единый вектор:

$$\bar{\lambda}_{\text{ИССН}}^i = \left| \bar{\lambda}_{\text{ИНС}}^i, \bar{\lambda}_{\text{СРНС}}^i, \bar{\lambda}_{\text{АЗН}}^i \right|^T \quad \Delta \mathbf{x} = \left| \Delta \mathbf{x}_{\text{БИНС/БВ}}, \Delta \mathbf{x}_{\text{ГНСС}}, \Delta \mathbf{x}_{\text{АЗН-В}} \right|^T, \quad (3)$$

где $\Delta \mathbf{x}_{\text{БИНС/БВ}}$ – вектор погрешностей измерения навигационных параметров БИНС и БВ; $\Delta \mathbf{x}_{\text{ГНСС}}$, $\Delta \mathbf{x}_{\text{АЗН-В}}$ – вектора погрешностей измерения навигационных параметров ПСН и транспондера АЗН-В.

Уравнение сообщения для вектора состояния (3) представим в виде:

$$\Delta \mathbf{x}_{v+1} = \Phi_{v+1/v} \Delta \mathbf{x}_v + \mathbf{G}_{v+1} \mathbf{w}_v, \quad (4)$$

где $\Phi_{v+1/v} \cong \mathbf{I} + \mathbf{F}_v dT + \dots$ – переходная матрица состояния системы на шаге T ; \mathbf{F} – матрица динамики; $dT = t_{v+1} - t_v$ – временной интервал; $\Delta \mathbf{x} = \left| \Delta x, \Delta V_x, \Delta y, \Delta V_y, \Delta z, \Delta V_z, \Delta D, \Delta \dot{D} \right|^T$ – вектор ошибок навигационных измерителей; \mathbf{G}_{v+1} – матрица, входных шумов \mathbf{w}_v с ковариациями \mathbf{Q}_v ; \mathbf{I} – единичная матрица;

Уравнение наблюдения можно представить в виде

$$\mathbf{z}_{v+1} = \mathbf{H}_{v+1/v} \Delta \mathbf{x}_v + \mathbf{n}_v, \quad (5)$$

где $\mathbf{z}_v = \left[z_{1,v}, \dots, z_{m,v} \right]^T$ – вектор измерений размерности ($m \times 8$), m – число ИНИ, $\mathbf{H}_{v+1/v}$ – матрица наблюдений ($m \times 8$); \mathbf{n}_v – m -мерный вектор ДБГШ с математическим ожиданием, равным 0, и известной матрицей дисперсий:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_l^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{l+1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_m^2 \end{bmatrix}.$$

Матрица наблюдений \mathbf{H} имеет следующий вид:

$$\mathbf{H}_{v+1/v} = \begin{bmatrix} \frac{x_{1,v} - x_v}{D_{1,v}} & 0 & \frac{y_{1,v} - y_v}{D_{1,v}} & 0 & \frac{z_{1,v} - z_v}{D_{1,v}} & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{x_{l,v} - x_v}{D_{l,v}} & 0 & \frac{y_{l,v} - y_v}{D_{l,v}} & 0 & \frac{z_{l,v} - z_v}{D_{l,v}} & 0 & 1 & 0 \\ \frac{x_{l+1,v} - x_v}{D_{l+1,v}} & 0 & \frac{y_{l+1,v} - y_v}{D_{l+1,v}} & 0 & \frac{z_{l+1,v} - z_v}{D_{l+1,v}} & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{x_{m,v} - x_v}{D_{m,v}} & 0 & \frac{y_{m,v} - y_v}{D_{m,v}} & 0 & \frac{z_{m,v} - z_v}{D_{m,v}} & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

где $D_{i,v} = \sqrt{(x_{i,v} - x_v)^2 + (y_{i,v} - y_v)^2 + (z_{i,v} - z_v)^2}$ – дальность до i -того ИНИ (НКА и НС АЗН-В); x_i, y_i, z_i – координаты i -того ИНИ; x, y, z – координаты БПЛА.

Применительно к уравнениям сообщения и измерения получен реализуемый в навигационном процессоре алгоритм оценивания, который подробно изложен в [Ерохин и др., 2023]. На основе выходных данных ИСН λ_v и ФК $\Delta\hat{\mathbf{x}}_v$ определяется оценка вектора параметров траекторного движения БПЛА

$$\hat{\mathbf{x}}_v = \lambda_v - \Delta\hat{\mathbf{x}}_v,$$

которая поступает в ВПУ для формирования сигналов управления.

Синтез алгоритма управления

В данной статье рассматривается задача синтеза алгоритма управления траекторией полета БПЛА по заданной программной траектории в определенную область пространства (терминальное множество), которая формулируется следующим образом. Для ИСН, состояние которой аппроксимируется моделью (4) при наличии измерений (5), необходимо найти

вектор сигналов управления \mathbf{u} , оптимальный по минимуму функционала качества Летова-Калмана. Ввиду нелинейностей в модели измерений теорема разделения, выводы которой указывают на возможность по отдельности разрабатывать подсистему оценки параметров траекторного движения и подсистему управления (оптимальный регулятор), справедлива приближенно, в том числе для задачи дискретного управления [Меркулов и др., 2018; Свидетельство..., 2016]. В работе используется локальный функционал качества для синтеза алгоритма оптимального управления:

$$J = \min_{\mathbf{U}_1^{T-1}} M \left[\sum_{\nu=1}^T \mathbf{x}_\nu^T \tilde{\mathbf{Q}}_\nu \mathbf{x}_\nu + \mathbf{u}_\nu^T \mathbf{P}_\nu \mathbf{u}_\nu \right] = \min_{\mathbf{U}_1^{T-1}} M \left[\sum_{\nu=1}^T c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu) \right],$$

где $\tilde{\mathbf{Q}}_\nu = \begin{vmatrix} \mathbf{Q}_\nu & -\mathbf{Q}_\nu \\ -\mathbf{Q}_\nu & \mathbf{Q}_\nu \end{vmatrix}$.

Для сокращения записи введен обобщенный вектор $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_3, \mathbf{x}_y)^T$, включающий вектор заданных переменных состояния \mathbf{x}_3 и вектор управляемых координат \mathbf{x}_y , и запишем уравнение [Меркулов и др., 2018]:

$$\mathbf{x}_{\nu+1} = \Phi_{\nu/\nu+1} \mathbf{x}_\nu + \mathbf{B}_\nu \mathbf{u}_\nu + \mathbf{G}_{\nu/\nu+1} \mathbf{n}_{x,\nu},$$

где \mathbf{B}_ν – матрица эффективности управления,

$$\Phi = \begin{vmatrix} \Phi_3 & 0 \\ 0 & \Phi_y \end{vmatrix}, \mathbf{G} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{G}_y \end{vmatrix}, \mathbf{B} = \begin{vmatrix} 0 \\ \mathbf{B}_y \end{vmatrix}, \mathbf{n} = \begin{vmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_y \end{vmatrix}.$$

Решающее правило алгоритма управления $\mathbf{u}_\nu = \mathbf{u}_\nu(\xi_1^{\nu-1})$ представим в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_\nu &= \arg \min_{\mathbf{u}_\nu \in \mathbf{U}} J_\nu = \arg \min_{\mathbf{u}_\nu \in \mathbf{U}} \left\{ \int_{\mathbf{x}} c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu(\xi_1^{\nu-1})) p(\mathbf{x}_\nu | \xi_1^{\nu-1}) d\mathbf{x}_\nu \right\} = \\ &= \arg \min_{\mathbf{u}_\nu \in \mathbf{U}} M \left\{ c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu) \Big|_{\xi_1^{\nu-1}} \right\}. \end{aligned}$$

При этом [Меркулов и др., 2018]:

$$\begin{aligned} J_\nu &= M \left\{ c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu) \Big|_{\xi_1^{\nu-1}} \right\} = \int_{\mathbf{x}} c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu(\xi_1^{\nu-1})) p(\mathbf{x}_\nu | \xi_1^{\nu-1}) d\mathbf{x}_{y,\nu} = \\ &= \int_{\mathbf{x}} c_\nu(\mathbf{x}_\nu, \mathbf{u}_\nu(\xi_1^{\nu-1})) N(\tilde{\mathbf{x}}_\nu | \tilde{\mathbf{R}}_\nu) d\mathbf{x}_{y,\nu} = \tilde{\mathbf{x}}_\nu^T \tilde{\mathbf{Q}}_\nu \tilde{\mathbf{x}}_\nu + \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{Q}}_\nu \tilde{\mathbf{R}}_\nu \} + \mathbf{u}_\nu^T \mathbf{P}_\nu \mathbf{u}_\nu = \\ &= (\Phi_{\nu/\nu-1} \hat{\mathbf{x}}_{\nu-1} + \mathbf{B}_\nu \mathbf{u}_\nu)^T \tilde{\mathbf{Q}}_\nu (\Phi_{\nu/\nu-1} \hat{\mathbf{x}}_{\nu-1} + \mathbf{B}_\nu \mathbf{u}_\nu) + \text{tr} \{ \tilde{\mathbf{Q}}_\nu \tilde{\mathbf{R}}_\nu \} + \mathbf{u}_\nu^T \mathbf{P}_\nu \mathbf{u}_\nu, \end{aligned}$$

где tr – след матрицы.

Используя дискретные уравнения Беллмана, можно получить алгоритм оптимального дискретного управления [Меркулов и др., 2018]:

$$\mathbf{u}_{v-1} = -\mathbf{R}_{v-1} \tilde{\mathbf{x}}_{v-1}, \quad (6)$$

где $\mathbf{R}_{v-1} = \left[\mathbf{K}_v + \mathbf{B}_{v-1}^T \mathbf{P}_v \mathbf{B}_{v-1} \right]^{-1} \mathbf{B}_{v-1}^T \mathbf{P}_v \Phi_{v/v-1}$; $\tilde{\mathbf{x}}_v = \Phi_{v/v-1} \hat{\mathbf{x}}_{v-1} + \mathbf{B}_{v-1} \hat{\mathbf{u}}_{v-1}$; \mathbf{P}_v – матрица, удовлетворяющая уравнению $\mathbf{P}_{v-1} = \Phi_{v/v-1} \mathbf{P}_v \Phi_{v/v-1}^T - \mathbf{L}_{v-1}^T \left[\mathbf{K}_v + \mathbf{B}_{v-1}^T \mathbf{P}_v \mathbf{B}_{v-1} \right] \mathbf{L}_{v-1}$ с граничным условием $\mathbf{P}_r = \mathbf{Q}_1$.

Оптимальный алгоритм в постановке Летова-Калмана запишем в виде [Меркулов и др., 2018]:

$$\mathbf{u}_v = (\mathbf{B}_v^T \tilde{\mathbf{Q}}_v \mathbf{B}_v + \mathbf{P}_v)^{-1} \mathbf{B}_v^T \tilde{\mathbf{Q}}_v [\Phi_{3,v/v-1} \hat{\mathbf{x}}_{3,v-1} - \Phi_{y,v/v-1} \hat{\mathbf{x}}_{y,v-1}] = \mathbf{L}_v [\hat{\mathbf{x}}_{3,v-1} - \hat{\mathbf{x}}_{y,v-1}] \quad (7)$$

где $\mathbf{L}_v = (\mathbf{B}_v^T \tilde{\mathbf{Q}}_v \mathbf{B}_v + \mathbf{P}_v)^{-1} \mathbf{B}_v^T \tilde{\mathbf{Q}}_v \Phi_{v/v-1}$ – матричный коэффициент усиления.

В соответствии с введенным обозначением (9) вектор сигналов управления представим в виде:

$$\mathbf{u}_v = -(\mathbf{B}_v^T \mathbf{Q}_v \mathbf{B}_v + \mathbf{P}_v)^{-1} \mathbf{B}_v^T \mathbf{Q}_v \Phi_{v/v-1} \hat{\mathbf{e}}_{v-1} = -\mathbf{L}_v (\mathbf{x}_{3,v-1} - \hat{\mathbf{x}}_{y,v-1}). \quad (8)$$

Конкретизируем уравнение (6) применительно к полету БПЛА по заданному маршруту в виде:

$$u_v = l_v (\psi_{3,v-1} - \hat{\psi}_{y,v-1}).$$

Дисперсия ошибки определения курса рассчитывается по формуле:

$$D_\psi = \frac{1}{V} \sum_{v=0}^{N-1} (\psi_{3,v} - \hat{\psi}_{y,v})^2, \quad (9)$$

где $\hat{\psi}_{y,v}$ – оценка текущего значения курса полета БПЛА.

Структурная схема системы управления траекторией БПЛА и системы оценки параметров траекторного движения приведена на рисунке 4.

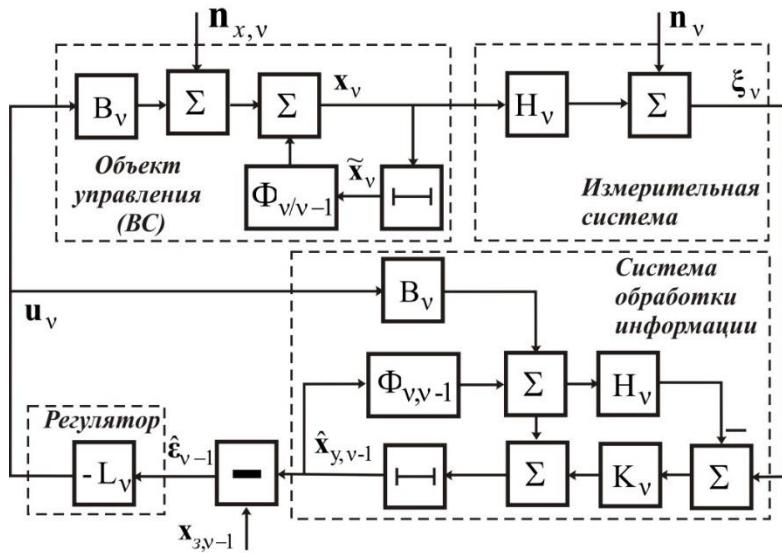


Рисунок 4 – Схема системы управления траекторией БПЛА и системы оценки параметров траекторного движения

Таким образом, реализация алгоритма Летова-Калмана формирует сигналы управления, которые определяются текущей ошибкой $\hat{\epsilon}_{v-1} = \mathbf{x}_{3,v-1} - \hat{\mathbf{x}}_{y,v-1}$, что позволяет уменьшить отклонение фактической траектории от заданной.

Результаты моделирования

В процессе исследования процессов управления траекторией полета БРЛА моделировалось 6 различных конфигураций ИНИ:

- 1) в процессе полета управление траекторией БПЛА реализуется на основе 4 НКА ГНСС;
- 2) управление траекторией реализуется на основе 3 НС ГНСС;
- 3) управление траекторией реализуется на основе 2 НКА ГНСС;
- 4) управление траекторией реализуется на основе 3 НКА ГНСС и 1 НС АЗН-В;
- 5) управление траекторией реализуется на основе 2 НКА ГНСС и 1 НС АЗН-В;
- 6) управление траекторией реализуется на основе 2 НКА ГНСС и 2 НС АЗН-В. Следует отметить, что при моделировании алгоритма управления траекторией во всех 6 конфигурациях для оценки параметров траекторного движения использовалась выходная информация БИНС. Исходные данные для моделирования приведены в [Ерохин и др., 2023].

Зависимости значений курса БПЛА от конфигурации ИНИ представлены на рис. 5: кривая 1 – оценка курса при 1 конфигурации, кривая 2 – оценка курса при 2 конфигурации; оценка курса при 3 конфигурации; ψ_3 – заданный курс полета. На рис. 6 приведены зависимости значений дисперсии

ошибки курса БПЛА: кривая 1 соответствует 1 конфигурации, кривая 2 – 2 конфигурации; кривая 2 – 2 конфигурации.

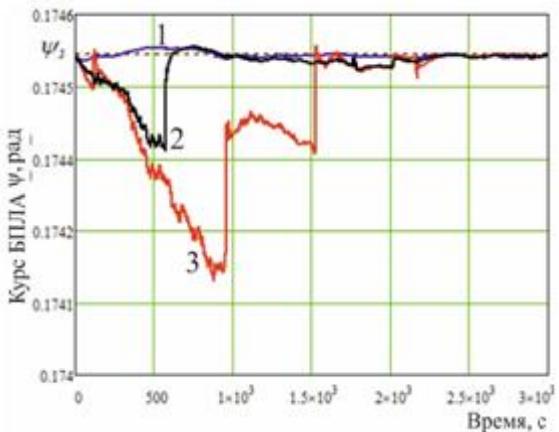


Рисунок 5 – Значения курса ВС для конфигураций 1-3

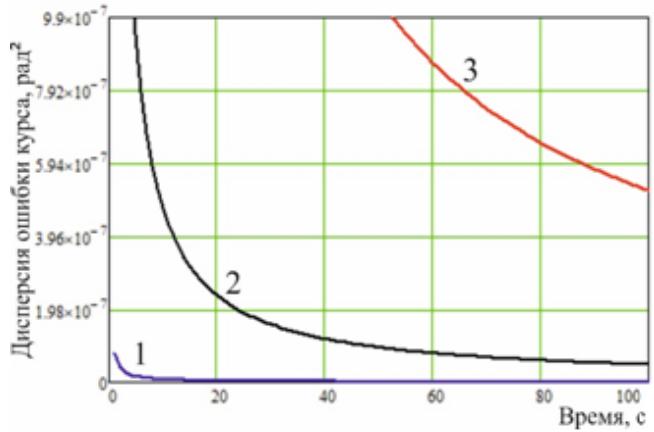


Рисунок 6 – Дисперсия ошибки оценки курса полета для конфигураций 1-3

Анализ результатов, показанных на рисунках 5-6, показывает, что при наличии на входе алгоритма количества сигналов равного или большего минимально необходимого для решения навигационной задачи числа ИНИ (4 и более НКА) обеспечивается высокая точность определения курса БПЛА. Уменьшение количества псевдодальномерных измерений до ИНИ приводит к снижению точности оценки курса полета БПЛА. При этом сохраняется непрерывность выдерживания заданного курса полета при использовании в алгоритме выходной информации БИНС.

Для повышения эффективности алгоритма управления траекторией предлагается использовать данные от НС АЗН-В, что приводит к расширению вектора псевдодальномерных измерений. На рис. 7, 8 приведены графики зависимости курса полета БПЛА от конфигурации ИНИ и дисперсии ошибки курса для 4-ой и 5-ой конфигурации ИНИ.

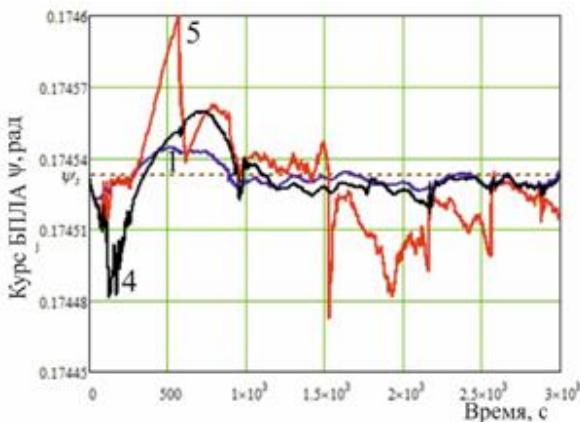


Рисунок 7 – Динамика значений курса БПЛА для конфигураций 1, 4, 5

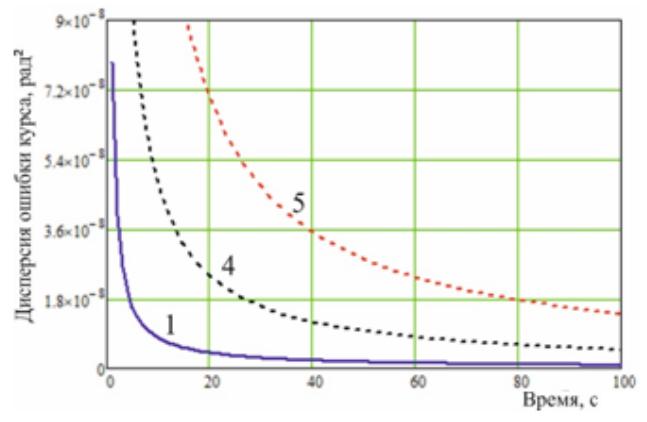


Рисунок 8 – Дисперсия ошибки оценки курса полета для конфигураций 1, 4, 5

На рисунке 9 представлены расчетные значения дисперсии ошибки определения курса для всех моделируемых конфигураций ИНИ: непрерывными линиями показаны графики ошибки при работе только по НКА ГНСС, пунктирными линиями обозначены графики дисперсии при использовании сигналов НС АЗН-В.

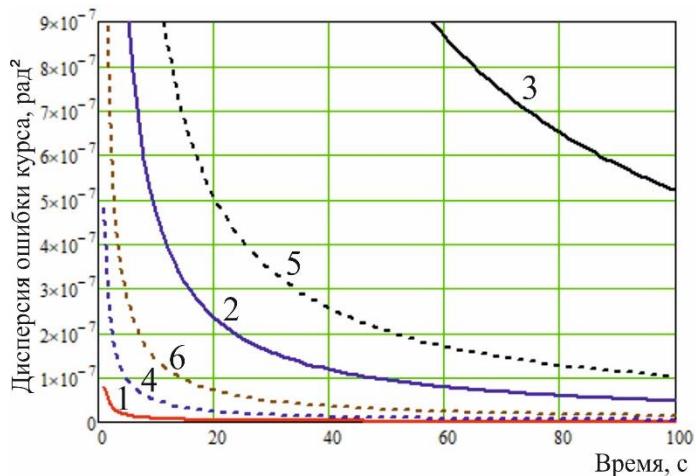


Рисунок 9 – Дисперсии ошибок оценки курса полета для конфигураций 1, 4, 5

Анализ результатов моделирования и исследований показывает, что расширение вектора псевдодальномерных измерений в рамках комплексной обработки информации при управлении траекторией полета БПЛА позволяет и уменьшить отклонение фактической траектории от заданной. В частности, сравнение графиков 3 и 6 на рис. 9 показывает, что при использовании сигнала НС АЗН-В в дополнение к 2 НКА ГНСС позволяет уменьшить дисперсию погрешности измерения курса полета БПЛА на порядок.

Заключение

ГНСС обладают глобальностью рабочей зоны и名义ально высокой точностью позиционирования, однако в силу низкой помехоустойчивости необходимы навигационные средства, дополняющие ГНСС. Пока невозможно полное замещение ГНСС, но исследование вариаций набора средств для конкретных условий применения представляет определенный научно-прикладной интерес. В качестве помехоустойчивой системы обмена данными представляется рациональным применение АЗН-В, т.к. показатель помехозащищенности за счет выбранной структуры сигнала и большего отношения сигнал/шум у АЗН-В в реальных условиях выше, чем у ГНСС. В статье представлены алгоритм управления траекторией полета БПЛА на основе комплексной обработки навигационной информации и результаты исследований влияния конфигурации источников навигационной информации на точностные характеристики системы. Показана возможность повышения качества решения задачи управления траекторией полета БПЛА за счет комплексной оценки параметров траекторного движения.

Библиографический список

- Арефьев Р. О. Применение помехоустойчивого кодирования при обработке сообщений локальной корректирующей станции / Р. О. Арефьев, С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 22-32. EDN YMDDPC.*
- Воронов Е. М. 77-30569/280873 Обеспечение траекторной безопасности в задаче облета динамической круговой зоны / Е. М. Воронов, А. А. Карпунин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 12. С. 5. EDN OOZGRX.*
- Гончаренко В. И. Задача оперативной двумерной маршрутизации группового полета беспилотных летательных аппаратов / В. И. Гончаренко, Г. Н. Лебедев, Д. А. Михайлин // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 1. С. 153-165. DOI 10.1134/S0002338819010074. EDN YWYDVB.*
- Емельянцев Г. И. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации / Г. И. Емельянцев, А. П. Степанов; Под общей редакцией В. Г. Пешехонова. Государственный Центр Российской Федерации АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» национальный исследовательский университет ИТМО. Санкт-Петербург: Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», 2016. 394 с. EDN XSSBEF.*
- Ерохин В. В. Оценка параметров траекторного движения БПЛА при различной конфигурации источников навигационной информации / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Э. А. Болелов // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77, № 6. С. 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. EDN MVHGGW.*
- Межетов М. А. Перспективы использования системы передачи данных LDACS для задач управления воздушным движением / М. А. Межетов, Е. С. Григорьева, П. Т. Никитич // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Иркутск, 15–22 октября 2020 года. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2020. С. 176-182. EDN GFCDDC.*
- Меркулов В. И. Автоматическое сопровождение целей в РЛС интегрированных авиационных комплексов. Теоретические основы. РЛС в составе интегрированного авиационного комплекса / В. И. Меркулов, В. С. Верба, А. Р. Ильчук. М.: Радиотехника, 2018. 320 с.*
- Оценка эффективности типовой авиационной комплексной системы навигации / В. С. Марюхненко, Ю. Ф. Мухопад, Е. И. Антипов, С. В. Туринцев // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2012. № 2. С. 25-35. EDN OYXKML.*
- Пешехонов В. Г. Высокоточная навигация без использования информации глобальных навигационных спутниковых систем // Гирокопия и навигация. 2022. Т. 30, № 1(116). С. 3-11. DOI 10.17285/0869-7035.0084. EDN WRZXAM.*
- Применение технологии LoRa в беспилотных авиационных системах / М. А. Межетов, А. И. Тихова, У. С. Вахрушева, А. В. Федоров // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 180-185. EDN UZUCLT.*
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617951 Российской Федерации. Расчет характеристик навигационного сеанса системы ГЛОНАСС:*

№ 2016615402: заявл. 26.05.2016: опубл. 19.07.2016 / О. Н. Скрыпник, Р. О. Арефьев, Н. Г. Арефьева. EDN JODKFV.

Серебренников Е. А. Программная модель линии цифровой связи VDL режима 2 / Е. А. Серебренников, С. В. Туринцев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 2, № 13. С. 119-121. EDN YQWFIF.

Скрыпник О. Н. Оптимизация траектории мобильного псевдоспутника для повышения точности интегрированного навигационно-временного поля ГЛОНАСС / О. Н. Скрыпник, Р. О. Арефьев // Современные научно-исследовательские технологии. 2020. № 2. С. 51-58. DOI 10.17513/snt.37914. EDN KZCVNA.

Формирование радиолокационной карты подстилающей поверхности путем фильтрации случайных полей / О. Н. Скрыпник, Б. В. Лежанкин, Б. М. Миронов, Н. П. Малисов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2008. № 133. С. 60-66. EDN KVVEYT.

Шестаков И. Н. Расширение поля СРНС с помощью наземных станций АЗН-В / И. Н. Шестаков, Г. А. Крыжановский // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 210. С. 114-117. EDN TBUBMV. *Huttunen M.* Civil unmanned aircraft systems and security: The European approach // J Transp Secur. 2019. № 12. Р. 83-101. DOI 10.1007/s12198-019-00203-0.

References

- Arefyev R. O., Turintsev S. V., Turintseva M. S.* (2021). The use of noise-resistant coding in the processing of messages from a local correction station. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii». pp. 22-32. EDN YMDPPC. (in Russian)
- Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Bolelov E. A.* (2023). Estimation of UAV trajectory parameters with different configuration of navigation information sources. *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki-Peterburg: Koncern "Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut "Elektropribor"*. 77(6): 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. EDN MVHGGW. (in Russian)
- Goncharenko V. I., Lebedev G. N., Mikhaylin D. A.* (2019). The task of operational two-dimensional routing of a group flight of unmanned aerial vehicles. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*. 1: 153-165. DOI 10.1134/S0002338819010074. EDN YWYDVB. (in Russian)
- Huttunen M.* (2019). Civil unmanned aircraft systems and security: The European approach. *J Transp Secur.* 12: 83–101. DOI 10.1007/s12198-019-00203-0.
- Maryukhnenko V. S., Mukhopad Yu. F., Antipin E. I., Turintsev S. V.* (2012). Evaluation of the effectiveness of a typical aviation integrated navigation system. *Polet. Obshcherossijskij nauchno-tehnicheskij zhurnal*. 2: 25-35. EDN OYXKML. (in Russian)
- Merkulov V. I., Verba V. S., Ilchuk A. R.* (2018). Automatic tracking of targets in the radar of integrated aviation complexes. Theoretical foundations. Radar as part of an integrated aviation complex. Moscow: Radiotekhnika, 2018. 320 p. (in Russian)
- Mezhetov M. A., Grigorieva E. S., Nikitich P. T.* (2020). Prospects for using the LDACS data transmission system for air traffic control tasks *Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Irkutsk, 15–22 oktyabrya 2020 goda. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii". pp. 176-182. EDN GFCDDC. (in Russian)
- Mezhetov M. A., Tikhova A. I., Vakhrusheva U. S., Fedorov A. V.* (2021). Application of LoRa technology in unmanned aircraft systems. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*.

- Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoy aviacii». 2: 180-185. EDN UZUCLT. (in Russian)
- Peshekhonov V. G.* (2022). High-precision navigation without using information from global navigation satellite systems. *Giroskopiya i navigaciya*. 1(116): 3-11. DOI 10.17285/0869-7035.0084. EDN WRZXAM. (in Russian)
- Serebrennikov E. A., Turintsev S. V.* (2017). Software model of the VDL digital communication line of mode 2. *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki*. 13: 119-121. (in Russian)
- Shestakov I. N., Kryzhanovsky G. A.* (2014). Expansion of the SRNS field with the help of AZN-V ground stations. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviacii*. 210: 114-117. EDN TBUBMV. (in Russian)
- Skrypnik O. N., Arefyev R. O.* (2020). Optimization of the trajectory of a mobile pseudo-satellite to improve the accuracy of the integrated GLONASS navigation and time field. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2: 51-58. DOI 10.17513/snt.37914. EDN KZCVNA. (in Russian)
- Skrypnik O. N., Arefyev R. O., Arefyeva N. G.* (2016). Calculation of the characteristics of the navigation session of the GLONASS system. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2016617951 Rossijskaya Federaciya*. EDN JODKFV. (in Russian)
- Skrypnik O. N., Lezhakin B. V., Mironov B. M., Malisov N. P.* (2008). Formation of a radar map of the underlying surface by filtering random fields. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviacii*. 133: 60-66. EDN KVVEYT. (in Russian)
- Voronov E. M., Karpunin A. A.* (2011). 77-30569/280873 Ensuring trajectory safety in the task of overflying a dynamic circular zone. *Elektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie «Nauka i obrazovanie»*. 12: 5. (in Russian)
- Yemelyantsev G. I., Stepanov A. P.* (2016). Integrated inertial-satellite orientation and navigation systems. Saint Petersburg: *Koncern «Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut «Elektropribor»*. 2016. 394 p. EDN XSSBEF. (in Russian)

ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 621.391:621.396

ББК 39.57-5

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_128

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КВАДРОКОПТЕРА DJI AIR 2S*

*Роман Олегович Арефьев,
orcid.org/0000-0001-8040-6470,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
aqua160905@mail.ru*

*Олег Николаевич Скрыпник,
orcid.org/0000-0002-2006-0428,
доктор технических наук, профессор
Белорусская государственная академия авиации,
ул. Уборевича, 77
Минск, 220096, Республика Беларусь
skripnikon@yandex.ru*

*Наталья Геннадьевна Арефьева (Астраханцева),
orcid.org/0000-0002-9916-1239,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
n_astrahanceva_awesome@mail.ru*

Аннотация. В работе предложена методика оценки фактической точности пространственной стабилизации квадрокоптера DJI Air 2S с помощью его видеокамеры и обработки получаемых видеорядов разработанным программным комплексом в режиме висения над опорным объектом. Программный комплекс выполнен на основе библиотеки OpenCV на языке Python. Для фиксации отклонений систем стабилизации квадрокоптера от заданной позиции предложено использовать опорное поле с известными геометрическими параметрами, информация о которых вносится в алгоритм обработки. Основной задачей программного комплекса является выделение границ опорного поля и измерение геометрических сторон в пикселях, что позволяет определить центр поля и измерить его отклонение относительно центра изображения, а также определить высоту полета квадрокоптера. В работе проведено тестирование предложенного алгоритма измерения высоты. Данная методика применена для оценки точности стабилизации квадрокоптера при различных сочетаниях, используемых для этой цели навигационных датчиков. Проведен статистический анализ полученных результатов и сделаны выводы о соответствии

заявленным производителем характеристикам точности позиционирования с помощью оптических систем обхода препятствий и спутниковых навигационных систем.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно (БВС), системы стабилизации, техническое зрение, GNSS.

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF SPATIAL STABILIZATION ACCURACY OF THE DJI AIR 2S QUADCOPTER

*Roman O. Arefyev,
orcid.org/0000-0001-8040-6470,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
aqua160905@mail.ru*

*Oleg N. Skrypnik,
orcid.org/0000-0002-2006-0428,
Doctor of Technical Sciences, Full professor
Belarusian State Academy of Aviation,
77, Uborevich str.
Minsk, 220096, Republic of Belarus
skripnikon@yandex.ru*

*Natalya G. Arefyeva (Astrakhanceva),
orcid.org/0000-0002-9916-1239,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
n_astrakhanceva_awesome@mail.ru*

Abstract. The paper proposes a method for assessing the actual accuracy of spatial stabilization of a DJI Air 2S quadcopter using its video camera and processing the resulting video sequences with a developed software package in the mode of hovering over a reference object. The software package was implemented using the OpenCV library in Python. To register deviations of stabilization systems from a given position, it is proposed to use a reference field with known geometric parameters, information about which is entered into the processing algorithm. The main task of the software package is to identify the boundaries of the reference field and measure the geometric sides in pixels which allows you to determine the center of the field and measure its deviation relative to the center of the image as well as determine the height of the unmanned aerial vehicle flight. In the work the height measurement algorithm was tested. This technique is used to evaluate the accuracy of quadcopter stabilization with various combinations of navigation sensors used for this purpose. A statistical analysis of the obtained results was carried out and conclusions were drawn about compliance with the characteristics of positioning accuracy declared by the manufacturer using optical obstacle avoidance systems and satellite navigation systems.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), stabilization systems, technical vision, GNSS.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Т23-029).

Введение

Реализация стратегии развития беспилотной авиации в Российской Федерации предполагает интеграцию беспилотных воздушных судов (БВС) в общее с пилотируемой авиацией воздушное пространство (ВП) [Стратегия развития..., 2023]. Допуск БВС в это ВП «должен осуществляться в соответствии с документами, регламентирующими его организацию и использование пилотируемой авиацией, и опираться на существующие и перспективные технологии в рамках блочной модернизации авиационной системы (ASBU – Aviation System Block Upgrades) и навигации, основанной на характеристиках (PBN – Performance Based Navigation)» [Скрыпник, 2023].

В рамках концепции PBN для эффективного использования ВП с требуемым уровнем безопасности полётов необходимо обеспечивать соответствующую навигационным спецификациям точность выдерживания заданной траектории полета в используемой зоне ВП [ICAO..., 2008]. Указанное положение в полной мере относится к беспилотной авиации для её интеграции в общее ВП, когда БВС с вероятностью 95% не должно выходить за границы «коридора», установленного для конкретного маршрута полета в конкретном ВП (рис. 1).

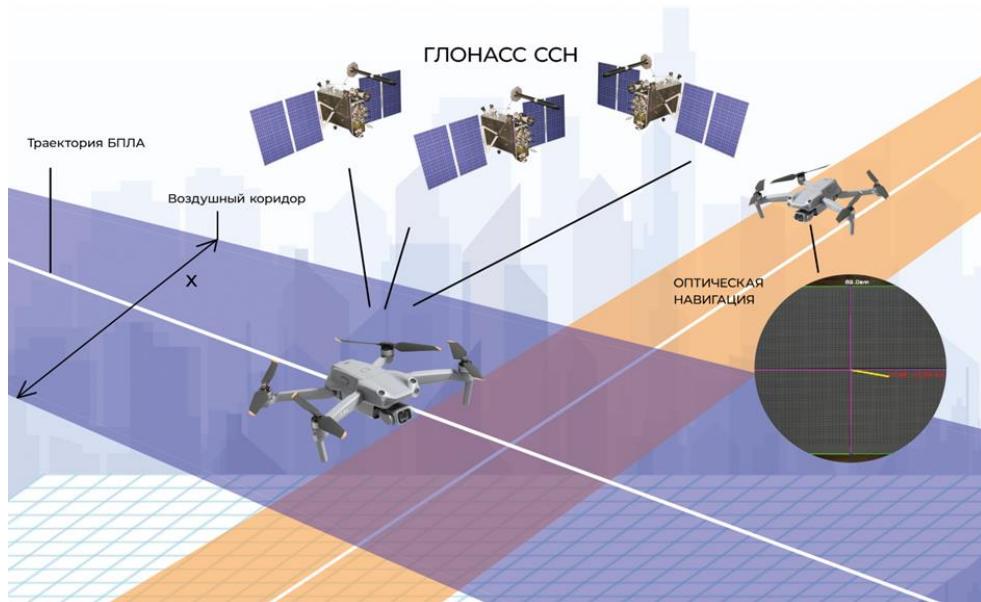


Рисунок 1 – «Коридоры» ВП для полётов БВС

Для определения координат БВС в полёте по заданной траектории используются различные навигационные датчики. К ним прежде всего относятся инерциальные навигационные системы (ИНС) и приемники глобальных спутниковых систем навигации (GNSS), используемые либо как отдельные навигационные датчики, либо в комплексе с ИНС [Ерохин и др., 2023]. Возможно комплексирование указанных систем с другими средствами автономной навигации БВС (оптические, лазерные, инфракрасные и др.).

Каждое из средств навигации обладает как достоинствами, так и недостатками, что ограничивает возможности их применения для высокоточного позиционирования в различных видах полётов и условиях

применения БВС. Так, например, приёмник GNSS обеспечивает высокую (первые единицы метров) точность определения координат неподвижных объектов по однократным измерениям. Как правило, именно для таких условий производители приемников GNSS указывают точность их позиционирования. Однако при воздействии помех, сбоях в слежении за сигналами навигационных спутников, наличии их затенений рельефом местности или объектами, высокой динамике определяющегося объекта точность позиционирования может существенно ухудшиться [Межетов и др., 2023; Скрыпник, 2019; Glomsvoll, 2014]. ИНС, как основное автономное средство навигации, характеризуется ухудшением точности счисления координат и определения пилотажных параметров с течением времени.

Ухудшение точности позиционирования БВС относительно заявляемой производителями может привести к соответствующему ухудшению точности выдерживания заданной траектории. Это может нести прямую угрозу безопасности полетов ввиду повышения риска возникновения потенциально конфликтных ситуаций с другими пользователями ВП [Алгоритмы управления..., 2021]. Уменьшение же рисков путем увеличения защитных зон вокруг БВС приведёт к снижению эффективности использования ВП из-за уменьшения его пропускной способности. Поэтому возникает задача оценки фактической точности определения пространственных координат как навигационным комплексом БВС в целом, так и отдельными системами.

Известны работы, в которых проводятся экспериментальные исследования точности стабилизации RTK-GNSS приемника квадрокоптера семейства DJI [Assessment of Accuracy..., 2023; Ekaso et al., 2020] в реальных условиях эксплуатации. RTK-GNSS приемники являются высокоточными и дорогими решениями для решения задач геодезии. Особенностью данных работ является использование тахометрической съемки и использование базовых станций для формирования поправок, что позволяет с высокой точностью определить отклонения квадрокоптера от заданных координат.

Для проведения экспериментов в данной работе использовался квадрокоптер DJI Air2S.

Материалы и методы

Оценка фактической точности позиционирования БВС в реальных условиях полета (динамика движения объекта, воздействие внешних случайных возмущений на траекторию) является весьма сложной технической задачей. Поэтому ограничимся исследованием точности позиционирования квадрокоптера DJI Air 2S в режиме висения при использовании информации от его различных бортовых устройств навигации и в отсутствии внешних возмущений. Для этого была разработана методика экспериментального исследования точности навигационного комплекса DJI Air2S.

Для исследования точности позиционирования в горизонтальной плоскости под квадрокоптером устанавливается тестовое поле с координатной сеткой (рис. 2). В ручном режиме управления квадрокоптер устанавливается по вертикали над центральной точкой (т. О) координатной сетки на

определенной высоте, затем переводится в режим автоматического управления.

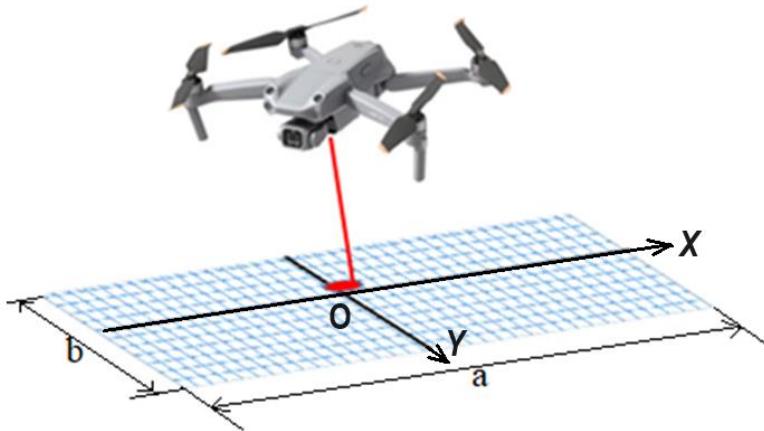


Рисунок 2 – Квадрокоптер над тестовым полем

Отклонения от вертикали по осям ОХ и ОY (в плане) фиксируются с помощью видеокамеры квадрокоптера и записываются в видеофайл. Вертикаль (виртуальный вертикальный луч) задаётся с использованием видеокамеры квадрокоптера, которая установлена на подвесе с гиростабилизацией.

На этапе постобработки из видеофайла извлекается информация об ошибках позиционирования квадрокоптера относительно начальной точки его привязки в горизонтальной плоскости. Программный комплекс обработки видеофайлов реализован с помощью библиотеки OpenCV среды программирования Python. Библиотека OpenCV [Bradski, 2000] с открытым исходным кодом предназначена для решения задач компьютерного зрения и машинного обучения, обладает широким спектром функций и достаточно проста в отладке.

Основные этапы обработки изображения программным комплексом, реализующим алгоритм технического зрения, состоят в следующем.

Записанный видеофайл разбивается на кадры (рис. 3). Каждый кадр представляет собой изображение в цветовой модели RGB (Red, Green, Blue) форматом 1080 на 1920 точек. Далее изображение преобразуется в цветовую модель HSV (Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, яркость) в блоке преобразователя цветов. Модель HSV обладает бо́льшим количеством градаций цвета, чем модель RGB, что существенно влияет на точность выделения контура объекта.

После преобразования изображение поступает в цветовой фильтр, основными параметрами которого являются минимальные и максимальные границы пропускаемого цвета. В данной работе значения границ цвета устанавливались эмпирически для конкретных полётных условий.

Основная задача фильтра заключается в затемнении участков изображения, которые не попадают под значения границ фильтра, поэтому на выходе формируется бинарное изображение, где белому цвету соответствует выделенная область в виде поля. Бинарное изображение поступает в блок

поиска контуров, алгоритм работы которого рассмотрен в работе [Suzuki et al., 1985.].

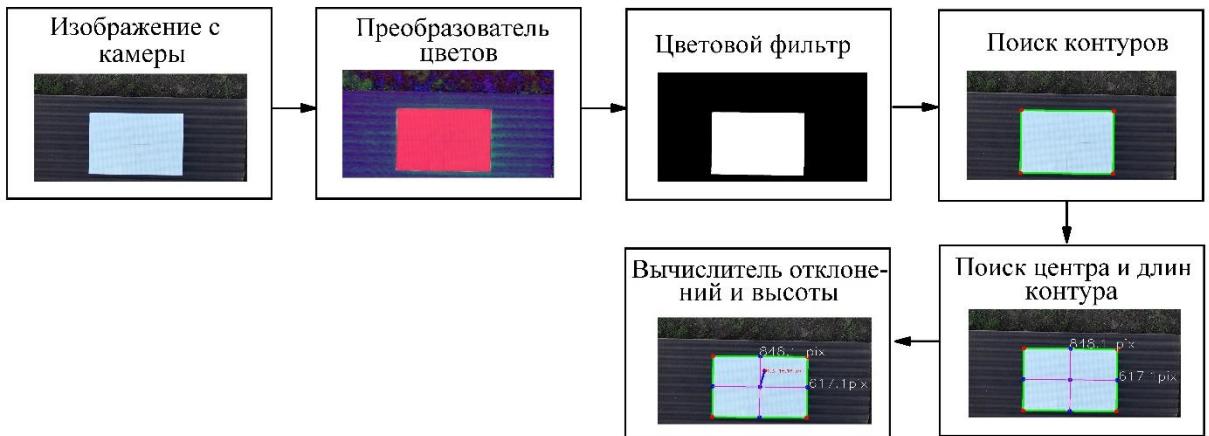


Рисунок 3 – Этапы обработки изображения программным комплексом

Параметрами блока поиска контуров являются режим поиска контура и метод аппроксимации контура. В данной работе определялись координаты вершин повернутого прямоугольника, после чего выделенные точки соединялись линиями. Полученный контур накладывается на исходное изображение. Зная координаты четырех вершин, измеряется длина и ширина контура в пикселях, а также вычисляется его середина. По изменяемым параметрам ширины и длины контура определяется высота полета квадрокоптера, а по отклонению центра контура от центра кадра определяются значения ошибок в горизонтальной плоскости.

Метод измерения высоты [Трусфус, 2019; Шубникова и др., 2013; Rosebrock..., 2015] полета основывается на известных геометрических размерах тестового поля, например, длины a (рис. 4, а), значение которой вносится в алгоритм обработки в виде константы. Изображение, получаемое видеокамерой (рис. 4, б), подвергается обработке программным комплексом, с помощью которого определяется длина в пикселях da . Изображение, полученное с помощью камеры квадрокоптера, является подобным реальному объекту, что позволяет определить высоту из соотношения сторон:

$$\frac{H}{f} = \frac{a}{da}, \quad (1)$$

где H – высота полета квадрокоптера; a – длина поля; f – фокусное расстояние камеры; da – длина поля в пикселях.

В выражение (1) входят неизвестные высота H и фокусное расстояние f . Для определения фокусного расстояния квадрокоптер устанавливается на минимальную фиксированную высоту, при которой фотографируется изображение тестового поля. Зная высоту и геометрическую длину поля, из выражения (1) можно определить фокусное расстояние f путем определения длины поля в пикселях da алгоритмом.

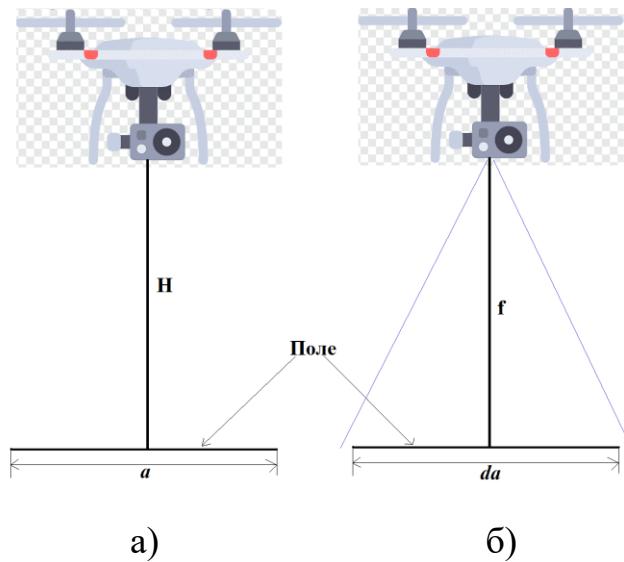


Рисунок 4 – Представление метода измерения высоты:

- а) реальные параметры длины поля и высоты;
- б) параметры длины поля и высоты, измеряемые с помощью видеокамеры

Процедура нахождения фокусного расстояния называется калибровкой видеокамеры. Ввиду того, что фотосъемка может проводиться на разных высотах над тестовым полем, необходимо исключить попадание в кадр ложных объектов. Для этого необходимо воспользоваться цифровым зумом r . Тогда формула определения высоты примет следующий вид:

$$H = \frac{(a \cdot f) \cdot r}{da}, \quad (2)$$

где r – значение цифрового зума.

В случае, если цифровой зум не используется, $r=1$. Параметр r записывается в протоколе формата SRT при включении видеосъемки.

Пример работы блока технического зрения представлен на рисунке 5.

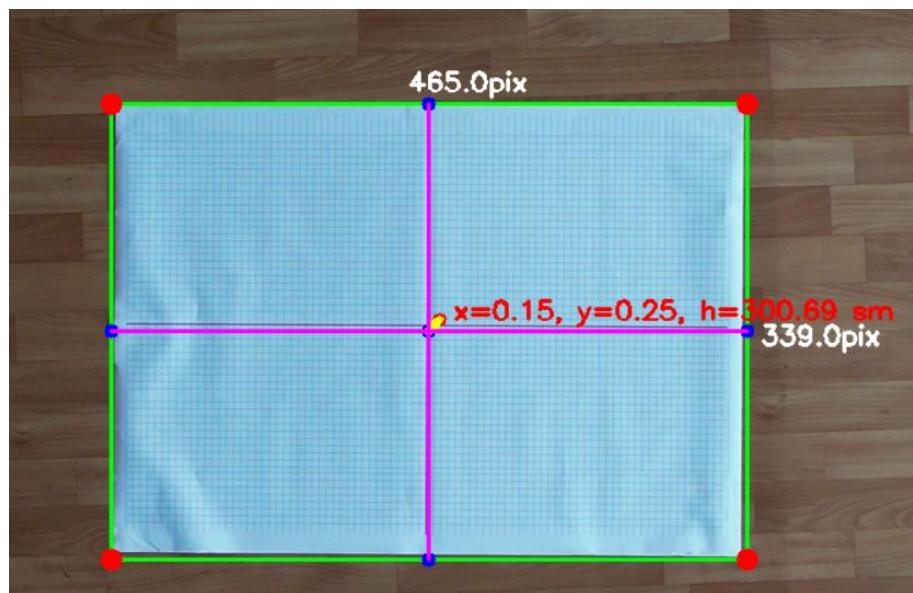


Рисунок 5 – Пример работы алгоритма технического зрения

Тестирование корректности алгоритма определения высоты проводилось на основе видеоданных, получаемых с помощью квадрокоптера DJI Air 2S. В качестве опорного объекта, до которого измеряется высота, использовалось тестовое поле размером 9 на 9 см.

На первом этапе выполнялась процедура калибровки видеокамеры для нахождения фокусного расстояния. Для этого квадрокоптер устанавливался на фиксированных высотах 339; 299; 249; 199; 149; 99; и 49 см над тестовым полем, видеофайлы для каждой высоты записывались в течение 5 минут с частотой следования кадров 24 Гц. На больших высотах для исключения попадания мешающих объектов в изображение использовался цифровой зум.

Записанные видеофайлы обрабатывались программным комплексом. Для каждого кадра видеоряда рассчитывалось значение фокусного расстояния, из которого находилось среднее значение для видеоряда. Полученные средние значения фокусных расстояний отдельных видеорядов лежат в диапазоне 1210,61-1235 см (см. табл. 1). Путем их усреднения найдена оценка фокусного расстояния видеокамеры, равная 1220,1 см.

Изменение фокусного расстояния для разных высот связано с особенностями работы цифрового фильтра, что требует выставления параметров границ для каждого обрабатываемого изображения.

Таблица 1 – Результаты измерения фокусного расстояния

Высота, м	49	99	149	199	249	299	339
Фокусное расстояние f , см	1210,61	1235	1228,2	1226,34	1214,82	1212,3	1213,18
Среднее фокусное расстояние, см	1220,1						

На втором этапе обработки была проведена оценка точности (СКП – среднеквадратической погрешности) измерения высоты по каждому видеоряду при фокусном расстоянии 1220,1 см. Результаты обработки полученных данных представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты измерения высоты при фокусном расстоянии 1220,1 см

Высота, см	49	99	149	199	249	299	339
СКП, см	0,58	0,096	0,18	0,33	0,307	0,777	0,553

Как следует из табл. 2, значения СКП измерения высоты лежат в диапазоне от 0,96 мм до 7,7 мм.

Дополнительно была проведена обработка видеорядов при разных фокусных расстояниях согласно значениям из табл. 1. Результаты обработки данных показали, что точность оценки высоты (табл. 3) при значениях фокусных расстояний, определённых для каждой высоты полета (см. табл. 1), оказалась несколько лучшей (от 0,4 мм до 7,7 мм), чем при фокусном расстоянии 1220,1 см.

Таблица 3 – Результаты измерения высоты при разных фокусных расстояниях

Фокусное расстояние, см	49	99	149	199	249	299	339
СКП, см	0,04	0,05	0,18	0,33	0,305	0,772	0,55

Исходя из полученных результатов следует, что для достижения наилучшей точности измерения высоты необходимо использовать адаптивный по границам пропускаемого цвета цифровой фильтр, что позволит более точно определить фокусное расстояние.

Дискуссия и результаты исследований

Исследование фактической точности позиционирования квадрокоптера в режиме висения

Основными системами навигации и стабилизации в пространстве DJI Air 2S являются: приемник GNSS, оптическая система стабилизации и обхода препятствий (четыре стереопары, расположенные по строительным осям квадрокоптера), система навигации IMU на основе гироскопов, акселерометров и магнитометра, выполненных по технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС), измеритель высоты на основе инфракрасного (ИК) сенсора.

Согласно технической документации DJI Air 2S точность позиционирования составляет: в вертикальной плоскости $\pm 0,1$ м (позиционирование оптической системой) и $\pm 0,5$ м (позиционирование приемником GNSS); в горизонтальной плоскости $\pm 0,1$ м (позиционирование оптической системой) и $\pm 1,5$ м (позиционирование приемником GNSS). Из технической документации следует, что наилучшая точность позиционирования обеспечивается при работе по оптическому каналу (стереопары совместно с ИК-сенсором высоты). Данные по конкретному типу IMU и обеспечиваемых ей точностях не приводятся.

Позиционирование с использованием только оптической системы

Цель исследования состояла в оценке точности позиционирования (стабилизации) квадрокоптера по данным оптической системы. Эксперименты проводились в помещении, что позволило исключить работу приемника GNSS из-за отсутствия сигналов от навигационных спутников (НС). Высота стабилизации квадрокоптера над тестовым полем (3 м) задавалась с помощью пульта дистанционного управления оператором. Были проведены два эксперимента продолжительностью каждый около 25 мин.

На рис. 6 представлены графики, характеризующие погрешности позиционирования квадрокоптера относительно центра тестового поля в горизонтальной плоскости (рис. 6, а) и по высоте (рис. 6, б). Вертикальной линией на рис. 6, б разделены графики, соответствующие 1-му и 2-му экспериментам.

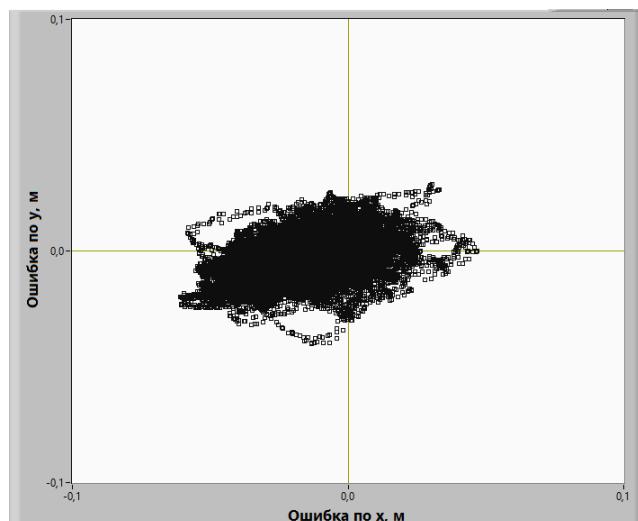
При статистической обработке результатов экспериментов СКП позиционирования по горизонтальным координатам составила $\sigma_x=0,02$ м,

$\sigma_y=0,01$ м для обоих экспериментов, по высоте $\sigma_h=0,01$ м для первого и $\sigma_h=0,02$ м для второго эксперимента.

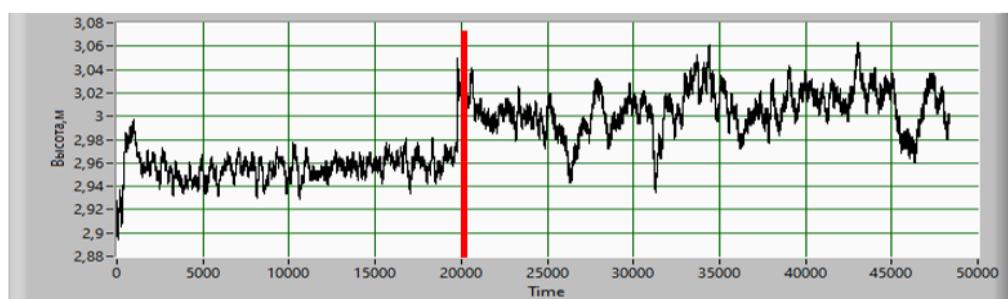
Из полученных результатов следует, что оптическая система обеспечивает высокую (единицы сантиметров) точность позиционирования (стабилизации) квадрокоптера DJI Air 2S, соответствующую заявленной в его документации. Однако система оптической стабилизации, в зависимости от видимости, хорошо работает лишь до высот 30-60 м и критична к состоянию земной поверхности.

Позиционирование с использованием оптической системы и приемника GNSS

Цель исследования состояла в оценке точности позиционирования по данным всех навигационных датчиков квадрокоптера. Для устойчивого приёма сигналов GNSS и минимизации возмущающих воздействий на квадрокоптер эксперименты проводились на открытой местности в безветренную погоду. Квадрокоптер стабилизировался на высоте 3 м над тестовым полем.



а)



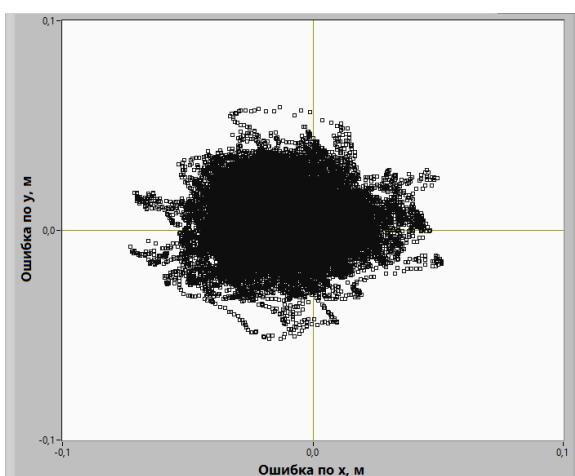
б)

Рисунок 6 – Погрешности позиционирования квадрокоптера с помощью оптической системы: а) погрешности в плане; б) погрешности по высоте

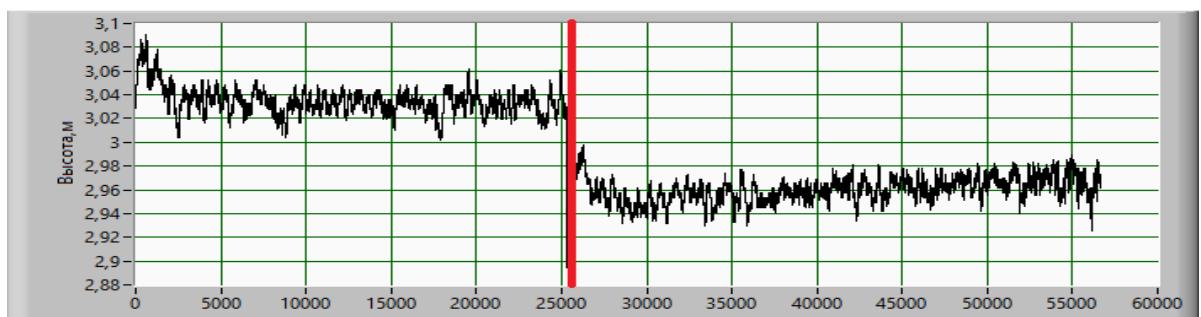
На рис. 7 представлены графики, характеризующие погрешности позиционирования квадрокоптера относительно центра тестового поля в горизонтальной плоскости (рис. 7, а) и по высоте (рис. 7, б). Вертикальной линией на рис. 7, б разделены первый и второй полёты.

Согласно результатам статистической обработки измерений СКП позиционирования по горизонтальным координатам составили $\sigma_x=0,02$ м, $\sigma_y=0,01$ м для обоих экспериментов, а по высоте $\sigma_h=0,01$ м для первого и $\sigma_h=0,02$ м для второго эксперимента. Полученные данные по точности позиционирования полностью совпадают с данными экспериментов, когда позиционирование осуществлялось только по оптической системе. Это позволяет сделать вывод о том, что при условиях штатной работы оптической системы именно она определяет точность позиционирования (стабилизации) квадрокоптера.

С целью определения точности позиционирования, обеспечиваемой в процессе экспериментов собственно приёмником GNSS, были обработаны данные с лог-файла (log file) полетного контроллера квадрокоптера. Полученные при этом результаты по погрешностям позиционирования в горизонтальной плоскости и по высоте представлены на рис. 8, а и рис. 8, б соответственно.



а)



б)

Рисунок 7 – Погрешности позиционирования квадрокоптера с помощью оптической системы и спутникового навигационного приемника:
а) погрешности в плане; б) погрешность по высоте

Диапазон значений погрешностей позиционирования приемником GNSS в плане составил: по широте от -1,4 м до 1,26 м, по долготе от -1,25 м до 1,44 м, по высоте от -2,3 м до 3,6 м.

Согласно результатам статистической обработки измерений среднеквадратическая погрешность позиционирования составила (см. табл. 4): 1-й эксперимент: по широте $\sigma_\varphi=0,34$ м, долготе $\sigma_\lambda=0,42$ м, высоте $\sigma_h=0,58$ м; 2-й эксперимент: по широте $\sigma_\varphi=0,44$ м, долготе $\sigma_\lambda=0,42$ м, высоте $\sigma_h=1$ м.

При этом приёмник GNSS решал навигационную задачу по 26-27 спутникам систем GPS, GALILEO и ГЛОНАСС, при горизонтальном геометрическом факторе $HDOP=0,48-0,50$ и вертикальном $VDOP=0,92-0,95$.

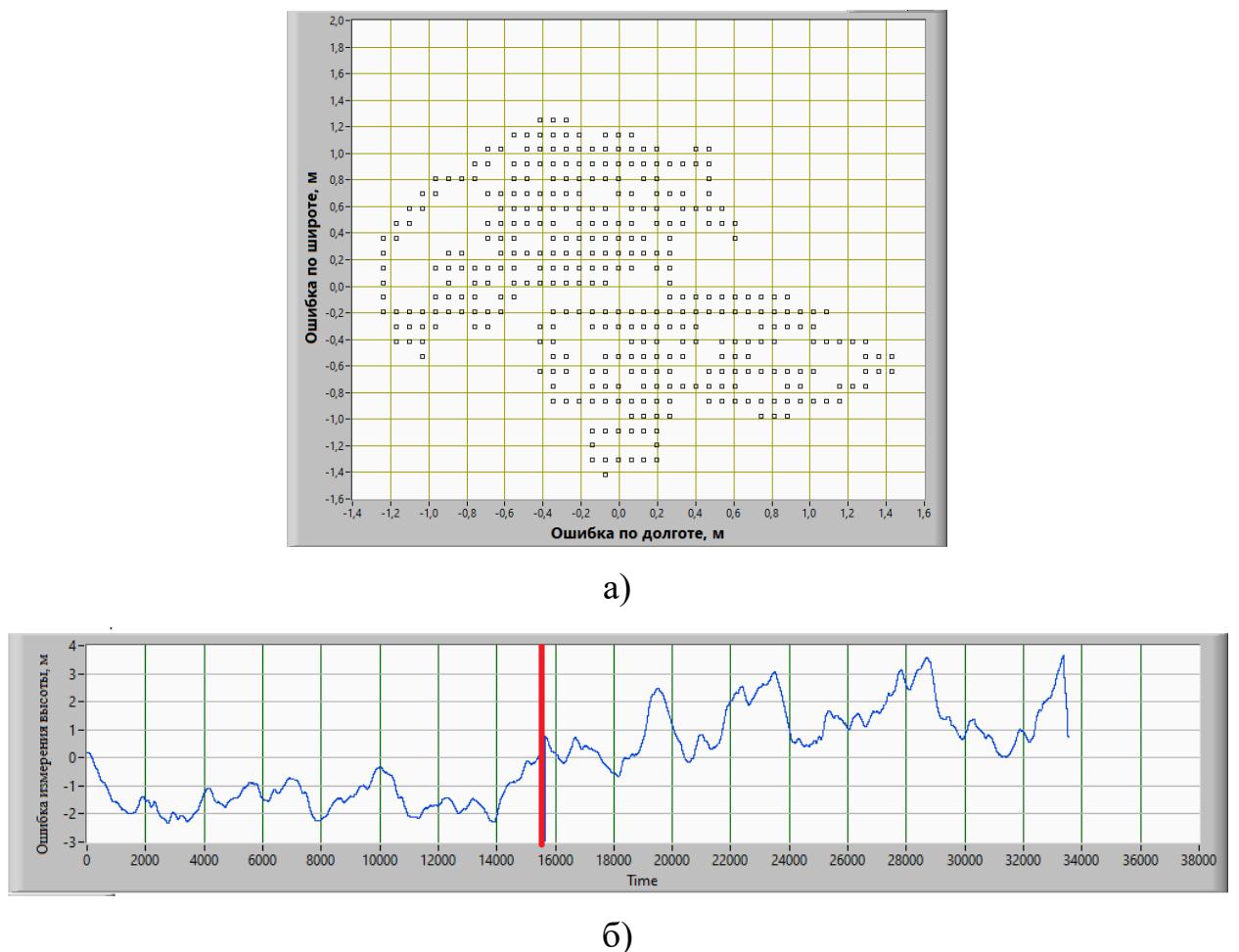


Рисунок 8 – Погрешности позиционирования приемником GNSS:
а) погрешности в плане; б) погрешность по высоте

Таблица 4 – Результаты статистической обработки данных из лог-файла

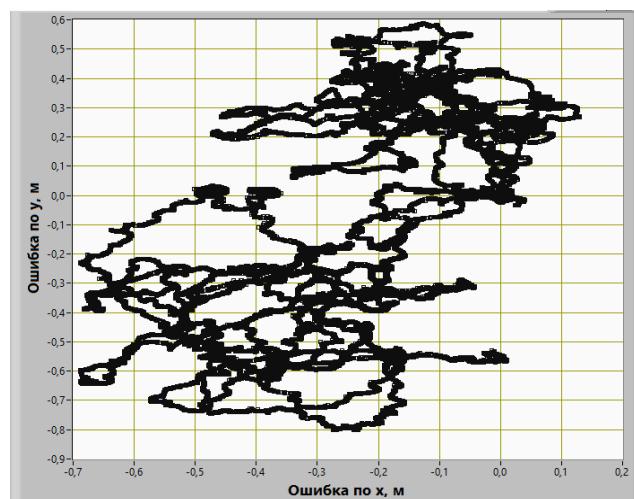
	σ_φ , м	σ_λ , м	σ_h , м	$HDOP$	$VDOP$	Количество НС
1-й эксперимент	0,34	0,42	0,58	0,48	0,92	27
2-й эксперимент	0,44	0,42	1	0,50	0,95	26

Результаты экспериментов показывают, что точность позиционирования приемником GNSS была хуже, чем точность оптической системы, но это не повлияло на результирующую точность позиционирования квадрокоптера.

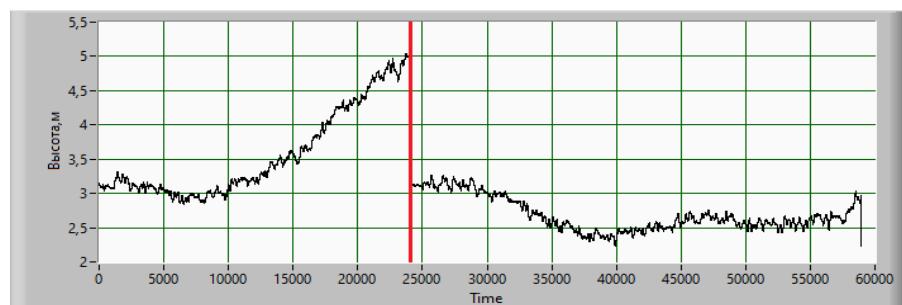
Позиционирование с использованием только приемника GNSS

Цель эксперимента состояла в определении погрешностей позиционирования (стабилизации) квадрокоптера по данным приемника GNSS и сравнении их с данными, формируемыми на выходе приемника. При проведении эксперимента оптическая система была исключена из решения задачи позиционирования путем экранирования всех стереопар и ИК-сенсоров фольгой. При этом на пульте дистанционного управления индицировался маркер отключения системы оптической стабилизации. Эксперимент проводился на открытом воздухе в безветренную погоду. С помощью пульта дистанционного управления задавалась точка стабилизации квадрокоптера на высоте 3 м относительно тестового поля.

Результаты эксперимента по оценке точности позиционирования квадрокоптера после обработки данных программным комплексом представлены на рис. 9 (два полёта продолжительностью 25 и 30 мин, на рис. 9, б разделены вертикальной линией).



а)



б)

Рисунок 9 – Погрешности позиционирования приемником GNSS:
а) погрешности в плане; б) погрешность по высоте

Диапазон значений погрешностей позиционирования квадрокоптера по данным приемника GNSS в плане составил: по координате x от -0,7 м до 0,13 м, по координате y от -0,8 м до 0,6 м, по высоте от -2,3 м до 3,6 м.

Результаты статистической обработки измерений первого эксперимента: СКП выдерживания горизонтальных координат составили $\sigma_x=0,18$ м, $\sigma_y=0,31$ м при математическом ожидании $m_x=-0,14$ м, $m_y=0,26$ м. Погрешность выдерживания высоты с 10000-го кадра начала расти и достигла 2 м к концу эксперимента. При этом анализ информации из лог-файла для данного эксперимента (рис. 10) не показал нарастающего характера погрешности измерения высоты приемником GNSS. Возможная причина ухудшения точности выдерживания высоты квадрокоптером в первом эксперименте – частичное влияние ИК-канала измерения высоты из-за неполного экранирования ИК-сенсоров.

Результаты статистической обработки измерений второго эксперимента: СКП выдерживания горизонтальных координат $\sigma_x=0,41$ м, $\sigma_y=0,45$ м при математическом ожидании $m_x=-0,38$ м и $m_y=-0,4$ м. СКП выдерживания высоты составила $\sigma_h=0,25$ м с математическим ожиданием $m_h=2,69$ м.

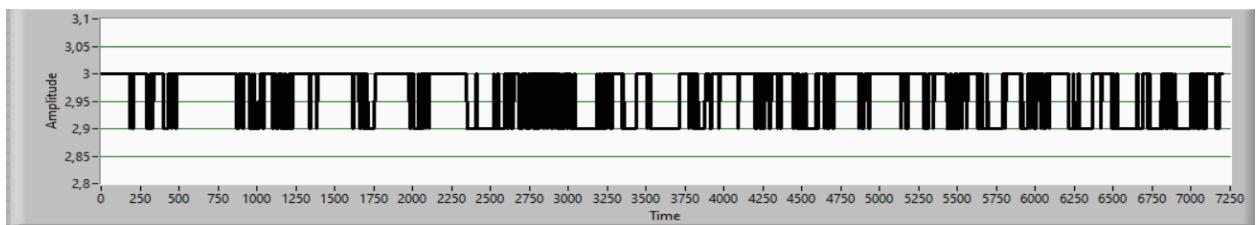
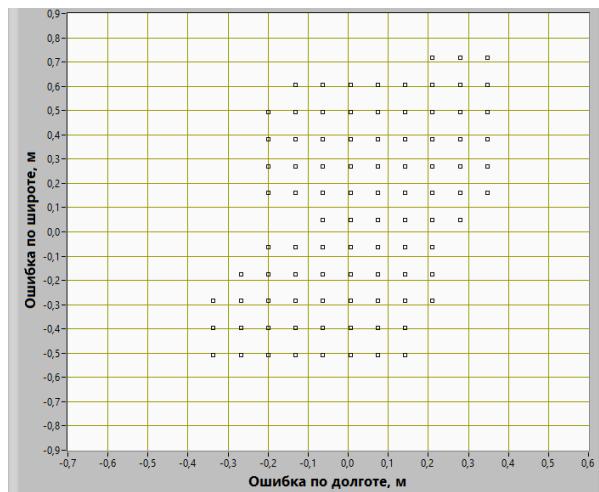
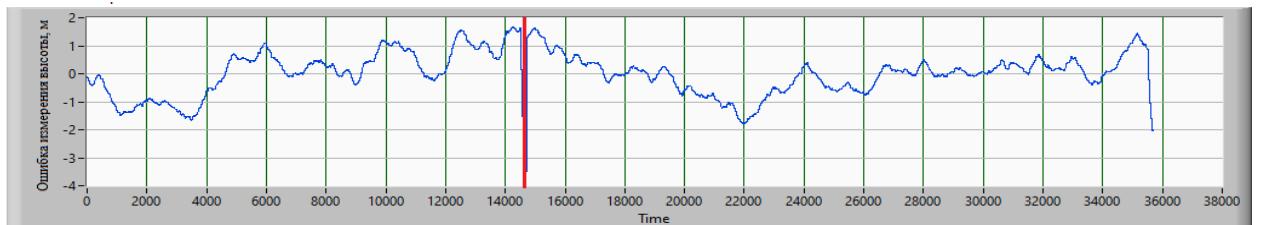


Рисунок 10 – Данные изменения высоты приемником GNSS с лог-файла

Приемник GNSS решал задачу позиционирования по 25 навигационным спутникам систем GPS, GALILEO и ГЛОНАСС одновременно. Результаты обработки измерений с выхода приемника GNSS представлены на рис. 11, а – погрешности позиционирования в плане (погрешности определения широты и долготы), рис. 11, б – погрешность определения высоты.



а)



б)

Рисунок 11 – Погрешности позиционирования приемником GNSS:
а) погрешности в плане; б) погрешность измерения высоты

Результаты статистической обработки данных с выхода приемника GNSS приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Результаты статистической обработки данных

	σ_ϕ , м	σ_λ , м	σ_h , м	<i>HDOP</i>	<i>VDOP</i>	Количество НС
1-й эксперимент	0,125	0,13	0,91	0,54	1,14	24
2-й эксперимент	0,136	0,116	0,64	0,49	0,98	26

Данные, приведённые в табл. 5 и табл. 4, достаточно хорошо согласуются между собой. Отличие в оценках статистических характеристик погрешностей связано с различием условий проведения экспериментов по датам, времени суток и условиям прохождения сигналов от НС в ионосфере.

Как показали результаты экспериментов, фактическая погрешность стабилизации квадрокоптера по данным приемника GNSS оказалась хуже, чем точность позиционирования самим GNSS приёмником. Это может быть связано с особенностями алгоритмического обеспечения полётного контроллера квадрокоптера и реализованным принципом комплексной обработки информации от бортовых навигационных датчиков.

Из полученных результатов следует, что точность позиционирования квадрокоптера по данным приёмника GNSS хуже, чем по оптической системе,

но во всех проведённых экспериментах соответствует характеристикам, указанным в технической документации квадрокоптера DJI Air 2S.

Заключение

В данной работе предложена методика определения погрешностей позиционирования квадрокоптера DJI Air 2S, основанная на обработке данных, получаемых по видеоканалу. Разработан программный комплекс, реализующий данную методику, проведено его тестирование. Показано, что точность фиксации пространственного положения предложенным методом и алгоритмом составляет доли сантиметра при висении над тестовой поверхностью.

Результаты проведённых экспериментов подтвердили соответствие фактической точности позиционирования (стабилизации) квадрокоптера DJI Air 2S в режиме висения заявленным в его технической документации.

Показано, что при штатном функционировании оптической системы точность позиционирования (стабилизации) квадрокоптера будет наилучшей и составляет первые единицы сантиметров как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. При этом на точность позиционирования квадрокоптера не влияет худшая точность выходных данных приёмника GNSS.

При позиционировании по данным приёмника GNSS точность стабилизации квадрокоптера оказалась несколько хуже, чем точность выходных данных приёмника GNSS. Возможной причиной такого эффекта являются особенности комплексной обработки информации приёмника GNSS и модуля IMU в полётном контроллере.

Библиографический список

Алгоритмы управления траекториями беспилотных авиационных комплексов при полете в составе группы / А. К. Ермаков, Т. Ю. Портнова, Б. В. Лежанкин, В. В. Ерохин // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXIV Международной научной конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 31 мая – 04 2021 года. Том Часть 2. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. С. 62-69. EDN YIEIWM.

Ерохин В. В. Оценка параметров траекторного движения БПЛА при различной конфигурации источников навигационной информации / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Э. А. Болелов // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77, № 6. С. 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. EDN MVHGGW.

Межетов М. А. Перспективная схема автоматизированной системы радиомониторинга в задачах организации воздушного движения / М. А. Межетов, А. А. Шалаев, А. В. Федоров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 4(41). С. 74-85. EDN CLTAPD.

Скрыпник О. Н. Проблемы безопасности полетов при интеграции беспилотных авиационных систем в общее воздушное пространство / О. Н. Скрыпник, Р. А. Вишневский, М. К. Завалей // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 226-228. EDN QLOQLM.

Скрыпник О. Н. Оценка характеристик погрешностей позиционирования комбинированных ГЛОНАСС/GPS приемников / О. Н. Скрыпник, Р. О. Арефьев, Н. Г. Арефьева // Современные научные технологии. 2019. № 10-2. С. 296-301. EDN VSQSMT.

Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства РФ от 21.06.2023 № 1630-р // [Электронный ресурс]. 2023. –

<https://static.government.ru/media/fles/3m4AHa9s3PrYTDs316ibUtyEVUpnRT2x.pdf> (дата обращения: 13.02.2024).

Трусфус М. В. Измерение расстояний по изображениям с камеры // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Материалы Международной молодёжной научной конференции. В 6-ти томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. Том IV. Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. С. 454-460. EDN NOUCFR.

Шубникова И. С. Анализ способов и алгоритмов определения параметров объекта и расстояния до него по изображению / И. С. Шубникова, К. А. Палагута // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2013. Т. 1. С. 352-355. EDN RXEXGB

Assessment of Accuracy in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pose Estimation with the REAL-Time Kinematic (RTK) Method on the Example of DJI Matrice 300 RTK / S. Czyż, K. Szuniewicz, K. Kowalczyk, A. Dumalski, M. Ogrodniczak, Ł. Zieleniewicz // Sensors. 2023. № 23. p. 2092. <https://doi.org/10.3390/s23042092>.

Bradski G. The OpenCV Library // Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer. 2000. Vol. 25, № 11. P. 120-123. EDN EOYXGL.

Ekaso D. Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct geo-referencing / D. Ekaso, F. Nex, N. Kerle // Geo-Spat. Inf. Sci. 2020. № 23. p. 165–181.

Glomsvoll O. Jamming of GPS & GLONASS signals // Department of Civil Engineering, Nottingham Geospatial Institute, 2014. 80 p.

ICAO. Doc.9613/AN 937. Performance based navigation (PBN). Manual. third edition. 2008. 294 p.

Rosebrock A. Find distance from camera to object/marker using Python and OpenCV // [Электронный ресурс]. 2015. – URL: <https://pyimagesearch.com/2015/01/19/find-distance-camera-objectmarker-using-python-opencv/> (дата обращения: 10.02.2024).

Suzuki S. Topological structural analysis of digitized binary images by border following / S. Suzuki, Keiichi A be // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1985. № 30(1). p. 32-46.

References

- Bradski G. (2000). The OpenCV Library // Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer. 25(11). 120-123. EDN EOYXGL.*
- Czyż S., Szuniewicz K., Kowalczyk K., Dumalski A., Ogrodniczak M., Zieleniewicz Ł. (2023). Assessment of Accuracy in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pose Estimation with the REAL-Time Kinematic (RTK) Method on the Example of DJI Matrice 300 RTK. Sensors. 23, 2092.*
- Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Bolelov E. A. (2023). Estimation of the parameters of the trajectory movement of an unmanned aerial vehicle with different configurations of navigation information sources. Telecommunications and Radio Engineering. 77(6): 35-49. EDN MVHGGW. (In Russian)*
- Ermakov A. K. Portnova T. Yu., Lezhankin B. V., Erokhin V. V. (2021). Trajectory control algorithms for unmanned aircraft complexes flying in formation. Volnovaya elektronika i infokommunikacionnye sistemy : Materialy XXIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. V 3-h chastyah. Sankt-Peterburg: State University of Aerospace Instrumentation. 391: 62-69. EDN YIEIWM. (In Russian)*

- Ekaso D., Nex F., Kerle N.* (2020). Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct geo-referencing. *Geo-Spat. Inf. Sci.* 23: 165-181.
- Glomsvoill O.* Jamming of GPS & GLONASS signals // Department of Civil Engineering, Nottingham Geospatial Institute, 2014. 80 p.
- Rosebrock A.* (2015). Find distance from camera to object/marker using Python and OpenCV. Available at: <https://pyimagesearch.com/2015/01/19/find-distance-camera-objectmarker-using-python-opencv/> (accessed 10 February 2024)
- ICAO (2008). Doc. 9613/AN 937. Performance based navigation (PBN) Manual. Third edition. 2008. 294 p.
- Suzuki S., Keiichi A be* (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing.* 30(1): 32-46.
- Mezhetov M. A., Shalayev A. A., Fedorov A. V.* (2023). Perspective scheme of automated radio monitoring system in tasks of air traffic managment. *Vestnik sankt-peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviacii.* 4(41): 74-85. EDN CLTAPD. (In Russian)
- Skrypnik O. N., Arefyev R. O., Arefyeva N. G.* (2019). Estimation of positioning error characteristics of combined GLONASS / GPS receivers. *Modern high technologies.* 10-2. 296-301. (In Russian)
- Skrypnik O. N., Vishnevskij R. A., Zavalej M. K.* (2023). Flight safety problems when integrating unmanned aviation systems into the common air space. *Grazhdanskaya aviaciya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu otechestvennoj grazhdanskoy aviacii.* Moscow: ID Akademii imeni N. E. Zhukovskogo. 226-228. EDN QLOQLM (In Russian)
- Strategiya razvitiya bespilotnoj aviacii Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2035 goda, utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 21.06.2023 № 1630-p. Available at: <http://static.government.ru/media/fles/3m4AHa9s3PrYTDs316ibUtyEVUpnRT2x.pdf> (accessed 10 February 2024). (In Russian).
- Shubnikova I. S., Palaguta K. A.* (2013). Analysis of methods and algorithms for determining object parameters and distance to it by image. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo".* 352-355. EDN RXEXGB. (In Russian).
- Trusfus M.* (2019). Distance measurement using a single camera image. *XXIV tupolevskie chteniya (shkola molodyh uchenyh).* 6(4): 454-460. EDN NOUCFR. (In Russian).

УДК 04.891

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_146

АВИАТЕХПОМ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Александр Юрьевич Юрин,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
доктор технических наук, профессор
Иркутский национальный исследовательский
технический университет (ИРНИТУ),
ул. Лермонтова, д. 83.
Иркутск, 664074, Россия

Юрий Вячеславович Котлов,
orcid.org/0000-0002-7911-4857,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3,
Иркутск, 664003, Россия
yukotlov@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматриваются результаты проекта по созданию интеллектуальной системы поддержки принятия решений при поиске и устранении отказов и неисправностей воздушных судов – Авиационный Технический Помощник (АвиаТехПом). Приводится описание основных реализованных алгоритмов, функций, архитектуры и прототипа системы, а также дальнейшее направление развития разработки. В качестве целевого объекта для отработки решений выбрана система электроснабжения Сухой Суперджет. Текущая версия системы обеспечивает обработку информации, представленной в карточках учета неисправностей и руководстве по поиску и устранению неисправностей, на основе подходов, известных как рассуждения на основе логических правил (rule-based reasoning) и прецедентов (case-based reasoning). Для подготовки и модификации баз знаний используется табличный формализм представления знаний, обеспечивающий возможность применения общедоступных табличных редакторов и формата CSV. Разработанные алгоритмы реализованы в форме принципиальных прототипов настольного приложения и чат-бота.

Ключевые слова: АвиаТехПом, интеллектуальная система, диагностика авиационных систем и комплексов, система электроснабжения, Сухой Суперджет, настольное приложение, чат-бот.

AVIATEKHROM: STATUS AND PROSPECTS

Aleksandr Yu. Yurin,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
Doctor of Technical Sciences,
Irkutsk National Research Technical University,
st. Lermontov, 83.
Irkutsk, 664074, Russia

*Yuri V. Kotlov,
orcid.org/0000-0002-7911-4857,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664003, Russia
yukotlov@rambler.ru*

Abstract. This paper discusses the results of a project to create an intelligent decision support system for troubleshooting aircraft failures and malfunctions by the Aviation Technical Assistant (AviaTekhPom). The main implemented algorithms, functions, architecture and prototype of the system are described, as well as the further direction of the project development. The Sukhoi Superjet power supply system was chosen as the target object for testing solutions. The current version of the system provides processing of information presented in cards of accounting of malfunctions of aviation equipment and troubleshooting manuals, based on approaches known as rule-based reasoning and case-based reasoning. For preparation and modification of knowledge bases, a tabular formalism of knowledge representation is used, which provides the possibility of using publicly available tabular editors and CSV format. The developed algorithms are implemented in the form of conceptual prototypes of a desktop application and a chatbot.

Keywords: AviaTekhPom, intelligent system, diagnostics of aircraft systems and complexes, power supply system, Sukhoi Superjet, desktop application, chat-bot.

Введение

Задача повышения эффективности технической диагностики воздушных судов не теряет своей актуальности [Кирпичев и др., 2020; Макаров, 2008; Перфильев и др., 2018; Саввина, 2019], в том числе в контексте цифровизации, интеллектуализации и импортозамещения. При этом перспективным направлением является разработка интеллектуального программного обеспечения различного вида [Сухих и др., 2022; Chiu et al., 2004; Knowledge..., 2023; Pérez-Soler et al., 2020]: настольных приложений, облачных сервисов, виртуальных ассистентов с естественно-языковым разговорным интерфейсом и др.

С точки зрения реализуемых методов, существующие программные решения в области поддержки авиационной диагностики можно условно подразделить на две основные группы [End-user..., 2021]. Первая группа представляет собой решения в форме электронных технических руководств со специализированным запросным механизмом, наиболее известным примером которых являются системы технического обслуживания AirNav Maintenance [AirNav-Maintenance, б.г.] и MyBoeingFleet [MyBoeingFleet, б.г.]. При этом данный класс систем ограничен в части расширения (или самообучения), а также существует риск прекращения доступа к зарубежным системам в условиях санкционного давления. Вторая группа – интеллектуальные системы поддержки принятия решений, реализующие методы искусственного интеллекта [Варшавский и др., 2009; Джексон, 2001] и обеспечивающие использование баз знаний. В своем большинстве подобные средства существуют в форме исследовательских прототипов [Зрячев и др., 2022; Перфильев и др., 2018].

В данном контексте наиболее предпочтительным является создание отечественных систем, сочетающих принципы электронных руководств с классическими методами искусственного интеллекта (в частности, методом экспертных систем), а также методами математической теории принятия решений [Котлов, 2022]. В рамках данной задачи в Иркутском филиале МГТУ ГА осуществляется разработка интеллектуальной программной системы Авиационный Технический Помощник, далее АвиаТехПом [Towards an Intelligent..., 2023]. В качестве целевого объекта для отработки решений выбрана система электроснабжения Сухой Суперджет. Рассмотрим функции, алгоритмы, архитектуру и прототипы разрабатываемой системы.

Общие сведения и основные функции

АвиаТехПом представляет собой интеллектуальную систему поддержки принятия решений при поиске и устранении отказов и неисправностей воздушного судна. В качестве исходных данных для принятия решений используется: информация БСТО об отказах и неисправностях; информация о новых неисправностях, неучтенных в текущей версии документации, их статистические показатели, зафиксированные на основе опыта эксплуатации в карточках учета неисправностей авиационной техники (КУНАТ); а также информация об отказах и неисправностях из специализированной документации (в частности, руководств по поиску и устранению неисправностей или РПУН).

Основные функции АвиаТехПом [Towards an Intelligent..., 2023]: ввод, редактирование и хранение информации о системах воздушного судна, технической эксплуатации, отказах, неисправностях и работах по поиску и устранению неисправностей (отказов); поиск информации об отказах и неисправностях на основе информации БСТО с целью формирования списка возможных отказавших систем-претендентов; ввод, редактирование и хранение информации о новых отказах и неисправностях, неучтенных текущей версией документации; формирование плана работ по поиску, подтверждению и устранению отказов и неисправностей; сопровождение процесса технического обслуживания на основе предметно-ориентированного интерфейса.

Основные алгоритмы поддержки принятия решений и архитектура

В качестве основных методов искусственного интеллекта для реализации основных алгоритмов поддержки принятия решений были выбраны рассуждения на основе логических правил (rule-based reasoning) [Джексон, 2001] и прецедентов (case-based reasoning) [Варшавский и др., 2009]. Первый метод позволяет использовать информацию об отказах и неисправностях из специализированной документации (РПУН), представляя знания в виде логических правил типа «ЕСЛИ (условие) ТО (действие)». Второй метод – информацию о новых неисправностях, неучтенных в текущей версии документации, но которые фиксируются в форме КУНАТ в процессе

эксплуатации; представляя знания в виде прецедентов (фреймов) с четко определенными частями: «ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ» и «РЕШЕНИЕ».

Подробнее реализация методов в рамках проекта рассмотрена в [Towards an Intelligent..., 2023].

Архитектура АвиаТехПом, обеспечивающая реализацию основных функций и алгоритмов, представлена на рисунке 1.

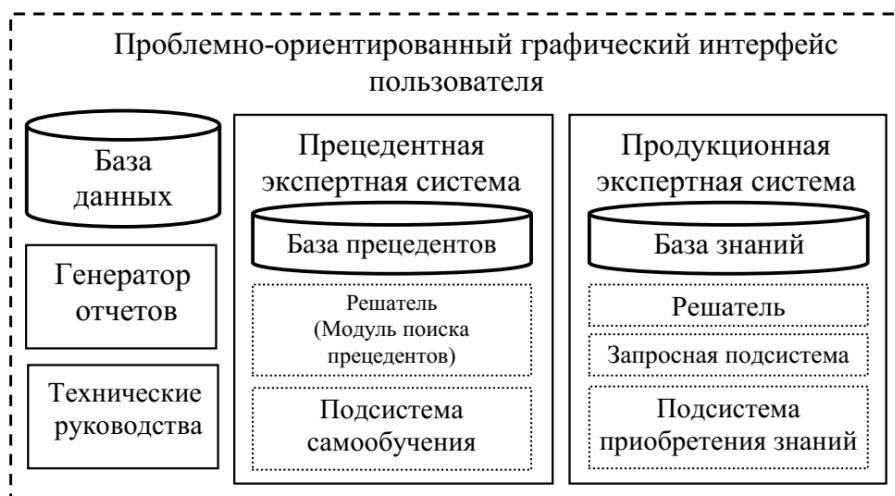


Рисунок 1 – Принципиальная архитектура АвиаТехПом

Способы модификации и сопровождения баз знаний

Одной из задач, решаемых в проекте, является обеспечение возможности изменения используемых системой данных и знаний конечными пользователями, которые, в общем случае, не являются программистами.

В данном контексте был рассмотрен подход, основанный на использовании визуального программирования и графических формализмов [End-user..., 2021], предлагающий вместо написания программных кодов использовать прямое манипулирование графическими элементами с последующей автоматической кодогенерацией и интерпретацией. В частности, была рассмотрена возможность использования формализмов диаграмм переходов состояний [End-user..., 2021] и деревьев событий [Knowledge Bases..., 2023] (Рисунок 2).

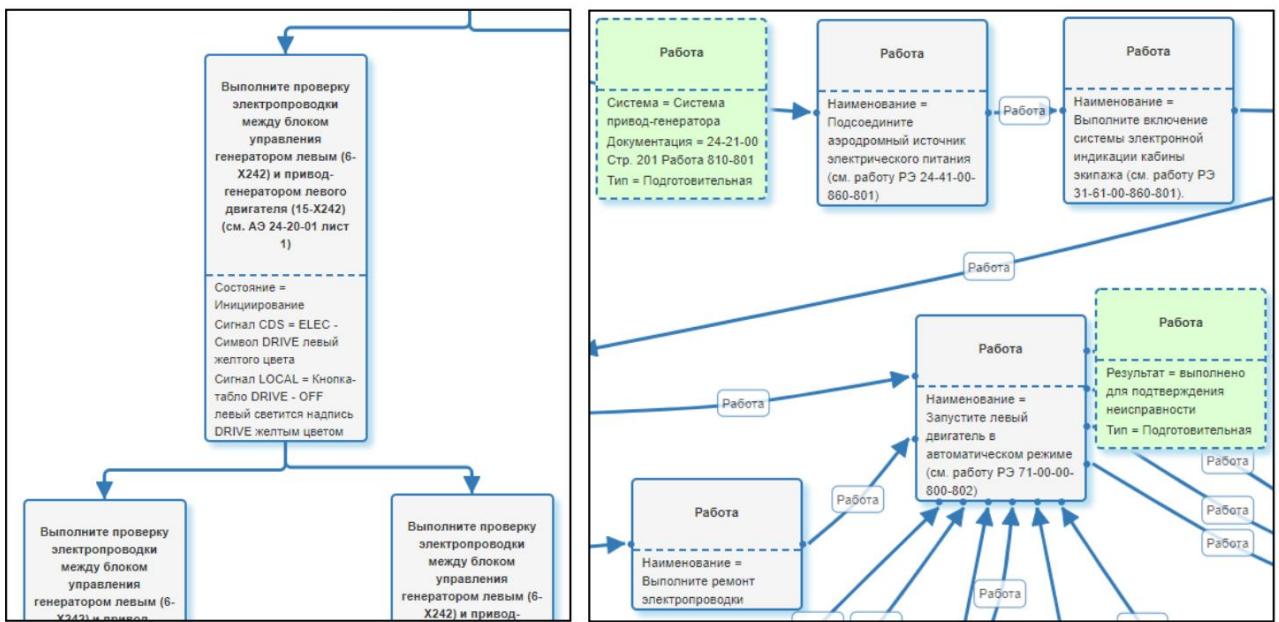


Рисунок 2 – Примеры диаграмм переходов состояний и деревьев событий

Тестирование данных способов показало падение эффективности визуального программирования при увеличении объема базы знаний, в частности, один из сегментов базы знаний по системе электроснабжения Сухой Суперджет содержал 836 правил, что сделало невозможным ее адекватную оценку (валидацию) и сопровождение экспертом-разработчиком с использованием графических формализмов.

В результате был сделан вывод о предпочтительности табличной формы представления и редактирования знаний [A Technique..., 2022], что в дальнейшем позволило использовать общедоступные текстовые редакторы, такие как Microsoft Excel, для подготовки данных для АвиаТехПом. При этом для хранения подготовленных файлов использован формат CSV (Comma-Separated Values), который интерпретируется программой. На рисунке 3 приведен пример фрагмента таблицы решений и соответствующий ей фрагмент файла в формате CSV. На рисунке 4 приведена структура логических правил, описываемая в заголовке таблицы, и пример конкретного правила, соответствующего приведенной структуре.

Рисунок 3 – Пример фрагмента таблицы решений в Microsoft Excel и ее представления в форме файла формата CSV

ЕСЛИ Работа (CAS, CDS, LOCAL, Система, Документация,
Наименование, Результат)
ТО Работа (Наименование, Тип)

ЕСЛИ Работа (CAS = «ELEC L GEN DRIVE FAULT (Caution)», CDS = «ELEC – Символ DRIVE левый желтого цвета», LOCAL = «Кнопка-табло DRIVE – OFF левый светится надпись DRIVE желтым цветом», Наименование = «Запустите левый двигатель в автоматическом режиме (см. работу РЭ 71-00-00-800-802)», Результат = «выполнено для подтверждения неисправности»)

ТО Работа (Наименование = «Выполните выключение левого двигателя (штатное) (см. работу РЭ 71-00-00-800-805)», Тип = «Подтверждение неисправности»)

Рисунок 4 – Примеры структуры логического правила и конкретного правила из базы знаний АвиаТехПом

На рисунке 5 приведена структура прецедента и пример конкретного прецедента, соответствующего приведенной структуре.

Описание проблемы:

КУНАТ (Номер, Дата, Проявления, Этап обнаружения, Последствия)
Неисправность (CAS, Код БСТО, CDS, LOCAL)
Воздушное судно (Борт.номер, Тип, Зав.номер, Наработка СНЭ, Наработка ППР)

Решение:

Ремонт (Система, Причина)

Описание проблемы:

КУНАТ (Этап обнаружения = «На земле – ОТО», Последствия = «Без последствий»)
Неисправность (CAS = «LMU2 CH9 не горит диод, CH7, CH8, CH-19, LMU2-19 не выполняется FAULT RESET»)
Воздушное судно (Тип = «RRJ-95B», Наработка СНЭ = «10275»)

Решение:

Ремонт (Система = «Система электроснабжения», Причина = «Блок выключателей-предохранителей (18-P246)»)

Рисунок 5 – Примеры структуры прецедента и конкретного прецедента из базы знаний АвиаТехПом

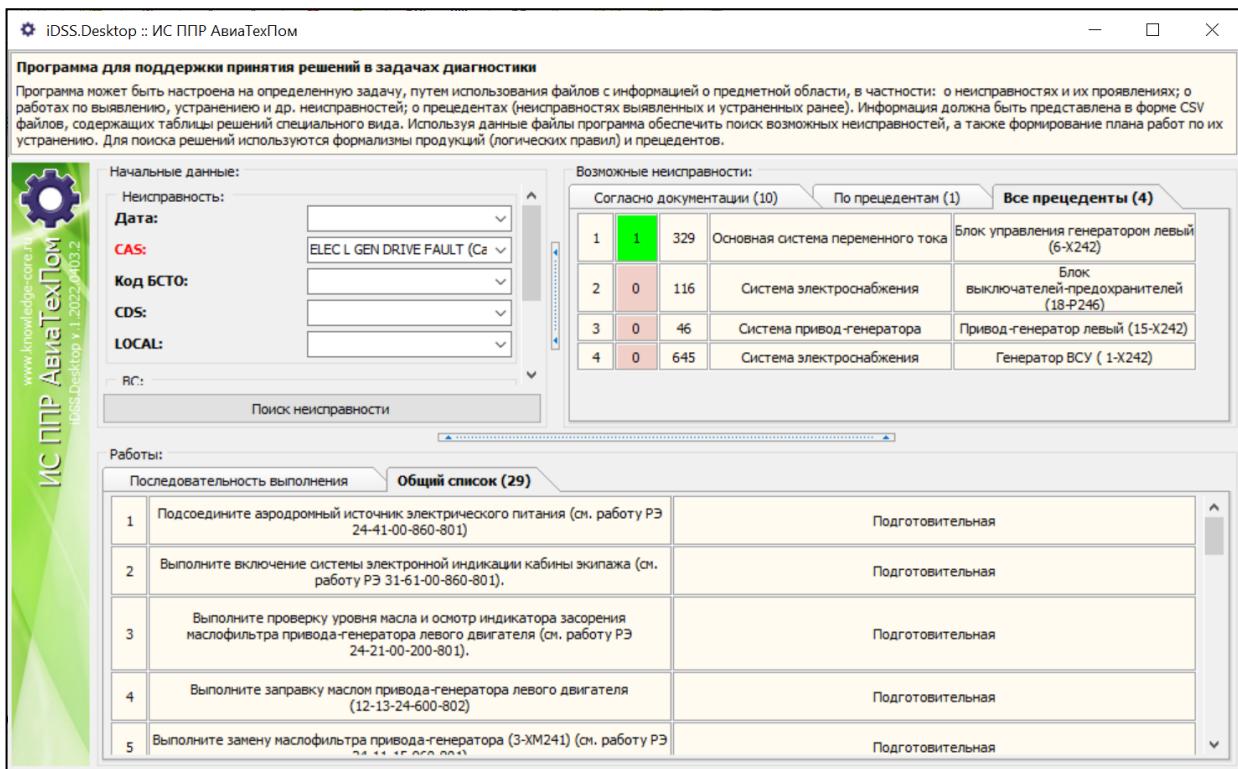


Рисунок 6 – Пример интерфейса прототипа настольного приложения

Программная реализация

Разработанные алгоритмы были реализованы в форме принципиальных прототипов. Первый прототип представляет собой настольное приложение (Рисунок 6) [iDSS.Desktop, 2023] для ноутбуков и планшетов с упрощенным интерфейсом; использует локальное размещение баз знаний, обеспечивающее возможность работы без подключения к Интернет; поддерживает возможность самостоятельного расширения базы знаний непрограммирующим пользователем благодаря использованию табличного представления данных и знаний. При этом был реализован принцип программы-оболочки, что позволяет перенастраивать систему на другой тип воздушного судна или систему. Разработка прототипа осуществлялась на основе платформы iDSS.Desktop [iDSS.Desktop, 2023], которая в свою очередь создана в среде Embarcadero Delphi XE.

Второй прототип представляет собой чат-бот [An Intelligent Assistant..., 2023] (Рисунок 7), данные и знания которого хранятся на сервере в форме файлов CSV (могут использоваться копии файлов настольного приложения); для его работы необходим доступ к Интернет; расширение и модификация файлов CSV осуществляется централизованно на сервере; в дальнейшем возможна реализация общения с пользователем на естественном языке. Прототип разработан на основе платформы JustAI [JustAI, б.г.].

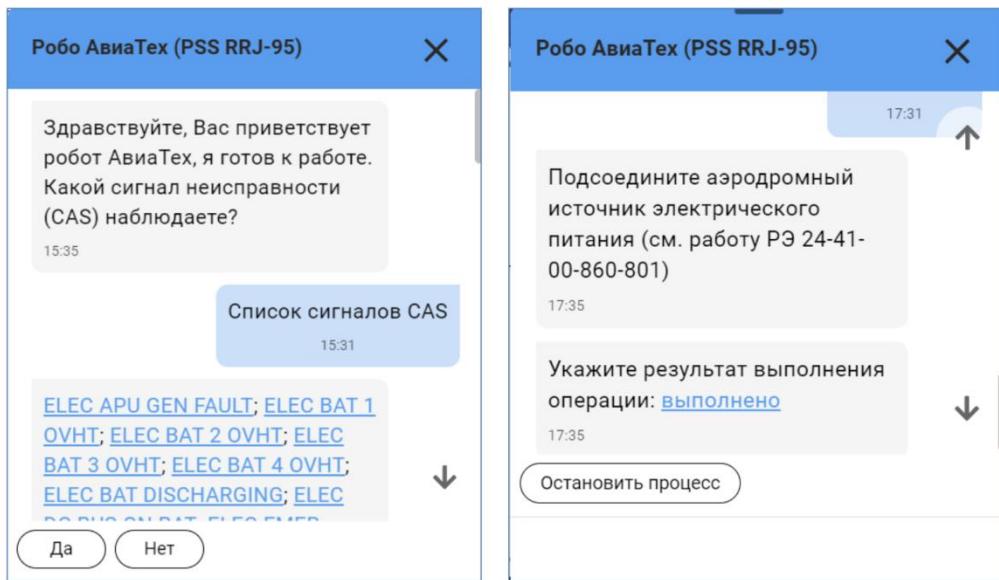


Рисунок 7 – Пример интерфейса прототипа чат-бота

Перспективы

В дальнейшем планируется продолжить работы над прототипами, в том числе рассмотреть следующие вопросы: повышение удобства использования систем в части совершенствования проблемно-ориентированного интерфейса пользователя; расширение базы знаний за счет других систем воздушного судна; использование методов математической теории принятия решений [Котлов, 2022] с целью обеспечения выбора оптимальной системы-кандидата с учетом различных критериев; доработка подсистемы общения с пользователем на естественном языке (текст и голос).

Помимо решения указанных задач планируется рассмотреть возможность создания интегрированного решения в форме веб-сервиса, который бы обеспечил: централизованное хранение данных и знаний на сервере в базе данных с возможностью выгрузки в файлы формата CSV; естественно-языковую поддержку общения; синхронизацию с локальными приложениями «по требованию» или в автоматическом режиме.

Заключение

Повышение эффективности решения задачи устранения отказов и неисправностей воздушного судна остается перспективной областью для автоматизации и интеллектуализации, в том числе, в контексте импортозамещения. В связи с этим актуальна разработка систем, основанных на методах искусственного интеллекта, обеспечивающих поддержку не только при поиске и устранении отказов и неисправностей, но и самообучающихся в процессе своего функционирования.

В данной статье описаны основные реализованные алгоритмы, функции, архитектура и прототипы АвиаTexПом в форме настольного приложения и чат-бота для отработки принципиальных решений, а также дальнейшее направление развития системы.

Библиографический список

- Варшавский П. Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П. Р. Варшавский, А. П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С.45-57.
- Джексон П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 623 с.
- Зрячев С. А. Разработка базы знаний послепродажного обслуживания авиационной техники / С. А. Зрячев, С. Н. Ларин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. № 5. С. 48-53.
- Кирпичев И. Г. Многофункциональная интегрированная платформа сопровождения технической эксплуатации воздушных судов / И. Г. Кирпичев, Д. В. Петров, Ю. М. Чинючин // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020. Т. 23. № 6. С. 28–37.
- Котлов Ю. В. Модели и алгоритмы многокритериальной диагностики авиационных систем // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции. Иркутск, 2022. С. 165-173.
- Макаров Н. Н. Синтез алгоритма функционирования информационно-управляющей системы контроля и диагностики состояния общесамолетного оборудования // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2008. № 1. С. 46-50.
- Перфильев О. В. Интеллектуальная система поиска неисправности на самолете / О. В. Перфильев, С. Г. Рыжаков, В. А. Должиков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. № 4(3). С. 326-331.
- Саввина А. М. Предложение по модернизации бортовой системы технического обслуживания самолета SSJ 100 // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2019. № 3(22). С. 27-35.
- Сухих Н. Н. Экспертные системы – средства информационной поддержки принятия решений экипажем самолета / Н. Н. Сухих, В. Л. Рукавишников // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2022. № 2. С. 19-25.
- A Technique for Rapid Development of Declarative Knowledge Bases for Aircraft Diagnostics Based on Decision Tables / A. Yu. Yurin, O. A. Nikolaychuk, N. O. Dorodnykh, Yu. V. Kotlov // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 502. P. 140-149. DOI:10.1007/978-3-031-09076-9_13.
- AirNav-Maintenance // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airnav.com> (дата обращения: 01.11.2023).
- An Intelligent Assistant for Decision Support in the Case of Aircraft Troubleshooting / N. O. Dorodnykh, A. B. Stolbov, O. A. Nikolaychuk, A. Yu. Yurin // Proceedings of IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). 2023. P. 1–5. DOI: 10.1109/ITNT57377.2023.10139242.
- Chiu C. Intelligent aircraft maintenance support system using genetic algorithms and case-based reasoning / C. Chiu, N. H. Chiu, C. I. Hsu // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2004. Vol. 24. P. 440–446. DOI: 10.1007/s00170-003-1707-x.
- End-user development of knowledge bases for semi-automated formation of task cards / N. O. Dorodnykh, Y. V. Kotlov, O. A. Nikolaychuk, V. M. Popov, A. Yu. Yurin // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2913. P. 60-73. DOI: 10.47350/ICCS-DE.2021.05.
- iDSS/Desktop*. Робо АвиаTex (PSS RRJ-95) // [Электронный ресурс]. 2023. URL: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=idss> (дата обращения: 01.11.2023).
- Just AI // [Электронный ресурс]. URL: <https://just-ai.com/> (дата обращения: 01.11.2023).
- Knowledge Bases Engineering Based on Event Trees Transformations: A Case Study for Aircraft Diagnostics / A. Yu. Yurin, O. A. Nikolaychuk, N. O. Dorodnykh, A. B. Stolbov, Yu. V. Kotlov, V. M. Popov // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 566. P. 3-12. DOI: 10.1007/978-3-031-19620-1_1.
- Knowledge representation and reuse model of civil aircraft structural maintenance cases / R. Lin, H. Wang, J. Wang, N. Wang // Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 216. P. 119460. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119460.

MyBoeingFleet // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.myboeingfleet.com> (дата обращения: 01.11.2023).

Pérez-Soler S., Guerra E., de Lara J. Model-Driven Chatbot Development / S. Pérez-Soler, E. Guerra, J. de Lara // Lecture Notes in Computer Science. 2020. Vol. 12400, P. 207–222.

Towards an Intelligent Decision Support System for Aircraft Troubleshooting / Yu. Kotlov, V. Popov, S. Mishin, A. Yurin // Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2023. P. 77-91. DOI: 10.1007/978-981-19-3788-0_7.

References

AirNav-Maintenance // [Electronic source]. URL: <https://www.airnav.com> (accessed 01 November 2023).

Chiu C., Chiu N. H., Hsu C.I. (2004). Intelligent aircraft maintenance support system using genetic algorithms and case-based reasoning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 24: 440-446. DOI: 10.1007/s00170-003-1707-x.

Dorodnykh N. O., Kotlov Y. V., Nikolaychuk O. A., Popov V. M., Yurin A. Yu. (2021). End-user development of knowledge bases for semi-automated formation of task cards. *CEUR Workshop Proceedings*. 2913. 60-73. DOI: 10.47350/ICCS-DE.2021.05.

Dorodnykh N. O., Stolbov A. B., Nikolaychuk O. A., Yurin A. Yu. (2023). An Intelligent Assistant for Decision Support in the Case of Aircraft Troubleshooting. *Proceedings of IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*. 1–5. DOI: 10.1109/ITNT57377.2023.10139242.

IDSS.Desktop. Robo AviaTech (PSS RRJ-95). (2023) // [Electronic source]. URL: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=idss> (accessed 01 November 2023).

Jackson P. (2001). Introduction to expert systems. Moscow: Williams, 2001. 623 p. (in Russian)
Just AI // [Electronic source]. <https://just-ai.com/> (accessed 01 November 2023).

Kirpichev I. G., Petrov D. V., Chinyuchin Yu. M. (2020). Multifunctional integrated platform for maintenance of technical operation of aircraft. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. 23(6): 28-37. (in Russian)

Kotlov Y., Popov V., Mishin S., Yurin A. (2023). Towards an Intelligent Decision Support System for Aircraft Troubleshooting. *Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 77-91. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_7.

Kotlov Yu. V. (2022). Models and algorithms of multi-criteria diagnostics of aviation systems. In the collection: *Current problems and prospects for the development of civil aviation. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*. 165-173. (in Russian)

Lin R., Wang H., Wang J., Wang N. (2023). Knowledge representation and reuse model of civil aircraft structural maintenance cases. *Expert Systems with Applications*. 216: 119460. DOI 10.1016/j.eswa.2022.119460.

Makarov N. N. (2008). Synthesis of the algorithm for the functioning of the information control system for monitoring and diagnostics of the state of general aircraft equipment. *Russian Aeronautics*. 1: 46-50. (in Russian)

MyBoeing Fleet. Available at: <https://www.myboeingfleet.com> (accessed 01 November 2023).

Pérez-Soler S., Guerra E., de Lara J. (2020). Model-Driven Chatbot Development. *Lecture Notes in Computer Science*. 12400: 207-222.

Perfiliev O. V., Ryzhakov S. G., Dolzhikov V. A. (2018). Intelligent fault finding system on an airplane. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 4(3): 326-331. (in Russian)

Savvina A. M. (2019). Proposal for the modernization of the onboard maintenance system of the SSJ 100 aircraft. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3(22): 27-35. (in Russian)

- Sukhoi N. N., Rukavishnikov V. L.* (2022). Expert systems – means of information support for aircraft crew decision making. *Russian Aeronautics*. 2: 19-25. (in Russian)
- Varshavsky P. R., Eremeev A. P.* (2009). Modeling of reasoning based on precedents in intelligent decision support systems. *Artificial intelligence and decision making*. 2: 45–57. (in Russian)
- Yurin A. Yu., Nikolaychuk O. A., Dorodnykh N. O., Kotlov Yu. V.* (2022). A Technique for Rapid Development of Declarative Knowledge Bases for Aircraft Diagnostics Based on Decision Tables. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 502: 140-149. DOI 10.1007/978-3-031-09076-9_13.
- Yurin A. Yu., Nikolaychuk O. A., Dorodnykh N. O., Stolbov A. B., Kotlov Y. V., Popov V. M.* (2023). Knowledge Bases Engineering Based on Event Trees Transformations: A Case Study for Aircraft Diagnostics. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 566: 3-12. DOI 10.1007/978-3-031-43789-2_30.
- Zryachev S. A., Larin S. N.* (2022). Development of a knowledge base for after-sales service of aviation equipment. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 5: 48-53. (in Russian)

УДК 656. 073.7

ББК 39.380.3

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_157

УСТАНОВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ПЛАНА ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В ГОРОДАХ

Евгений Евгеньевич Витвицкий,

orcid.org/0000-0002-0155-8941,

доктор технических наук, профессор

Сибирский государственный

автомобильно-дорожный университет,

член-эксперт комиссии по вопросам цифровой и низкоуглеродной трансформации

отрасли, ускоренному внедрению новых технологий Общественного совета

при Министерстве транспорта РФ,

пр. Мира, 5

Омск, 644080, Россия

vitvitsky_ee@mail.ru

Роксана Еноковна Шипицына,

orcid.org/0000-0002-0730-6569,

аспирант

Сибирский государственный

автомобильно-дорожный университет,

пр. Мира, 5

Омск, 644080, Россия

roxy4k@mail.ru

Аннотация. В статье представлена одна из возможных транспортных ситуаций, полученная при решении транспортной задачи линейного программирования и задачи маршрутизации. Выполнен поиск подхода к возможности исполнения полученного при решении задачи маршрутизации плана перевозок при применении различных методов организации перевозок грузов и условий «Инкотермс». Сделан вывод о возможности использования в современной практике территориального метода централизованных перевозок грузов автомобильным транспортом в городах.

Ключевые слова: метод маршрутизации, матрица совмещенных планов, транспортные ситуации, маршруты, план перевозок, централизованные перевозки, транспортный метод.

ESTABLISHING THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTING THE PLAN DURING CENTRALIZED TRANSPORTATION OF CARGO BY ROAD TRANSPORT IN CITIES

Evgeny E. Vitvitsky,

orcid.org/0000-0002-0155-8941,

Doctor of Technical Sciences, Full professor

The Siberian State Automobile and Highway University,

*member of the expert commission on digital and low-carbon transformation of the industry,
accelerating the introduction of new technologies in the Russian Federation of the Public Council
under the Ministry of Transport,*

Mira, 5

Omsk, 644080, Russia

vitvitsky_ee@mail.ru

Roxana E. Shipitsyna,

orcid.org/0000-0002-0730-6569,

postgraduate student

The Siberian State Automobile and Highway University,

Mira, 5

Omsk, 644080, Russia

roxy4k@mail.ru

Abstract. The article presents one of the possible transport situations obtained by solving the routing problem. The article outlines an approach to executing the transportation plan obtained when solving the routing problem when using various methods of organizing cargo transportation and “Incoterms” conditions. The authors come to the conclusion that it is possible to use the territorial method of centralized transportation of goods by road in cities in modern practice.

Keywords: routing method, matrix of combined plans, transport situations, routes, transportation plan, centralized transportation, transport method.

Введение

Планирование перевозок грузов – это сложный многосторонний процесс, который определяет вектор работы и коммерческие взаимоотношения грузоотправителей, грузополучателей и транспортных предприятий [Геронимус и др., 1988; Грузовые..., 1975]. Без правильной постановки задач планирования, применения научно обоснованных подходов и методов оптимизации, которые соответствовали бы реальной сложившейся практике перевозок в конкретный период времени, невозможно получать оптимальные или близкие к оптимальным управлочные решения [Геронимус и др., 1988; Грузовые..., 1975]. На конечную стоимость товара оказывают влияние затраты на перевозку грузов. Конечный потребитель заинтересован в том, чтобы стоимость товаров была меньше, и в этом вопросе интересы потребителей должно защищать государство.

Для защиты интересов населения у государства должен быть инструмент и отлаженный механизм, позволяющий согласовывать действия участников транспортного процесса. Отлично зарекомендовавшие себя в период до становления рыночной экономики в РФ методы оптимизации, в частности транспортная задача линейного программирования, в сегодняшней практике не используются, в том числе потому, что сегодня участники

транспортного процесса являются отдельными физическими или юридическими лицами, которые имеют свой коммерческий интерес.

Следовательно, в условиях современной сложившейся практики перевозок грузов возникает необходимость вернуться к проработке теоретических положений оптимизации планирования перевозок грузов в городах с целью разработки инструмента управления, который был бы согласован со средой [Витвицкий и др., 2023, Яркина, 2023], что позволило бы государству, например, в лице губернатора, реализовывать функции управления в интересах населения.

Материалы и методы

Одним из экономико-математических методов, используемых для решения задач оптимизации планирования грузовых автомобильных перевозок, является транспортная задача линейного программирования (далее – ТЗЛП) [Шипицына, 2022], математическая сущность и методы решения которой известны) [Dantzig, 1963]. Решение ТЗЛП состоит из нескольких основных шагов [Шипицына, 2022]:

Шаг первый: Построение любым известным методом начального опорного плана груженых ездок (далее – опорный план);

Шаг второй: Построение любым известным методом оптимального плана возврата порожних автотранспортных средств (АТС) (далее – оптимальный план) путем последовательного улучшения опорного плана;

Шаг третий: Решение задачи маршрутизации методом совмещенных матриц (опорного и оптимального планов) [Воркут, 1986; Оптимальное..., 1969; Sarder, 2021].

Обращаясь к одному из основоположников теории экономико-математических методов – проф. Л.Б. Геронимусу – решение задачи маршрутизации является одной из важнейших задач оперативного планирования перевозок грузов и заключается в «составлении рациональных маршрутов движения АТС, обеспечивающих сокращение непроизводительных холостых пробегов в целом по всему подвижному составу» [Геронимус и др., 1988, с. 74]. В результате решения ТЗЛП мы получаем опорный и оптимальный план перевозок, но это не конечный результат – необходимо на основе планов перевозок решить задачу маршрутизации и, что не менее важно, верно расшифровать полученные результаты [Грузовые..., 1975].

Дискуссия

В ряде работ говорится [Воркут, 1986, Грузовые..., 1975; Геронимус и др., 1988], что метод совмещенных матриц является одним из распространённых методов маршрутизации, его суть заключается в том, что «вначале выявляют маятниковые маршруты с обратным негруженым пробегом, а остальное объединяют в кольцевые маршруты». Для этого в матрицу опорного плана (цифры которого представляют без скобок) вписывают матрицу оптимального плана (цифры которого представляют в

скобках) [Витвицкий и др., 2023]. В результате получается матрица совмещенных планов.

В результате применения метода совмещенных матриц и создания матрицы совмещенных планов могут наблюдаться различные транспортные ситуации, которые отражены в ранее опубликованных работах авторов [Витвицкий и др., 2023; Шипицына и др., 2021], и они аналогичны транспортным ситуациям, рассмотренным в ряде других работ [Геронимус и др., 1988; Грузовые..., 1975].

Рассмотрим одну из возможных транспортных: в матрице оказались заполнены несколько клеток, в части из которых указано по две цифры (в скобках и без скобок), а в части – указано только по одной цифре (либо в скобках, либо без скобок).

В данной ситуации вариации могут быть следующие:

Транспортная ситуация 1.1. В клетке, где две цифры – цифра без скобок больше, чем цифра в скобках;

Транспортная ситуация 1.2. В клетке, где две цифры – цифра без скобок меньше, чем цифра в скобках [Витвицкий и др., 2023].

Согласно вышеизложенному [Грузовые..., 1975], в клетке, где цифры (в скобках и без скобок), получен маятниковый маршрут с обратным негруженым пробегом, плановый объем перевозок определяется меньшей по величине цифрой в загруженной клетке [Обоснование..., 2022].

После выборки маятниковых маршрутов с обратным негруженым пробегом в матрице наблюдаются загруженные клетки, в которых указано по одной цифре (либо в скобках, либо без скобок). В матрице производят построение многозвездных кольцевых маршрутов согласно соответствующей процедуре [Воркут, 1986].

Согласно [Грузовые..., 1975], порожний пробег подвижного состава при перевозке грузов по рациональным маршрутам зависит от выбора начального пункта маршрута. На маятниковых маршрутах начало маршрута определено однозначно. На кольцевых – «число возможных вариантов соответствует числу пунктов погрузки на маршруте. В общем случае начальная точка кольцевого маршрута выбирается таким образом, чтобы при возврате подвижного состава в гараж на последнем обороте исключался самый длинный участок порожнего пробега по маршруту» [Геронимус и др., 1988].

В современной торгово-транспортной практике грузы перевозятся на условиях международных правил «Инкотермс-2020» [Incoterms..., 2020], образующих коммерческую и юридическую основу взаимоотношений участников транспортного процесса [Айтбагина, 2019]. Полученный план перевозок соотнесем с дальнейшими формами организации перевозок грузов и правилами «Инкотермс».

Организация перевозок груза обусловлена решениями в договорах купли-продажи товара [Айтбагина, 2018]. Для грузовых автомобильных перевозок наиболее актуально заключение торговых сделок на условиях «EXW (франко- завод)», «CPT (перевозка оплачена до)», «CIP (перевозка и

страхование оплачены до)», «DAP (поставка в месте назначения)» [Incoterms..., 2020].

Результаты

Далее, согласно монографии [Проектирование..., 2001], необходимо проработать организацию выполнения разработанного плана перевозок. Выполнение разработанного плана возможно в рамках нескольких форм организации перевозок (таблица 1) [Витвицкий и др., 2023].

Таблица 1 – Формы организации перевозок разработанного плана

Форма организации перевозок в рамках договора на перевозку грузов	
Децентрализованные	Централизованные
Методы реализации	
на условиях заключения сделок «EXW (франко- завод)»	Транспортный
	Отправительский
	Отраслевой
	Территориальный
	«По собственности»

Для децентрализованной формы организации перевозок характерно заключение торговых сделок на условиях «EXW (франко- завод) – право собственности на товар переходит к грузополучателю на территории грузоотправителя» [Айтбагина, 2019]. На условиях «EXW (франко- завод)» и при учете разной собственности грузоотправителей появляется невозможность выполнения полученного в результате решения задачи маршрутизации плана по ряду причин [Витвицкий и др., 2023]:

Во-первых, поскольку все грузоотправители разной собственности, из-за рассогласованности их интересов возникает невозможность выполнения кольцевых маршрутов – они распадаются на маятниковые с обратным негруженым пробегом;

Во-вторых, при децентрализованной перевозке («EXW (франко- завод)») образуется самоорганизующаяся очередь из-за непредсказуемого прибытия разных автомобилей разных грузополучателей к посту (постам) погрузки;

В-третьих, в случае заключении сделок на условиях «EXW (франко- завод)» появляется возможность отсутствия необходимого объема или номенклатуры груза у грузоотправителя или неготовность товара к перевозке, поскольку время прибытия отдельного автомобиля отдельного грузополучателя и его порядок погрузки, среди других, заранее не известно;

В-четвертых, сложившаяся практика поочередной работы единственного материально ответственного лица (кладовщика) грузоотправителя с каждым грузополучателем также приводит к очереди в ожидании начала процесса погрузки и при оформлении документов.

Для централизованной формы организации перевозок грузов характерно заключение сделок на условиях «CPT (перевозка оплачена до)», «CIP

(перевозка и страхование оплачены до)», «DAP (поставка в месте назначения)» [Айтбагина, 2018; Incoterms..., 2020].

Для централизованной формы организации перевозок рассмотрим возможность исполнения полученного при решении задачи маршрутизации плана перевозок:

а) При транспортном методе организации централизованных перевозок в случае, если каждым перевозчиком будет применяться изолированное планирование (организатор рассчитает план перевозок по каждому клиенту отдельно и независимо от других организаторов), транспортная ситуация вырождается в ситуацию сделок на условиях EXW (франко- завод), поскольку от разных перевозчиков прибывают их АТС и самоорганизуется очередь на погрузку, последствий чего никто не может предсказать. Также возможна ситуация невыполнения плана, в практике крупных городов перевозчиков не один десяток, все перевозчики разной формы собственности и действуют каждый в своих интересах [Витвицкий и др., 2023]. Следовательно, транспортный метод централизованных перевозок груза реализовать невозможно.

б) При отправительском методе организации централизованных перевозок при учете разной собственности грузоотправителей и грузополучателей появляется невозможность выполнения полученного, в результате решения задач ТЗЛП и маршрутизации, плана по ряду причин:

Во-первых, грузоотправители и грузополучатели – это предприятия разных собственников и делиться работой и ее результатами, в интересах критерия оптимизации и общества, они не обязаны в силу положений Устава коммерческого предприятия – получение прибыли;

Во-вторых, при использовании изолированного планирования грузоотправителем будет наблюдаться так же, как и в п. а, самоорганизующаяся очередь при прибытии к грузоотправителю на погрузку автомобилей разных перевозчиков – собственников АТС.

В-третьих, реализация кольцевых маршрутов невозможна (поскольку в отправительском методе грузоотправитель один, а в ТЗЛП несколько) – они распадаются на ряд маятниковых маршрутов с обратным негруженым пробегом.

в) На сегодняшний день отраслевой метод не реализуем, так как нет структуры отраслей народного хозяйства и единой собственности как в СССР (все предприятия частные и разных собственников), поэтому в рамках этого метода невозможно рассмотреть организацию выполнения полученного при решении задачи маршрутизации плана перевозок в рамках отраслевого метода.

г) Территориальный метод, при котором центр управления – посредник, которого грузоотправители и грузополучатели наделили компетенциями по организации, планированию и управлению перевозками. План перевозок от каждого грузоотправителя может быть рассчитан в рамках ТЗЛП и матрицы совмещенных планов. От каждого грузоотправителя при разработке плана перевозок создаются многозвенные задания по общему для всех АТС единому

расписанию: маятниковых, кольцевых и радиальных маршрутов не наблюдается [Войтенков и др., 2015]. Первые погрузки АТС от всех постов погрузки от всех грузоотправителей выполняются одновременно, с места разгрузки любое АТС направляется в ближайший пост погрузки любого грузоотправителя, с учетом занятости постов погрузки или в ближайший – по минимальному расстоянию. В данном случае создается и исполняется одно и общее расписание работы всех АТС и всех грузовых пунктов в совокупности средних АТСПГ. Применение территориального метода позволяет сократить потребность в транспортных средствах до 30% в смену перевозок груза в городе [Войтенков и др., 2013].

д) В работе [Федосеенкова, 2021] автором описан еще один метод централизованных перевозок, сложившийся сегодня на практике и названный в СибАДИ – «по собственности» – где отсутствует автотранспортное предприятие, перевозки осуществляет грузоотправитель своими АТС или наемными, на любом законном основании. В рамках этого метода учитывается, что в пункте погрузки на практике может наблюдаться несколько постов. Учитывая разную форму собственности грузоотправителей, аналогично пункту «б», появляется невозможность выполнения полученного в результате решения задачи маршрутизации плана перевозок груза на кольцевых маршрутах, поскольку каждый грузоотправитель работает отдельно от других и самостоятельно.

Заключение

Подробное рассмотрение одной из возможных транспортных ситуаций, полученной при использовании ТЗЛП и матрицы совмещенных планов, и поиск подхода к ее реализации в условиях Инкотермс позволяют сделать вывод о том, что в современной практике перевозок грузов возможно использование территориального метода централизованных перевозок вне контрактов, заключенных на условиях «EXW (франко-завод)». Основная проблема заключается в том, что в постановке ТЗЛП не учитывается форма собственности предприятий, участвующих в перевозках грузов в городах.

Библиографический список

Айтбагина Э. Р. Развитие метода организации централизованных перевозок строительных грузов в городах автомобильным транспортом // [Электронный ресурс] / Э. Р. Айтбагина, Е. Е. Витвицкий. Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2018. 150 с. EDN AFBQTZ.

Айтбагина Э. Р. Развитие метода централизованных перевозок строительных грузов автомобильным транспортом в городах: дис.... канд. техн. наук: 05.22.10 / Э. Р. Айтбагина. Омск, 2019. 192 с.

Витвицкий Е. Е. Аспекты организации выполнения плана перевозок грузов помашинными отправками в городах, созданного при решении транспортной задачи линейного программирования / Е. Е. Витвицкий, Р. Е. Шипицына // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3-3(82). С. 46-53. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-3(82)-46-53. EDN SQCFCR.

- Войтенков С. С. К вопросу о терминологии на автомобильном транспорте / С. С. Войтенков, Д. В. Шаповал, Е. Е. Витвицкий // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 4(44). С. 11-15. EDN UJLJTB.
- Войтенков С. С. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах / С. С. Войтенков, Е. Е. Витвицкий. Омск; Изд-во СибАДИ, 2013. 175 с. EDN VJUCWP.
- Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища шк., 1986. 447 с.
- Геронимус Б. Л. Экономико-математические методы планирования на автомобильном транспорте / Б. Л. Геронимус, Л. В. Царфин. М.: Транспорт, 1988. 191 с. EDN YTKWBV.
- Грузовые автомобильные перевозки / под общ. ред. М. И. Раффа. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища школа, 1975. 286 с.
- Обоснование технологии перевозок автомобилями ограниченных отправок угля в городе / Е. Е. Витвицкий, Н. И. Юрьева, Г. О. Тажигулова [и др.] // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 3(85). С. 358-369. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-3-358-369. EDN XMRZLI.
- Оптимальное планирование на автомобильном транспорте / Под общ. ред. Синицкого А. З. М.: Изд-во «Транспорт», 1969. 76 с.
- Проектирование автотранспортных систем доставки грузов / В. И. Николин, С. М. Мочалин, Е. Е. Витвицкий, И. В. Николин. Омск : СибАДИ, 2001. 184 с. EDN XUGMAD.
- Федосеенкова Е. С. Совершенствование оперативного планирования перевозок строительных грузов в городах с учетом неравномерности выполнения операций транспортного процесса: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Е. С. Федосеенкова. Оренбург: 2021. 254 с.
- Шипицына Р. Е. Об алгоритме решения транспортной задачи линейного программирования / Р. Е. Шипицына // Техника и технологии наземного транспорта : Сборник трудов аспирантов (с международным участием) / Под научной редакцией Е. Е. Витвицкого. Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. С. 70-75. EDN OAEKSM.
- Шипицына Р. Е. Сравнение результатов применения методов решения транспортной задачи линейного программирования / Р. Е. Шипицына, Е. Е. Витвицкий // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2021. № 2. С. 6-23. DOI 10.51955/2312-1327_2021_2_6. EDN YTPWFQ.
- Яркина В. Е. Постановка задачи оптимизации маршрутов грузовых мультимодальных перевозок / В. Е. Яркина, Е. К. Яркин // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 1-2(80). С. 57-63. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-57-63.
- Dantzig G. Linear Programming and Extensions. Princeton University Press, 1963. 366 P.
- Incoterms® 2020. Правила ICC по использованию национальных и международных торговых терминов. Публикация ICC № 723ER = Incoterms® 2020. ICC Rules for the use of domestic and international trade terms. ICC Publication № 723 / [пер. с англ. Н. Г. Вилковой]. М.: ICC Russia, 2020. 400 с.
- Sarder M. Logistics transportation problems with linear programming // Logistics Transportation Systems. pp. 137–167. doi:10.1016/b978-0-12-815974-3.00006-x

References

- Aitbagina E. R. (2019). Development of a method of centralized transportation of construction goods by road in cities: dis. Ph.D. tech. sciences: 05.22.10 / E. R. Aitbagina. Omsk, 2019. 192 p. (in Russian)
- Aitbagina E. R., Vitvitsky E. E. (2018). Development of a method for organizing centralized transportation of construction cargo in cities by road: monograph. Omsk: SibADI, 2018. 150 p. (in Russian)

- Dantzig G.* (1963). Linear Programming and Extensions. Princeton University Press, 1963. 366 p.
- Fedoseenkova E. S.* (2021). Improving the operational planning of transportation of construction goods in cities, taking into account the uneven performance of operations of the transport process: Candidate's dissertation...techn. science. 05.22.10 / E. S. Fedoseenkova. Orenburg: 2021. 254 p. (in Russian)
- Geronimus B. L., Tsarfin L. V.* (1988). Economic and mathematical methods of planning for road transport. Moscow: *Transport*, 1988. 191 p. (in Russian)
- Incoterms® 2020 ICC Rules for the use of domestic and international trade terms. ICC Publication No. 723ER = Incoterms® 2020. ICC Rules for the use of domestic and international trade terms. ICC Publication No. 723 / [trans. from English N. G. Vilkova]. Moscow: ICC Russia, 2020. 400 p. (in Russian)
- Nikolin V. I., Mochalin S. M., Vitvitsky E. E., Nikolin I. V.* (2001). Design of motor transport systems for cargo delivery. Omsk: SibADI, 2001. 184 p. (in Russian)
- Optimal planning in road transport / Under general ed. A. Z. Sinitsky. Moscow: *Transport Publishing House*, 1969. 76 p. (in Russian)
- Raff M. I.* (1975). Cargo transportation. 2nd ed., revised. and additional. Kyiv: Publishing Association «Vishcha School», 1975. 286 p. (in Russian)
- Sarder M.* (2021). Logistics transportation problems with linear programming. *Logistics Transportation Systems*. 137–167. doi:10.1016/b978-0-12-815974-3.00006-x/
- Shipitsyna R. E.* (2022). On the algorithm for solving the transport problem of linear programming. Equipment and technologies of ground transport: *Collection of works of graduate students (with international participation)* / Scientifically edited by E.E. Vitvitsky: 70-75. (in Russian)
- Shipitsyna R. E. Vitvitsky E. E.* (2021). Comparison of the results of applying methods for solving the transport problem of linear programming. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 2: 6-23. (in Russian)
- Vitvitsky E. E., Shipitsyna R. E.* (2023). Aspects of organizing the implementation of a plan for the transportation of goods by machine shipments in cities, created when solving the transport problem of linear programming. *World of transport and technological machines*. 3-3(82): 46-53. (in Russian)
- Vitvitsky E. E., Yuryeva N. I., Tazhigulova G. O.* (2022). Justification of the technology for transporting limited shipments of coal by car in the city. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 3(85): 358-369. (in Russian)
- Voitenkov S. S., Shapoval D. V., Vitvitsky E. E.* (2015). On the issue of terminology in automobile transport. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy*. 4(44): 11-15. (in Russian)
- Voitenkov S. S., Vitvitsky E. E.* (2013). Improving the operational planning of cargo transportation by truck in cities: monograph. Omsk: *SibADI*, 2013. 175 p. (in Russian)
- Vorkut A. I.* (1986). Cargo transportation. 2nd ed., revised. and additional. Kyiv: *Vishcha school*, 1986. 447 p. (in Russian)
- Yarkina V. E., Yarkin E. K.* (2023). Statement of the problem of optimizing routes for freight multimodal transportation. *World of transport and technological machines*. 1-2(80): 57-63. (in Russian)

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 629.7.021

ББК 39.52

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_166

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАГЛЯДНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОНСТРУКЦИИ И ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Анатолий Филиппович Пенно,
orcid.org/0009-0006-4514-2848,
кандидат педагогических наук

Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова
Министерства обороны Российской Федерации,
ул. Дзержинского, 135
350090, г. Краснодар, Россия
aprenno@mail.ru

Юрий Павлович Беловодский,
orcid.org/0009-0001-3777-7900,

кандидат технических наук, доцент
Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова
Министерства обороны Российской Федерации,
ул. Дзержинского, 135
350090, г. Краснодар, Россия
yury_belovodsky@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматривается вопрос повышения наглядности образовательного процесса при изучении авиационной техники в летном училище. Проведен анализ учебно-методического комплекса выбранных для исследования учебных дисциплин. Определены противоречия между возрастающими требованиями к подготовке авиационного специалиста и возможностями его обучения в современных условиях. Обосновывается внедрение имитационных динамических 2D-моделей в процесс обучения летного состава, как пути повышения наглядности преподаваемого учебного материала. Представлен вариант компьютерной программы для создания 2D-моделей. На примере авторских разработок показано преимущество имитационных динамических 2D-моделей при изучении конструкции и работы систем и агрегатов самолета и двигателя.

Проведен анализ результатов внедрения разработанных инноваций по повышению наглядности, где зафиксирован рост успеваемости курсантского состава по теоретической подготовке перед выполнением полетов на изучаемом воздушном судне.

Предложены рекомендации по разработке 2D-моделей и их использованию в процессе обучения.

Ключевые слова: авиационная техника, конструкция, эксплуатация, учебная дисциплина, обучение, наглядность, имитационные динамические 2D-модели.

SOME PROPOSALS FOR INCREASING USE OF VISUAL AIDS WHEN STUDYING THE DESIGN AND FLIGHT OPERATION OF AVIATION EQUIPMENT

Anatoly F. Penno,
orcid.org/0009-0006-4514-2848,
Candidate of Pedagogic sciences
Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov of the Ministry of Defence of the Russian Federation,
135, Dzerzhinsky street
Krasnodar, 350090, Russia
anpenno@mail.ru

Yury P. Belovodsky,
orcid.org/0009-0001-3777-7900,
Candidate of Technical sciences, Associate Professor
Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov of the Ministry of Defence of the Russian Federation,
135, Dzerzhinsky street
Krasnodar, 350090, Russia
yury_belovodsky@mail.ru

Abstract. This article discusses the issue of increasing the use of the visual aids of the educational process when studying aviation technology at a flight school. An analysis of the educational and methodological complex of the educational disciplines selected for the study was carried out. The contradictions between the increasing requirements for the training of an aviation specialist and the possibilities of its training in modern conditions are identified. The introduction of simulation dynamic 2D models into the training process of flight personnel is justified as a way of increasing the use of visual aids of educational material taught. A version of a computer program for creating 2D models is presented. Using the example of the author's developments, the advantage of simulating dynamic 2D models in studying the design and operation of aircraft and engine systems and assemblies is shown.

An analysis of the results of the implementation of developed innovations to improve visual aids was carried out. An increase in the performance of cadets in theoretical training before flying the aircraft under study was recorded.

The recommendations for the development of 2D models and their use in the learning process are also offered.

Key words: aviation equipment, construction, operation, academic discipline, teaching, visual aids, simulated dynamic 2D models.

Введение

Изучение конструкции и летной эксплуатации авиационной техники является одним из этапов подготовки высококвалифицированного специалиста в области летной эксплуатации и применения авиационных комплексов.

Качество усвоения теоретического материала напрямую влияет на готовность курсантского и летного состава к выполнению полетов на изучаемом самолете. Твердые знания, полученные на этапе подготовки,

гарантируют безопасность при производстве полетов, что является одним из важнейших приоритетов в профессиональной деятельности летчика.

Развитие авиастроения ведет к созданию новых современных авиационных комплексов, в которых применяются самые последние технологические разработки. Это предопределило необходимость усовершенствования образовательного процесса при подготовке летного состава.

На современном этапе развития разнообразных средств информационных и телекоммуникационных технологий просматривается устойчивое стремление к применению цифровых образовательных ресурсов в системе образования [Девяткина, 2021; Долинский и др., 2013; Azma, 2011], что является катализатором для разработок различных инноваций в методике преподавания учебных дисциплин.

Внедрение современных цифровых технологий в виде объемных изображений, динамических 2D, 3D-моделей расширяет возможности процесса обучения. Динамические и объемные модели способны заменить макеты изучаемых изделий, узлов и агрегатов в виду их дорогостоящего производства или отсутствия как таковых.

Для изучения конструкции воздушного судна, его узлов и агрегатов, несомненно, также требуется современный подход [Дмитренко и др., 2022; Коновальцев и др., 2020; Медведев, 2018] и использование в процессе обучения цифровых образовательных ресурсов. Это позволит обеспечить достижение важнейшей цели инженерного образования – осмысливания обучающимися процессов, происходящих в изучаемых системах, что предопределяет требования как к уровню оснащенности учебного заведения вычислительной техникой и мультимедийными устройствами, так и к методикам проведения различных видов занятий [Куприянов и др., 2022].

Например, для изучения различных радиотехнических систем военного назначения в настоящее время широко применяются учебно-тренировочные средства, состоящие из учебно-тренировочного комплекса (УТК), включающего технические и программные средства, и учебно-методического комплекса, включающего учебно-методическое обеспечение для проведения учебных занятий на УТК. При этом в состав УТК в обязательном порядке входит ПЭВМ моделирования, где размещается программное обеспечение, моделирующее функционирование радиотехнической системы и имитирующее работу штатной аппаратуры при изменении внешней обстановки, технического состояния средств, информационного взаимодействия, в том числе при возникновении аварийных ситуаций [Куракин и др., 2022]. Таким образом, после ознакомления с теорией вопроса применения системы обучающийся имеет возможность приступить к отработке практических вопросов. При этом процесс обучения обладает наглядностью – качеством, необходимым для формирования у обучающихся понимания функционирования изучаемого объекта.

Однако применение рассмотренного выше подхода при изучении некоторых систем воздушного судна не представляется целесообразным.

Действительно, сложно представить учебно-тренировочное средство, демонстрирующее, например, помпаж авиационного турбореактивного двигателя. Изготовление и размещение подобной установки в учебном заведении потребовало бы больших финансовых затрат, а её эксплуатация была бы опасна и крайне затруднительна ввиду необходимости проведения ремонтных работ после каждого применения. При этом очевидно, что наглядность процесса помпажа на подобной установке в интересах учебного процесса сложно назвать достаточной, так как протекающие внутри двигателя процессы всё равно были бы недоступны взору обучающихся.

Таким образом, актуальной научно-практической задачей является поиск путей повышения наглядности процесса изучения конструкции и летной эксплуатации авиационной техники, способного улучшить качество профессиональной подготовки авиационного специалиста. В рамках статьи решение данной задачи рассматривается применительно к дисциплинам «Конструкция и летная эксплуатация воздушного судна», «Конструкция и летная эксплуатация силовых установок».

Материалы и методы

Материалом исследования является процесс преподавания учебных дисциплин согласно рабочим программам по «Конструкции и летной эксплуатации воздушного судна»⁴⁵, «Конструкции и летной эксплуатации силовых установок»⁴⁶.

В процессе изучения учебно-методического комплекса, состояния материальной базы и возможностей по ее совершенствованию обозначились **противоречия** между необходимостью обеспечения заданного уровня подготовки авиационного специалиста, усложнением систем и агрегатов авиационной техники и отсутствием возможности наглядной демонстрации протекающих в них процессов в реальных условиях эксплуатации.

Целью нашего исследования является обоснование возможности устранения возникших противоречий посредством внедрения имитационных динамических 2D-моделей как способа повышения наглядности материала в процессе изучения учебных дисциплин.

Для достижения поставленной цели в проводимом нами исследовании необходимо было решить некоторые **задачи**, а именно:

- провести теоретический анализ учебно-методического материала, используемого в качестве источника получения необходимых знаний;
- методом опроса и анкетирования подтвердить заинтересованность курсантского состава в необходимости применения цифровых технологий в процессе обучения;

⁴⁵ Рабочая программа учебной дисциплины «Конструкция и лётная эксплуатация воздушного судна». КВВАУЛ, 2017. С. 25.

⁴⁶ Рабочая программа учебной дисциплины «Конструкция и лётная эксплуатация силовых установок». КВВАУЛ, 2017. С. 23.

- предложить вариант компьютерной программы для создания имитационных динамических 2D-моделей;
- используя метод сравнения, обосновать преимущество разработанных моделей при изучении авиационной техники перед существующими;
- на основе сравнительного анализа, по результатам текущего контроля, используя мнение обучающихся, а также заключение профессорско-преподавательского состава, показать эффективность внедрения имитационных динамических 2D-моделей.

Практическая значимость заключается в выработке рекомендаций по применению имитационных динамических 2D-моделей, как способа повышения наглядности при изучении конструкции и летной эксплуатации авиационной техники.

Дискуссия

Как правило, учебно-методический материал для изучения предмета находится в печатном виде, в различных учебниках, пособиях, методичках и т.п. Не является исключением и набор учебной литературы по дисциплинам «Конструкция и летная эксплуатация воздушного судна», «Конструкция и летная эксплуатация силовых установок»⁴⁷, изучаемых на базе Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков (КВВАУЛ), кафедры «Конструкции и эксплуатации авиационной техники» (КЭАТ).

Наглядные пособия⁴⁸, даже выполненные в цвете и хорошем качестве, не всегда могут передать суть изучаемого предмета. Статичные рисунки агрегатов или схемы систем самолета усложняют освоение и понимание предлагаемого набора знаний и умений, тем самым затрудняя формирование основных компетенций⁴⁹.

Кроме того, необходимые в процессе изучения конструкции воздушного судна системы, узлы и агрегаты в натуральном виде и разрезе могут не производиться или быть недоступны учебному заведению по различным причинам. Работу некоторых сложных узлов, таких как, например, камера сгорания турбореактивного двигателя, в реальных условиях эксплуатации изнутри продемонстрировать практически невозможно.

Для определения отношения обучающихся к внедрению предлагаемых инноваций нами проводилась неформализованная беседа, а также анкетирование в составе учебных групп курсантов.

⁴⁷ Пенно А. Ф. Конструкция и летная эксплуатация силовой установки. Самолет Як-130: учебное пособие / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский, С. В. Стадник. Краснодар: КВВАУЛ, 2021. 196 с.

⁴⁸ Пенно А. Ф. Альбом схем. Конструкция и летная эксплуатация силовой установки. Самолет Як-130: учебное наглядное пособие / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский, С. В. Стадник. Краснодар: КВВАУЛ, 2021. 27 с.

⁴⁹ Рабочая программа учебной дисциплины «Конструкция и лётная эксплуатация воздушного судна». КВВАУЛ, 2017. С. 3-4.

Результатом бесед и анкетирования является 100% поддержка и, как следствие, заинтересованность курсантского состава во внедрении в учебный материал имитационных динамических 2D-моделей.

Учитывая мнение профессорско-преподавательского состава, а также личные наблюдения авторов в процессе преподавания учебных дисциплин, можно сделать вывод о том, что существует устойчивый запрос на применение цифровых образовательных ресурсов при изучении сложных технических изделий, которыми, несомненно, является самолет, его системы, узлы и агрегаты.

Теме разработок информационных и телекоммуникационных технологий уделяют внимание многие авторы [Бахметьев, 2015; Медведев и др., 2021; Самбуева, 2023; Современные инновационные ..., 2020; Chinosi et al., 2012; Rutten et al., 2012].

Для своего исследования нами было принято решение для повышения наглядности изучаемого материала остановиться на разработке имитационных динамических 2D-моделей.

На начальном этапе наших исследований, мы предположили, что применение 2D-моделей в процессе изучения конструкции и эксплуатации воздушного судна и его силовой установки способно обеспечить более глубокое усвоение учебного материала по изучаемой дисциплине. Особенности конструкции систем, узлов и агрегатов летательного аппарата, процесс их работы будет более наглядным при использовании разработанных нами динамических моделей.

Для разработки 2D-моделей агрегатов и систем летательного аппарата была выбрана компьютерная программа Adobe Animate⁵⁰.

Adobe Animate – это обновленная, улучшенная интегрированная версия, связанная со всем программным обеспечением Adobe. Программа мультиплатформенная, работает под управлением операционных систем Windows, Mac OS, Linux, Android, iOS и других. Работать с моделью можно не только на компьютерах, но и на смарт-телефонах, планшетах, смартфонах. Создание анимации – это то, что Adobe предлагает в первую очередь для своего программного обеспечения. Существуют платные и бесплатные программы для компьютерной анимации. Adobe Animate – наследник легендарного Flash и самая популярная программа, позволяющая создавать графические образы в отдельных слоях. Каждый такой образ может получить анимацию движения или анимацию формы. С помощью ключевых кадров может становиться видимым или невидимым, заменяться другим образом, деформироваться и т.п. К создаваемым объектам «Кнопка» может быть написан код на языке JavaScript – это язык программирования, который используется для создания интерактивных приложений. Функции JavaScript могут улучшить удобство взаимодействия пользователя с 2D-моделью.

⁵⁰ Обучение и поддержка для Adobe Animate // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.adobe.com/ru/products/animate.html> (дата обращения: 04.09.2023)

В данной статье авторами не ставится задача обучения созданию динамических 2D-моделей. Этот аспект заслуживает отдельной публикации.

За основу, при создании динамической 2D-модели, выбиравались высокого качества рисунки и схемы агрегатов и систем из технических описаний и других источников по конструкции и эксплуатации воздушного судна и его силовой установки. С использованием компьютерной программы Adobe Animate создавалась имитационная динамическая модель положения деталей агрегата, тем самым добивался эффект демонстрации реальной работы узла самолета. Примером использования данной технологии является разработанный авторами электронный ресурс «Краткая теория авиационных двигателей»⁵¹.

Рассмотрим некоторые примеры имитационных динамических 2D-моделей подробнее.

На рисунке 1 показана статичная схема конструкции замка и клапана герметизации фонаря кабины самолета Як-130 из руководства по технической эксплуатации воздушного судна⁵².

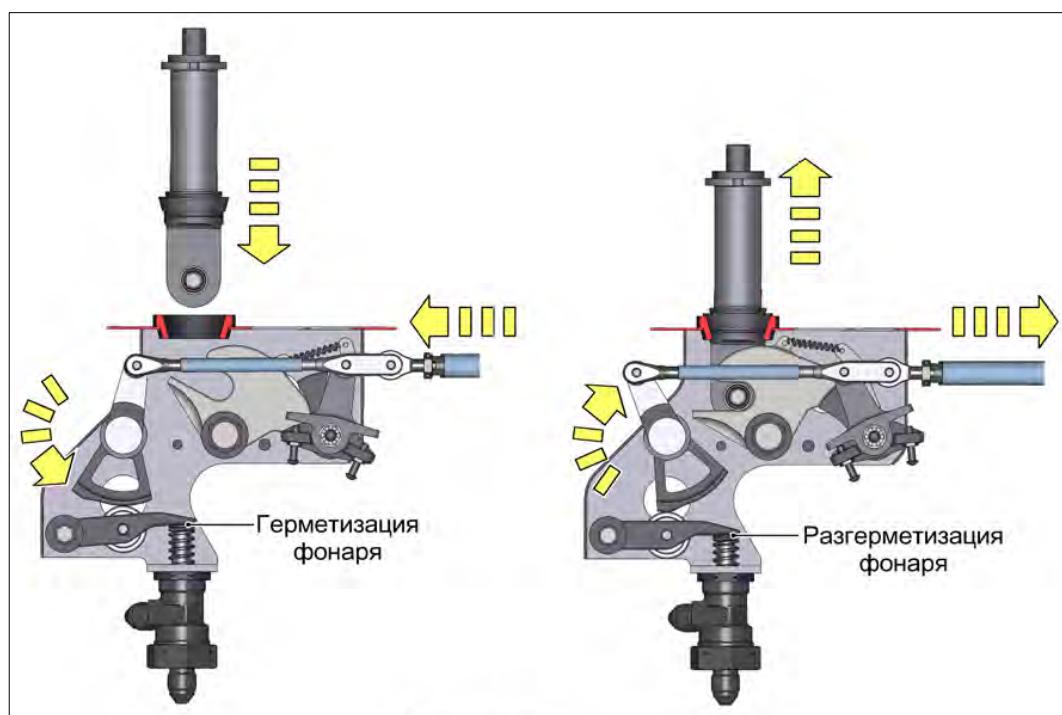


Рисунок 1 – Схема конструкции замка и клапана герметизации фонаря кабины

Процесс работы данного узла самолета объясняется преподавателем, и усвоение материала зависит как от мастерства преподавателя, так и от пространственного мышления обучающегося.

⁵¹ Краткая теория авиационных двигателей // [Электронный ресурс]. – URL: <http://k928295f.bget.ru/index.php?id=174> (дата обращения: 04.09.2023).

⁵² Самолет Як-130. Руководство по технической эксплуатации – Фонарь. М.: ОАО «Корпорация «Иркут», 2013. С. 112.

Использование разработанной нами динамической 2D-модели наглядно показывает работу замка и клапана герметизации в динамике, что, несомненно, улучшает восприятие учебного материала.

Работа замка на закрытие и герметизацию, а также на открытие и разгерметизацию фонаря кабины выполнена в виде имитационной динамической 2D-модели. Некоторые основные точки показаны на рисунке 2.

На экране компьютера (рис. 2а) отображается закрытое положение замка и герметизация фонаря кабины. Описаны основные элементы конструкции.

При наведении курсора на отдельный рисунок сверху всплывает объемное изображение замка (рис. 2б).

Изучив исходное положение, обучающийся переходит к следующему действию, нажав на кнопку «Далее». На экране в динамике показывается процесс открытия замка и разгерметизация фонаря кабины (рис. 2в).

После нажатия на кнопку «Далее» в динамике показан процесс закрытия замка и герметизация фонаря кабины (рис. 2г).

При нажатии на кнопку «Повторить» демонстрация начинается сначала.

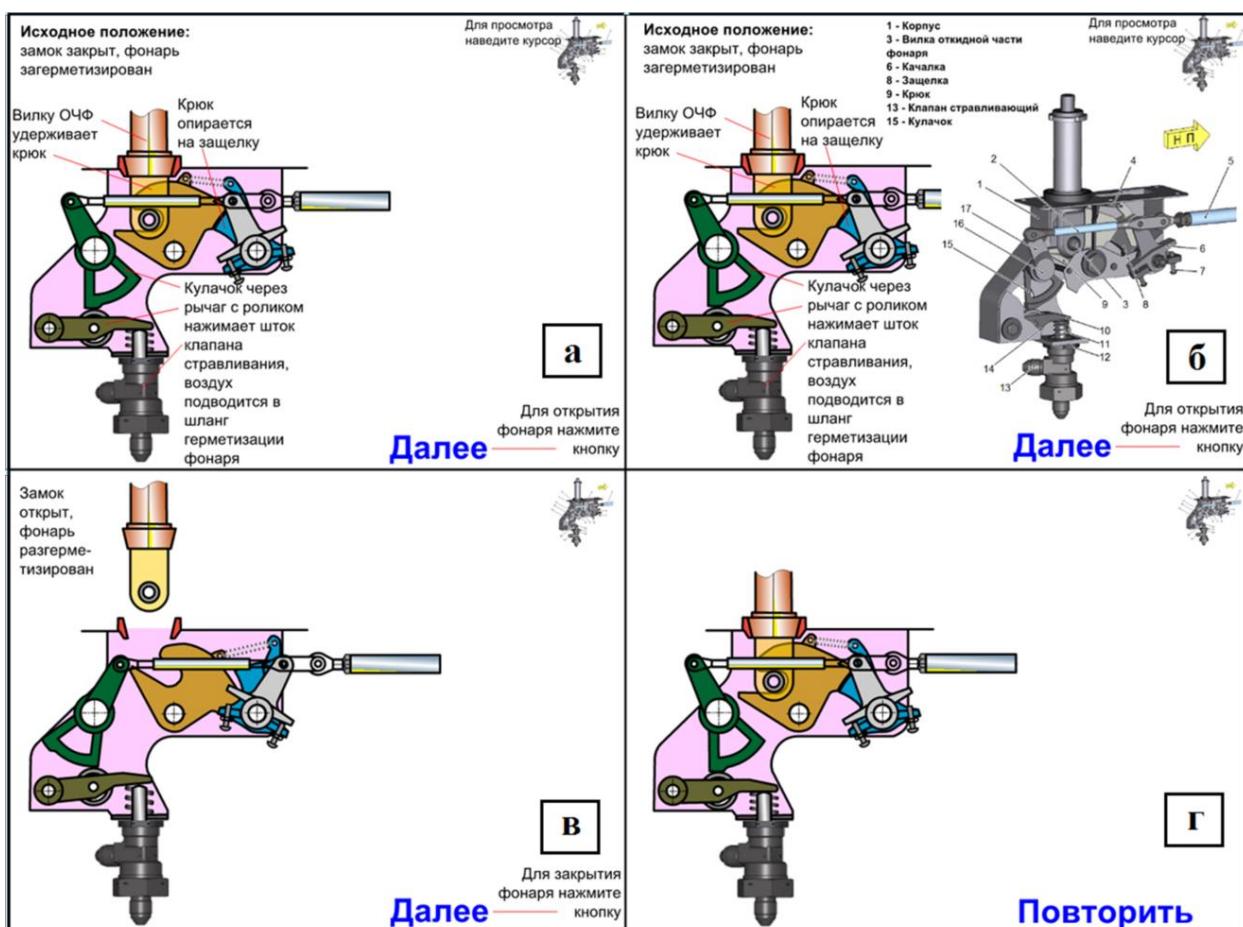


Рисунок 2 – Кинограмма схемы конструкции и работы замка и клапана герметизации фонаря кабины

Преимущества представленной динамической 2D-модели заключаются в том, что обучающийся самостоятельно управляет процессом просмотра, а также в возможности повторения материала в неограниченном количестве.

Еще одним примером использования динамической 2D-модели в процессе обучения является работа системы управления переднего колеса с использованием механизма разворота колеса (МРК) самолета Як-130.

На рисунке 3 показана схема работы системы управления переднего колеса, размещенная в руководстве по технической эксплуатации.

Как и в предыдущем примере, вся наглядная информация статична, и разобраться в процессе работы данной системы довольно затруднительно. Необходимо прибегать к сравнению нескольких схем и к дополнительной помощи преподавателя.

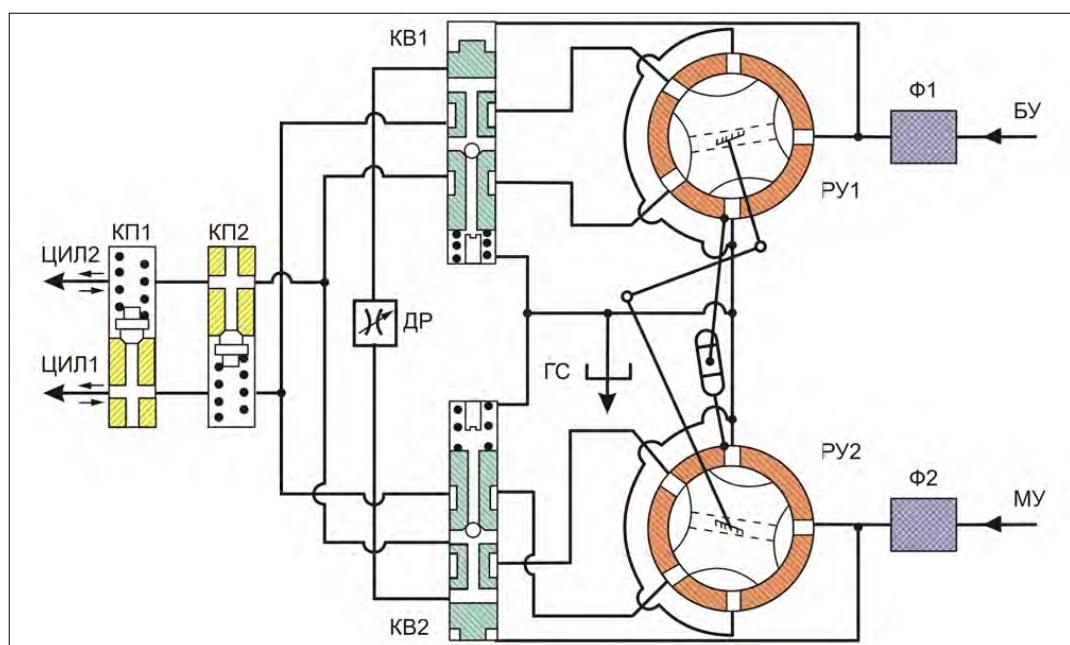


Рисунок 3 – Схема работы системы управления переднего колеса

Разработка имитационной динамической 2D-модели позволила совместить информацию о конструкции и работе системы в одно целое (рис. 4).

На рисунке 4а показана кинограмма расположения деталей и узлов при нейтральном положении педалей. На ней отображены необходимые пояснения и ключевые узлы следящей гидромеханической системы управления с жесткой обратной связью. Информация дает возможность наблюдать и анализировать работу представленной системы.

При нажатии на кнопку «Далее» происходит динамическое изменение положения агрегатов системы, изменение цвета, показывающего движение гидравлической жидкости в линии нагнетания и слива (рис. 4б).

Очередное нажатие кнопки «Далее» (рис. 4в) приводит к тому, что модель зафиксирует поворот переднего колеса на угол, пропорциональный перемещению педали. Модель содержит указания по контролю над работой узла при дальнейшем перемещении правой педали вперед.

На рисунке 4г показаны динамические изменения после нажатия кнопки «Далее», где отобразилась работа обратной связи от колеса к гильзе золотника.

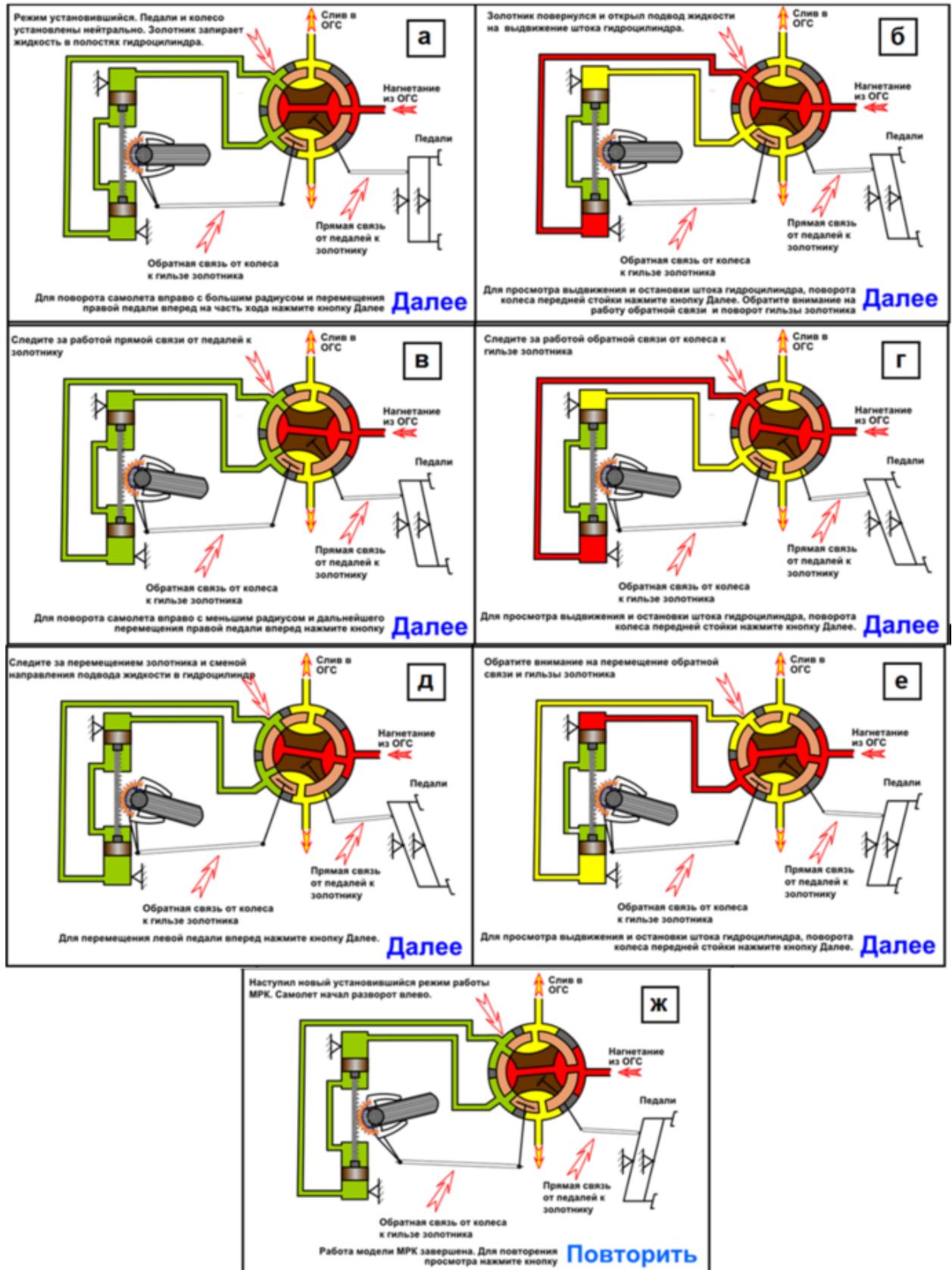


Рисунок 4 – Кинограмма схемы конструкции и работы механизма разворота колеса

Следующее нажатие кнопки «Далее» (рис. 4д) приводит к динамическому показу перемещения золотника и смене направления подвода жидкости в гидроцилиндр МРК.

Нажатие кнопки «Далее» имитирует процесс смены направления перемещения педалей, и работа системы управления поворотом переднего колеса повторяется, но уже с поворотом колеса влево (рис. 4е, 4ж).

Аналогично первому примеру модель предусматривает повторение всего цикла для более глубокого усвоения.

Также при разработке было учтено, что имитационная динамическая 2D-модель позволяет использовать голосовую информацию сопровождения в процессе демонстрации работы. Один из вариантов – наложение записи доклада преподавателя по изучаемому вопросу.

Такой вариант показан в нашем третьем примере, где изучается формирователь команды по приведенным оборотам компрессора высокого давления (КВД) $n_{2\text{пр}}$ и регулятор направляющих аппаратов КВД топливной автоматики авиационного двигателя АЛ-31ФП⁵³.

В бумажной версии учебного пособия данные агрегаты представлены на двух отдельных статических изображениях⁵⁴.

Разработанная интерактивная модель (рис. 5) объединила оба названных узла автоматики насоса-регулятора.

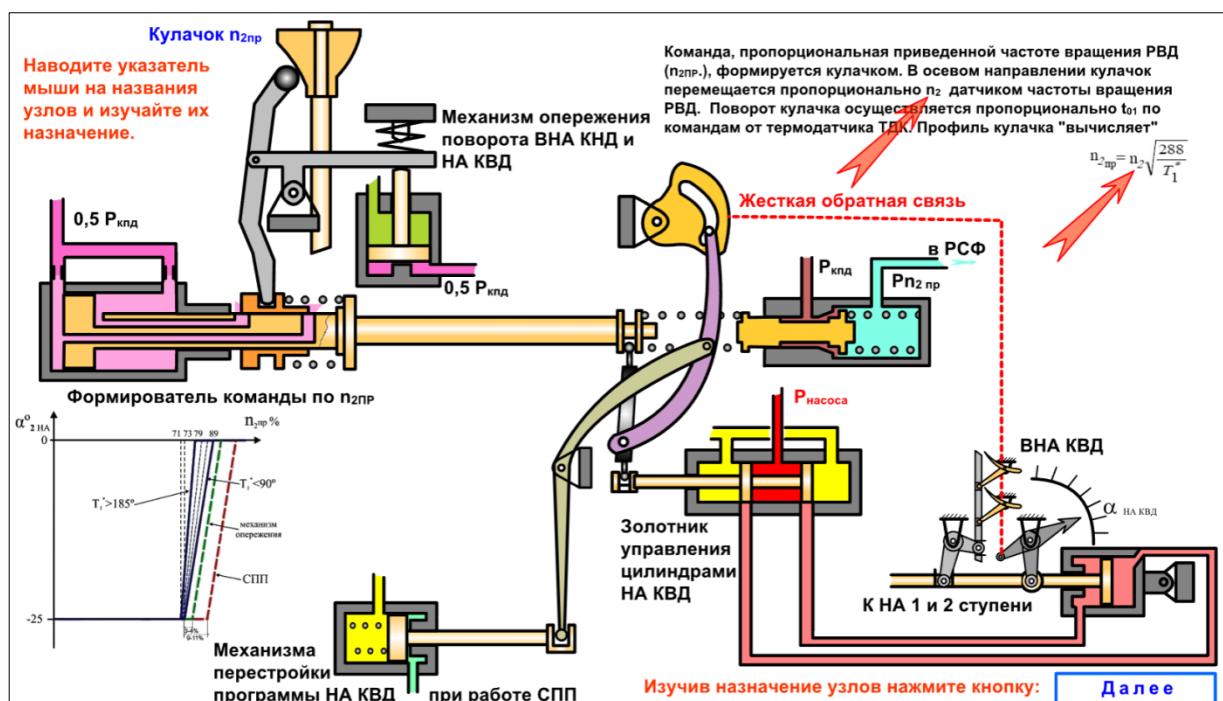


Рисунок 5 – Кинограмма демонстрации динамической 2D-модели с голосовыми пояснениями преподавателя

⁵³ Краткая теория авиационных двигателей // [Электронный ресурс]. – URL: <http://k928295f.bget.ru/index.php?id=174> (дата обращения: 04.09.2023).

⁵⁴ Силовая установка самолета СУ-30СМ: учебное пособие / Ю. П. Беловодский, С. В. Божко, В. Н. Ильин, С. В. Стадник. Краснодар: КВВАУЛ, 2019. 193 с., ил.

Текстовые пояснения этапов работы автоматических регуляторов заменены голосовыми пояснениями преподавателя.

Роль указки, акцентирующей внимание обучающихся, выполняют пульсирующие маркеры. В отличие от указки, их может быть два и более. Появление и перемещение маркеров согласовано по месту и времени с аудиосопровождением. Все элементы схем выполнены подвижными.

Предусмотрен повторный просмотр модели обучающимся самостоятельно до полного усвоения материала.

Как дополнение, существует возможность отдельного прохождения тестов по учебному материалу, используя электронный ресурс⁵⁵.

К вышеперечисленному можно добавить, что работа над созданием имитационных динамических 2D-моделей требует досконального изучения предмета, конструкции и принципа работы систем и агрегатов, а привлечение курсантского состава к проекту в качестве помощников разработчика позволяет им ещё более глубоко усвоить изучаемый материал.

Авторами уже разработаны и разрабатываются новые методические комплексы по отдельным учебным дисциплинам, включающие в себя печатные учебные пособия, учебные наглядные пособия (альбомы схем), электронные учебные пособия с использованием имитационных динамических 2D-моделей [Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621991..., 2019; Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622006..., 2019] и тестов для обучения и контроля знаний курсантов.

Результаты

Исследование авторами проводилось в процессе изучения курсантами учебных дисциплин «Конструкция и летная эксплуатация воздушного судна», «Конструкция и летная эксплуатация силовых установок» в 2022 и 2023 годах обучения.

В учебно-методический материал преподаваемых дисциплин на 2023 учебный год были внесены изменения, связанные с использованием имитационных динамических 2D-моделей.

Оценка эффективности внесенных изменений складывалась из результатов опроса курсантов по окончании курса, сравнительного анализа успеваемости обучающихся в 2022 и 2023 годах, а также мнения профессорско-преподавательского состава кафедры.

В результате опроса курсанты дали положительный отзыв повышению наглядности учебного материала изучаемых дисциплин, акцентируя внимание на возможности повторного просмотра представленных моделей.

Критерием оценки положительного результата применения разработанных инноваций является качественный рост успеваемости курсантского состава.

⁵⁵ Тест контрольный «Система топливопитания основной камеры сгорания двигателя // [Электронный ресурс]. – URL: http://j91834r6.beget.tech/myfile/tests/al31fp/tren_ts_oks/index.html (дата обращения: 04.09.2023)

Авторами был проведен сравнительный анализ успеваемости по дисциплине «Конструкция и летная эксплуатация силовых установок» на основе результатов промежуточной аттестации курсантов 4 курса 2022 года обучения, контрольная группа (КГ) и курсантов 4 курса 2023 года обучения, экспериментальная группа (ЭГ), где, в связи с принадлежностью и специализацией ВУЗа, за 100 % принимается общее количество курсантов, обучающихся на курсе.

На диаграмме (рис. 6) наглядно показано повышение результатов у ЭГ (2023 г.) в сравнении с КГ (2022 г.). Уменьшился процент с удовлетворительными оценками на 17 %, на 6 % увеличилось количество оценок «хорошо» и на 13 % увеличилось количество оценок «отлично». Среднее значение оценки возросло с 3,79 у КГ до 4,06 у ЭГ. Такой результат доказывает эффективность предложенных авторских разработок.

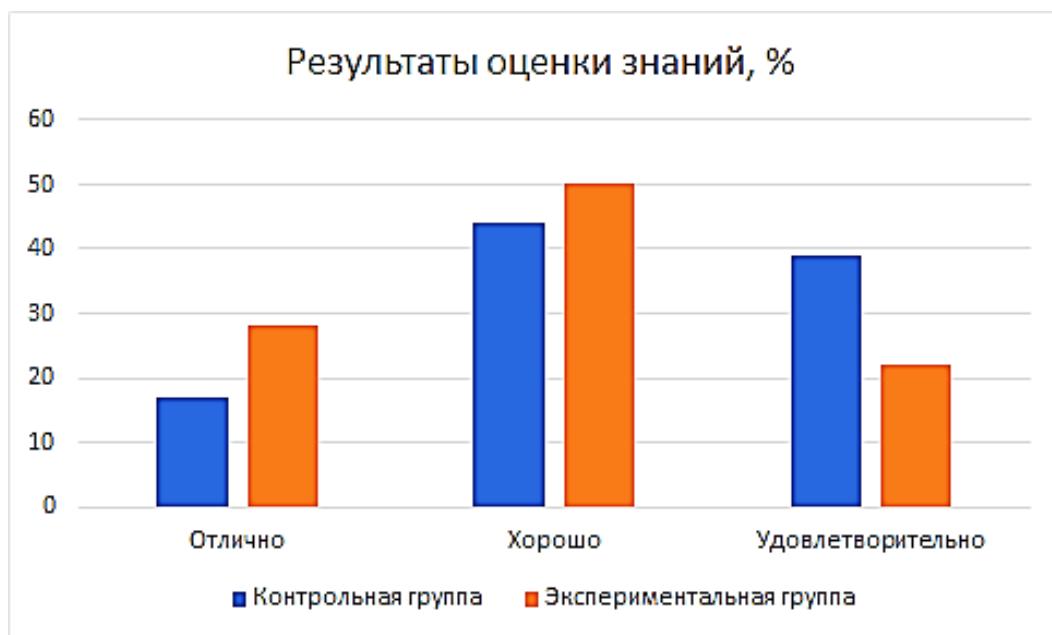


Рисунок 6 – Диаграмма результатов рубежного контроля

Высокую оценку применению имитационных динамических 2D-моделей в свете улучшения наглядности дали преподаватели, ведущие занятия по указанным дисциплинам. В частности, были отмечены снижение количества дополнительных занятий по изучаемым темам и более продуктивная работа курсантов на самоподготовке. Представленные технологии были рассмотрены и утверждены на заседании кафедры КЭАТ КВВАУЛ, рекомендованы к внедрению в учебный процесс и разрабатываемые электронные учебные пособия.

Заключение

Применение разработанных авторами имитационных динамических 2D-моделей в процессе преподавания учебных дисциплин «Конструкция и летная

эксплуатация воздушного судна», «Конструкция и летная эксплуатация силовых установок» выявило ряд положительных факторов, влияющих на качество обучения курсантского состава:

- в значительной степени повышается наглядность устройства систем и агрегатов авиационной техники;
- уменьшаются трудозатраты, и повышается качество знаний курсантского состава при усвоении учебного материала;
- появляется возможность создания виртуальных конструкций, демонстрирующих сложные технические процессы работы узлов самолета и его силовой установки;
- создание имитационных динамических 2D-моделей является одним из путей совершенствования учебно-материальной базы, используемой в процессе обучения;
- внедрение предложенных технологий возможно для других специальных технических дисциплин, преподаваемых в учебном заведении.

Таким образом, предложенные авторами имитационные динамические 2D-модели позволяют повысить наглядность учебного материала, что благоприятно сказывается на процессе обучения. Использование виртуальных моделей в определенной степени устраняет противоречия между усложнением авиационной техники, высокими требованиями к подготовке летного состава и необходимостью соответствия этим требованиям образовательного процесса.

Из этого следует, что внедрение в учебно-методический комплекс дисциплины имитационных динамических 2D-моделей будет способствовать качественному улучшению теоретических знаний курсантов, гарантирующих их готовность к выполнению полетов на изучаемом воздушном судне.

Библиографический список

Бахметьев Д. А. Учебная анимация и пути ее применения в современном образовании // Вестник МГПУ. Серия: Педагогика и психология. 2015. № 4(34). С. 118-121. EDN VBHQRH.

Девяткина А. Д. Характерные особенности дизайна интерактивной электронной книги // Искусствоведение и дизайн в современном мире: традиции и перспективы: Сборник материалов Всероссийской XIV научно-практической конференции молодых учёных, Тамбов, 19 мая 2021 года / Редколлегия: И. В. Татаринцева, В. В. Черемисин, К. В. Филатова. Тамбов: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 2021. С. 209-213. EDN JUAECO.

Дмитренко А. Ю. Формирование интеллектуальных профессионально важных качеств у курсантов авиационных вузов / А. Ю. Дмитренко, А. Н. Анищенко, Е. В. Добриков // Педагогика: история, перспективы. 2022. Т. 5, № 1. С. 23-39. DOI 10.17748/2686-9969-2022-5-1-23-39. EDN ADKTSZ.

Долинский М. С. Интерактивная анимация в электронных учебных пособиях, создаваемых с помощью конструктора флеш-заданий / М. С. Долинский, Ю. В. Решетко, М. А. Долинская // Информатизация образования. 2013. № 1 (70). С. 30-38. EDN YWWHGW.

Коновальцев Э. В. Изучение мотивационной направленности курсантов Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова набора 2015 года / Э. В. Коновальцев, С. Г. Беспалая // Инновационные технологии в образовательном процессе: сборник материалов XXI Всероссийской заочной научно-практической конференции, Краснодар, 27–28 мая 2020 года. Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2020. С. 142-147. EDN VXSQEG.

Куприянов Н. А. Методика индивидуальных синтеза и анализа RLC-контура на практическом занятии по физике / Н. А. Куприянов, Е. Э. Лукоянов, С. В. Стадник // Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия - XXI»: Сборник трудов Второй международной научно-практической конференции и международной молодёжной школы, Новороссийск, 21–22 апреля 2022 года. – Новороссийск: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» в г. Новороссийске, 2022. – С. 103-104. – EDN UHCLZZ.

Куракин С. З. Особенности интеграции учебно-тренировочных средств радиотехнических систем в образовательный процесс вузов / С. З. Куракин, Н. А. Куприянов, А. С. Степенко // Интеграция науки и образования в системе подготовки военных специалистов: Сборник научных трудов по материалам III Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 21 октября 2022 года / Отв. редактор Т.В. Ларина. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2022. – С. 84-94. – EDN TLQHWP.

Медведев В. И. Виртуальная реальность с новыми разработками - к новым рубежам / В. И. Медведев, Д. А. Шишленин // Вестник военного образования. 2021. № 4(31). С. 72-76. EDN PJVDVR.

Медведев В. И. ОПК и система военного образования: неотъемлемая часть военной организации государства // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2018. № 2. С. 323-326. EDN LZAXKP.

Самбуева С. Р. Использование интерактивных методов обучения физике // Аграрное образование в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: материалы IV Всероссийской (национальной) научно-методической конференции, Улан-Удэ, 22 марта 2023 года. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2023. С. 238-245. EDN GCMCCC.

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621991 Российская Федерация. Электронно-методический комплекс по дисциплине «Силовая установка самолета Як-130»: № 2019621903: заявл. 17.10.2019: опубл. 01.11.2019 / С. В. Стадник, Ю. П. Беловодский, А. Ф. Пенно. EDN AJHTVV.

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622006 Российская Федерация. Электронно-методический комплекс по дисциплине «Силовая установка самолета Су-30СМ»: № 2019621904: заявл. 17.10.2019 : опубл. 06.11.2019 / С. В. Стадник, Ю. П. Беловодский, В. Н. Ильин. EDN VAXRCG.

Современные инновационные образовательные технологии / С. С. Демцова, И. И. Плужникова, Д. С. Гордеева и [др.] // Балтийский гуманитарный журнал. 2020. Т. 9. № 4(33). С. 57- 61. DOI 10.26140/bgz3-2020-0904-0016. EDN QSMCPA.

Azma F. The Quality Indicators of Information Technology in Higher Education // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2011. Vol. 30. P. 2535–2537.

Chinosi M. BPMN: An introduction to the standard / M. Chinosi, A. Trombetta // Computer Standards & Interfaces. 2012. 34(1). pp. 124–134.

Rutten N. The learning effects of computer simulations in science education / N. Rutten, W. R. Van Joolingen, J. T. Van der Veen // Computers & Education. 2012. Vol. 58. Issue 1. P. 136-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comedu.2011.07.017>.

References

- Azma F. (2011). The Quality Indicators of Information Technology in Higher Education. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 30: 2535–2537.
- Bakhmetyev D. A. (2015). Educational animation and ways of its application in modern education. *Bulletin of Moscow State Pedagogical University. Series: Pedagogy and psychology*. 4(34): 118-121. (In Russian)
- Chinosi M., Trombetta A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*. 34(1): 124–134.
- Demtsura S. S., Pluzhnikova I. I., Gordeeva D. S. [et al.]. (2020). Modern innovative educational technologies. *Baltic Humanitarian Journal*. 9. 4(33): 57-61. (In Russian)
- Devyatkina A. D. (2021). Features of the design of an interactive e-book. *Art history and design in the modern world: traditions and prospects: collection. mater. All-Russian. XIV scientific-practical. conf. young scientists (Tambov May 19, 2021) / rep. ed.: I. V. Tatarintseva*. Tambov: TSU named after G.R. Derzhavina, 2021. 209-213. (In Russian)
- Dmitrenko A. Yu., Anishchenko A. N., Dobrikov E. V. (2022). Formation of professionally important intellectual qualities among cadets of aviation universities. *Pedagogy: history, prospects*. 5(1): 23-39. DOI 10.17748/2686-9969-2022-5-1-23-39. EDN ADKTSZ. (In Russian)
- Dolinsky M. S., Reshetko Yu. V., Dolinskaya M. A. (2013). Interactive animation in electronic textbooks created using a flash task designer. *Informatization of education*. 1(70): 30-38. (In Russian)
- Konovaltsev E. V., Bespalaya S. G. (2020). Study of the motivational orientation of cadets of the Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serova recruit of 2015. *Innovative technologies in the educational process: collection of materials of the XXI All-Russian correspondence scientific and practical conference, Krasnodar, May 27–28, 2020*. Krasnodar: Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education “Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020. pp. 142-147. EDN VXSQEG. (In Russian)
- Kupriyanov N. A. Methodology for individual synthesis and analysis of an RLC circuit in a practical lesson in physics / N. A. Kupriyanov, E. E. Lukoyanov, S. V. Stadnik // Collection of works of the international youth school “Engineering - XXI”: Collection proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference and International Youth School, Novorossiysk, April 21–22, 2022. – Novorossiysk: Branch of the federal state budgetary educational institution of higher education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” in Novorossiysk, 2022. – P. 103-104. – EDN UHCLZZ. (In Russian)
- Kurakin S. Z. Features of the integration of educational and training means of radio engineering systems into the educational process of universities / S. Z. Kurakin, N. A. Kupriyanov, A. S. Stepenko // Integration of science and education in the system of training military specialists: Collection of scientific works based on materials from the III All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 21, 2022 / Rep. editor T.V. Larina. – Voronezh: Publishing and Printing Center “Scientific Book”, 2022. – P. 84-94. – EDN TLQHWP. (In Russian)
- Medvedev V. I. (2018). Defense industrial complex and the system of military education: an integral part of the military organization of the state. *Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin)*. 2: 323-326. EDN LZAXKP. (In Russian)
- Medvedev V. I., Shishlenin D. A. (2021). Virtual reality with new developments - to new frontiers. *Bulletin of military education*. 4(31): 72-76. (In Russian)
- Rutten N., Van Joolingen W. R., Van der Veen J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*. 58(1): 136-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.
- Sambueva S. R. (2023). Using interactive methods of teaching physics. *Agricultural education in the conditions of modernization and innovative development of the Russian agro-industrial*

complex. Materials of the IV All-Russian (national) scientific and methodological conference. Ulan-Ude, 2023. pp. 238-245. (In Russian)

Stadnik S. V., Belovodsky Yu. P., Ilyin V. N. (2019). Electronic methodological complex for the discipline “Power plant of the Su-30SM aircraft”: Database registration certificate. RU 2019622006, 06.11.2019. Application No. 2019621904 dated 10/17/2019. (In Russian)

Stadnik S. V., Belovodsky Yu. P., Penno A. F. (2019). Electronic methodological complex for the discipline “Power plant of the Yak-130 aircraft”: Database registration certificate. RU 2019621991, 01.11.2019. Application No. 2019621903 dated 10/17/2019. (In Russian)

УДК 811.111

ББК 81.432.1

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_183

ФОНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕШАННОГО ЗАПАДНОСРЕДНЕНЕМЕЦКОГО ДИАЛЕКТА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ (НА МАТЕРИАЛЕ ТЕКСТОВ КУЛИНАРНЫХ РЕЦЕПТОВ РОССИЙСКИХ НЕМЦЕВ)

Лариса Ивановна Москалюк,
orcid.org/0000-0003-0466-9345,
доктор филологических наук

Алтайский государственный педагогический университет,
ул. Молодежная, д. 55
Барнаул, 656031, Россия
l.moskalyuk@yandex.ru

Татьяна Владимировна Корбмачер,
orcid.org/0000-0002-3742-3045,
кандидат филологических наук

Сибирский федеральный университет,
пр-т Свободный, д. 79
Красноярск, 660041, Россия
korbmacher14@mail.ru

Аннотация. В статье ставится задача рассмотреть фонетические особенности островных российско-немецких говоров Красноярского края. Материалом исследования послужил авторский корпус устных текстов кулинарных рецептов, зафиксированных посредством цифровой аудиозаписи во время диалектологических экспедиций в бывшие немецкие села Красноярского края. Общие фонетические черты исследуемых верхненемецких говоров немцев Красноярского края, переселенцев из Поволжья и их потомков, нашедшие свое отражение в диалектных текстах кулинарных рецептов, передают признаки, характерные для западносредненемецкого диалектного ареала с рейнско-франкской основой. Консонантные изменения иллюстрируют характер второго (верхненемецкого) передвижения германских согласных указанного диалектного ареала.

Описанные в статье на материале текстов кулинарных рецептов фонетические особенности немецких говоров Красноярского края уточняют существующие представления о современном состоянии языковой системы островных диалектов, описание которой имеет значение для дальнейшего изучения немецкой диалектологии и теории взаимодействия языков.

Ключевые слова: фонетические особенности, российские немцы, кулинарные рецепты, литературный язык, диалект, иноязычное окружение.

PHONETIC CHARACTERISTICS OF MIXED WEST-MIDDLE GERMAN DIALECT OF KRASNOYARSK REGION (BASED ON CULINARY RECIPE TEXTS OF RUSSIAN GERMANS)

*Larisa I. Moskalyuk,
orcid.org/0000-0003-0466-9345,
Doctor of Philology
Altai State Pedagogical University,
55, Molodejnaja street
Barnaul, 656031, Russia
l.moskalyuk@yandex.ru*

*Tatiana W. Korbmakher,
orcid.org/0000-0002-3742-3045,
Candidate of Philology
Siberian Federal University,
79, Svobodny avenue
Krasnoyarsk, 660041, Russia
korbmacher14@mail.ru*

Abstract. The article aims to consider the phonetic features of island Russian-German dialects of the Krasnoyarsk region. The research material was the author's corpus of oral texts of culinary recipes recorded by digital audio recording during dialectological expeditions to the former German villages of the Krasnoyarsk region. General phonetic features of the studied High German dialects of the Germans of the Krasnoyarsk region (settlers from the Volga region and their descendants), reflected in the dialect texts of culinary recipes, transmit the features characteristic of the West Middle German dialect area with a Rhenish-Frankish basis. Consonantal changes illustrate the nature of the second (High German) movement of Germanic consonants of the specified dialect area.

The phonetic features of the German dialects of the Krasnoyarsk region, described in the article on the material of the culinary recipe texts, clarify the existing views about the current state of the island dialect language system, the description of which is important for further study of German dialectology and the theory of languages interaction.

Keywords: phonetic features, Russian Germans, culinary recipes, literary language, dialect, foreign language environment.

Introduction (Введение)

Диалектологическая карта Г. Дингеса и диалектологический атлас Н. Беренд [Беренд, 2010, с. 12] показывают, что большинство островных немецких говоров Поволжья уже в довоенные годы частично или полностью утратили первичные признаки материнских диалектов, сохранив вторичные [Дингес, 1925, с. 12]. После депортации немецкого населения на восток страны, в том числе в Красноярский край, происходит дальнейшее выравнивание разнородных немецких говоров. Проблеме изучения языковой ситуации немцев на территории Красноярского края, процессам взаимодействия диалектов, их дифференциации и интеграции посвящен целый ряд работ В. А. Дятловой [Дятлова, 2009], Л. М. Штейнгарт [Штейнгарт, 2006], Н. А. Ермакиной [Ермакина, 2006], М. М. Степановой [Степанова, 2006], Ю. Ф. Филипповой [Филиппова, 2011]. При этом фонетическая система верхненемецких говоров Красноярского края до настоящего времени мало

изучена [Корбмакер, 2022]. В центре внимания современной немецкой диалектологии стоит проблема языкового смешения. Новейшие исследования в области немецкой диалектологии обусловлены развитием диалектов в условиях усиления воздействия иноязычного окружения и тенденцией сохранения народной речи, рассмотрением территориальных диалектов в общем континууме всех видов разговорного языка и привлечением обширных текстовых корпусов для создания баз данных устной разговорной речи [Александров, 2022; Либерт, 2022]. Междисциплинарный характер исследований определен стремлением ученых охватить весь спектр вариантов разговорного немецкого языка [Москалюк, 2014; Albert and oth., 2018], в том числе для решения задач прикладного характера. При этом предметом исследования немецкой диалектологии являются немецкие диалекты не только на территории Германии, но и за ее пределами [Соколова и др., 2022].

Materials and methods (Материалы и методы)

В качестве материала исследования послужил авторский корпус текстов кулинарных рецептов российских немцев. Фиксация языковых данных осуществлялась посредством цифровой аудиозаписи. Для фиксации текстов кулинарных рецептов на письме с возможностью передачи фонетических особенностей диалектного материала была использована популярная фонетическая транскрипция, приближенная к немецкой орфографии, – «полуорфографическая запись». Такая запись позволила, не прибегая к научной транскрипции, передать на письме при помощи специальных дополнительных знаков или буквосочетаний и те звуки, которых нет в литературном немецком языке. При установлении фонемного инвентаря исследуемых говоров использовались методы дистрибутивного и семантического анализа. Сравнительный анализ позволил сопоставить произношение звуков и звуковых сочетаний в исследуемых говорах с их произношением в стандартном языке.

Analysis and results (Анализ и результаты)

Особенности диалектной речи, отраженные в текстах кулинарных рецептов, реализуют языковые признаки, позволяющие выявить общие черты верхненемецких говоров немцев Красноярского края, сложившихся в результате многократного смешения родственных диалектов и мощного влияния русского языка.

Анализ фонетических особенностей островных говоров, представленных в текстах кулинарных рецептов, позволил отнести исследуемые говоры к смешанным диалектам, ориентированным на западносредненемецкий диалектный ареал. В области консонантизма к их особенностям относится, прежде всего, характер передвижения германских согласных:

Второе (верхненемецкое) передвижение согласных и консонантные изменения иллюстрируют следующие примеры:

– перебой t>z: *zwai* ‘zwei’, *Salz* ‘Salz’; *Nort in die Schiissel nai, ausainander*

knede, Salz und Soda nai ‘Dann in die Schüssel hinzugeben, durchkneten, Salz und Speisesoda hinzufügen’;

- бесперебойным остается глухой смычной *p* в начале и в конце слова, а также в удвоении: *Pewer* ‘Pfeffer’ *Pewer kann mer dran* ‘Man kann Pfeffer [hinzufügen]’, *Top* ‘Topf’ *Milich nai in Top schiede* ‘Milch in den Kochtopf giessen’, *Kop* ‘Kopf’ *Puder in de Pan braun mache* ‘Butter in der Pfanne braun machen’;
- перебой *k>kch*, характерный для южных областей Германии, в данных говорах не наблюдается: *klain, trocken, kuche*, например: *Milich kuche in Top* ‘Die Milch im Kochtopf kochen’.

Внутри слова между гласными и между сонорным и гласным - *p, k* ослаблены и лишены аспирации, а потому полностью совпадают в произношении со слабыми звонкими *b, g*: *Abel* ‘Apfel’, *Trobe* ‘Tropfen’, *Zugər* ‘Zucker’, *tunge* ‘tunken’; *e Stun kuche lose un net uſtege* ‘eine Stunde kochen lassen und nicht zudecken’.

- глухие смычные герм. *p, t, k* между гласными переходят в двойные спиранты (*p>ff, t>ss, k>ch*), которые, как правило, упрощаются и озвончаются: *Waser* ‘Wasser’, *Kughe* ‘Kuchen’, *Pewer* ‘Pfeffer’; *In Kastrol Waser naischiideun s Flaaschapkoghe* ‘In den Kochtopf Wasser gießen und das Fleisch kochen’;
- озвончение интервокальных спирантов *ff / f* после долгого гласного или дифтонга, между двумя гласными: *Lewel* ‘Löffel’: *ain Tee Lewel Sals* ‘einen Teelöffel Salz’. Этот признак В. М. Жирмунский относит к вторичным признакам верхнегессенского или характерным признакам южногессенских говоров [Жирмунский, 1956, с. 365]. Возможное для южногессенских говоров ослабление согласного *f > w* отражается графемой *w*;
- оглушение звонких взрывных (*b, d, g > p, t, k*) в начале слова, например: *Puder* ‘Butter’, *Till* ‘Dill’; *alles salse, pewere, Zill tapai tue* ‘alles salzen, Pfeffer und Dill hineintun’;
- спирантизация *b, g* в интервокальной позиции и после сонорных согласных *r, l* в середине слова, отражается на графическом уровне вариантами *w* и *ch/j*: например, *halwe* ‘halbe’, *Riwe* ‘Rübe’, *raiwe* ‘reibe’, *Knoweloch* ‘Knoblauch’, *Zwiwel* ‘Zwiebel’, *genuch* ‘genug’; *Keelriwe, Zwiwel, roude Riwe tapai tue* ‘Mohrrübe, Zwiebeln, rote Rübe hinzufügen’;
- палatalный вариант *j* вместо *g* появляется после гласных переднего ряда, а также после *r* и *l*, напр.: *leje ten Taig ufn Tisch leje* ‘den Teig auf den Tisch legen’;
- в текстах кулинарных рецептов представлены модификации суффикса *-chen, -je*: *bissje* ‘bisschen’; *pisje Mehl nehme* ‘ein bisschen Mehl nehmen’;
- характерным признаком исследуемого диалекта является озвончение глухих согласных в середине слова между гласными: *proude* ‘braten’. Глухие согласные не озвончаются после сонорных: *fjartich* ‘fertig’, *in Ouwe uf Stun stelle un proude* ‘in den Ofen für eine Stunde stellen und braten’;
- ассимиляция согласного, переход *s > sch* представлен в группе согласных – *rst*, например: «Worscht» Wurst. В группе согласных – *st* переход *s > sch* не осуществляется в середине и в конце слова, здесь сохраняется *s*, например: *fest; net so fest* ‘nicht so fest’;

- полная прогрессивная ассимиляция *nd* и *nt* > *n*, напр.: *hunert* ‘hundert’, *mitenaner* ‘miteinander’; *den Taig schei ausnannerwelghere* ‘den Teig schön welgern’;
- отпадение *t* после фрикативного согласного, напр.: *is: Is fjartig* ‘Fertig ist das ganze’;
- отпадение *n* в окончании *-en* > *e*, напр.: *koche, anmache, trockle; vieregige Sticjle schneide, Kartowel naitue un petze* ‘vierekige Stückchen schneiden, Kartoffeln hineintun und zupetzen’.

В исследуемых рецептах зафиксирован вариант без выпадения *n* перед спирантом *f* – явление, характерное и для немецкого литературного языка: *finf* ‘fünf’: *Nai schiede Pewerminztröbe, finf Trobe* ‘Gib Pfefferminztropfen (fünf Tropfen) hinzu’;

- озвончение *s* в начале и в середине слова перед гласными, в конце слова произносится глухой *s*: *sis* ‘süß’, *Sals* ‘Salz’: *di Krauzsupp is arich kuut miz Rohm zu esse* ‘die Gempsesuppe schmeckt gut mit Sahne’;
- наблюдается веляризация *l* перед смычными согласными в исходе слова: *kalt, kalt werd* ‘kalt wird’, *Hingelprih, Hingelprih kuche* ‘Hühnerbrühe kochen’, *Qualm, Qualm* ‘Dampf’;
- в рассматриваемых говорах перед гласными в начале слова или слога, после гласного на конце слога перед согласным или в конце слова сохраняется переднеязычное *r*: *Kartowel, Riewel, Kaller, proude, roude, gross*, например: *Brout muss mer korz schnaide und mit Zwiwel proude, im Puder* ‘Man muss Brot [dünn] schneiden und im [Öl] mit Zwiebel braten’. Таким образом, *r* не претерпевает изменений, не вокализуется: *Gorke, Gorken schnaide* ‘Gurken schneiden’, *Zuger, bißje Zuger* ‘ein bisschen Zucker’, *Puder, Nort die Pudermilich raus* ‘Gieße dann die Buttermilch aus’.

В. М. Жирмунский указывал на то, что «спирант *ch* в литературном языке дифференцируется как среднеязычное *ç* < (ich-Laut) или заднеязычное *χ* (ach-Laut) в зависимости от предшествующих звуков: (ach-Laut) после гласных заднего образования, ich-Laut после передних гласных» [Жирмунский, 1956, с. 256-257]. Сходные признаки присутствуют и в текстах рассматриваемых рецептов (ach-Laut) *danach, Kuche, gekocht*, (ich-Laut) *Milich: Milich nai* ‘Milch giessen’, *räuchre: Kann mer auch räuchre* ‘Man kann auch räuchern’.

В исследуемых кулинарных рецептах отражены и особенности современных островных верхненемецких говоров Красноярского края в области вокализма. Исследуемый диалект имеет следующие фонетические признаки:

- делабиализация губных гласных переднего ряда *ü* > *i*, *ö* > *e*, например: *finf* ‘fünf’, *dinn* ‘dünn’, *rihre* ‘rühren’, *Schiisel* ‘Schüssel’, *Lewel* ‘Löffel’; *wann alles kar is, tes angeprodene naischide* ‘wenn alles gar ist, schütteltman das Angebratene hinei’. В. М. Жирмунский объясняет явление делабиализации как общую тенденцию облегчения артикуляции в диалектах [Жирмунский, 1956, с. 167];
- сужение и лабиализация ударного краткого *a* > *o* наблюдается не регулярно, а лишь в некоторых словах исследуемого диалекта: *host* ‘hast’; *e Stun koghe lose*

‘eine Stunde kochen lassen’;

- эпентеза переходных гласных *i*, *e* между сонорными *r* и *l* и последующим губным и среднеязычным глухим, например: *Milich* ‘Milch’; появлением в исходе слова эпентетического гласного - *e* при суффиксе глагольного инфинитива: *schittle* ‘schütteln’; *halwe Kilo Mehl, e Ai, truckle Heiwe, pisje Milich torichmische* ‘ein Kilo Mehl, ein Ei, trockene Hefe, ein bisschen Milch vermischen’;
- редукция неударных гласных: *Pan* ‘Pfanne’, *Sup* ‘Suppe’; *ti Prih runerschide* ‘die Brühe hineingießen’. Явление отпадения конечного безударного гласного, приводящего к сокращению слова, называется апокопой (от греч. аросоре – усечение) [Розенталь и др., 2001, с. 29]. Явление синкопы (выпадения безударного звука или группы звуков) можно наблюдать на примере: *weng* ‘wenig’. В. М. Жирмунский отмечает: «Редукция неударных гласных окончания под влиянием ударения на коренном гласном указывает на взаимодействие законов изменения ударения с внутренними законами грамматического характера» [Жирмунский, 1956, с. 161].

В исследуемых текстах кулинарных рецептов была отмечена фонетическая особенность артикля и указательного местоимения *das*, характерная для всех диалектов. Указательное местоимение *das* произносится с редуцированным гласным: *des*.

- дифтонгизация долгих *e*, *o*, *ö*, например, *ē* > *ei*: *Keis* ‘Käse’, *ō* > *ou* *Brout* ‘Brot’, *roude* ‘rot’, *ö* > *ei* *schein* ‘schön’; *Taig uf di Strudel macht mr ach wi ten Taig uf s Prout* ‘Teig für die Strudeln macht man auch wie den Teig für das Brot’;
- свн. дифтонг среднего уровня *ei* представлен в более открытом варианте *ai* или как монофтонг *a*: *zwai /zwa* ‘zwei’, *Flaisch/ Flaasch* ‘Fleisch’; *tes Flaasch muss mr torichs Flaaschmaschindl mahle* ‘das Fleisch muss man im Fleischwolf mahlen’;
- дифтонгизация узкого долгого свн. *i* > диал. *ai*: *main, drai, Prai; drai Stune kuche* ‘drei Stunden kochen’;
- не перешедший в дифтонг средневерхненемецкий долгий *ī* присутствует в диалекте в местоименном наречии *darauf* как краткий *u*: *druf: druf straue* ‘darauf bestreue’;
- расширение *i* > *e*, *u* > *o* перед сонорными [Смирницкая и др., 2002, с. 197]. Например: *wird* > *werd*, *Wurst* > *Worscht*: *alles schei torichknede* ‘alles schön durchkneten’.

В исследуемых текстах встретились следующие долгие гласные, среди которых открытые: [a:] *raache* ‘räuchern’, [ɛ:] *Äbel* ‘Äpfel’, закрытые [e:] *Lewel* ‘Löffel’, [i:] *Schiisel* ‘Schüssel’, [o:] *Owe* ‘Ofen’, [u:] *nuhme* ‘nehmen’; краткие открытые [a] *Pan* ‘Pfanne’, [ɛ] *wäshe* ‘waschen’, [i] *finf* ‘fünf’, [ɔ] *Top* ‘Topf’, [ʊ] *druf* ‘darauf’; дифтонги [aɪ] *Taich* ‘Teig’, [aʊ] *straue* ‘streue’, [oʊ] *broude* ‘braten’, [eɪ] *Keis* ‘Käse’. В неударной позиции, прежде всего, в окончаниях глаголов, прилагательных и существительных широко распространен редуцированный [ə] *riere* ‘röhre’, который может полностью отпадать.

В условиях частично подготовленной речи гласные фонемы исследуемого диалекта характеризуются большей вариативностью, чем при

подготовленной речи. Это проявляется в том, что кроме вышеперечисленных общих черт следует отметить и индивидуальные вариации произнесения звуков в определенных позициях и некоторых словах в речи информантов: чередование долгого [u] – долгого [o] перед сонорным, *nuhme/nohme* ‘nehmen’, чередование долгого гласного [e] – дифтонга [ei] *Klees /Kleis* ‘Klöße’, чередование долгого [e] – дифтонга [ou], *Knoweloch/ Knouweloch* ‘Knoblauch’, дифтонгов [ai] – [ei] *Aier/Eig* ‘Eier’, чередование долгого [a] – дифтонга [ai] *Flaisch/Flaasch* ‘Fleisch’, чередование суффиксов *-che* и *-je* *Kleißeche /Kleisje* ‘Klößchen’, чередование аффрикаты [z] и щелевого [s] в конце слова *Salz/ Sals* ‘Salz’, сохранение переднеязычного [r] в конце слова – его вокализация: *Lorbenpläder/ Loaberpläder* ‘Lorbeerblätter’.

Подобную вариативность произнесения отдельных звуков в одних и тех же позициях отмечают и другие исследователи российско-немецких диалектов. Так, Е.А. Либерт определяет: «В целом средненемецкий языковой ареал достаточно близок к литературному немецкому, он понятен владеющему литературной формой языка. В речи носителей наблюдается характерная для диалектной речи вариативность при произнесении некоторых слов, например: *fufzich* и *fifzich* 'пятьдесят' (лит. нем. *fünfzig*), *zwa* и *zwai* 'два' (лит. нем. *zwei*), *Flaasch* и *Flaisch* 'мясо' (лит. нем. *Fleisch*)» [Либерт, 2022, с. 173].

Для диалектной речи характерно наличие оговорок в форме ошибочных добавлений звуков или замены одного звука другим, которые мы находим и в кулинарных рецептах, например: *Lorbenbläder* ‘Lorbeerblätter’, *Wälderholz* ‘Wälgerholz’, *fainde* ‘fein’, *Puderzucker* ‘Zuckerpuder’, например:

Flaisch kuche, Kraut dran, bissje Kartowel, Lorbenbläder 1 order 2. ‘Koche das Fleisch, füge das Kraut, bisschen Kartoffeln, Lorbeerblätter (1 oder 2) hinzu’.

Nort tue raus Taich, mit Wälderholz [раскатать], in Plech leche. ‘Dann nimm den Teig heraus, rolle mit der Teigrolle aus, lege in das Backblech’.

Nort Speck fainde schnaide, brate. ‘Schneide dann fein den Speck, brate an’.

Wenn gebacke [посыпать] ober mit Puderzucker. ‘Berait. Wenn es gebacken wird, bestreue mit Zuckerpuder. Fertig ist das ganze’.

На примере рецепта – ‘Riewelsup’ – информанта ППЯ (01.09.1941 года), уроженки Саратовской области, с. Беттингер (Bettinger) проведен сравнительный анализ фонетических особенностей лексических единиц.

Riewelsup

Dialekt

Wasser, Kartowel, weng Salz. Nort Riewel mache. Eig und weng Meil und mach Riewel in Schieselje. Nort neischiede Riewel in die Sup. Nort Speck schneide fein zu Kripjen und brate Zwiwel dran, brate des zusammen und zwei Lorbenblätter. Und alles nei in die Sup. Kann mer essen.

Hochdeutsch

Wasser, Kartoffel, wenig Salz. Dann mache Klößen aus dem Ei und wenig Mehl in der Schüssel. Gib dann Klößen in die Suppe hinzu. Schneide dann den Speck in feine Scheiben und brate die Zwiebeln an, brate das zusammen und füge zwei Lorbeerblätter hinzu. Und füge alles in die Suppe hinzu. Kann man essen.

Перевод

Взять воду, картошку, немного соли. Затем сделай в миске комочки из яйца и немного муки, затем добавь их в суп, затем нарежь сало на тонкие ломтики и обжарь лук, добавь два лавровых листа. Положи все в суп. И можно есть.

Таблица 1 – Реализация диалектных фонетических особенностей в тексте *RIEWELSUP*

диалект	лит. нем. язык	фонетические различия
Meil	Mehl	ei - e:
fjartig	fertig	f - f, a - e
druf	darauf	u - au
Heiwe	Hefe	w - f
Taich	Teig	ch - k
Kleiß	Klöße	ei - ö
Schiisel	Schüssel	i: - ü
Zwiwel	Zwiebel	w - b

Информант – МОД (10.07.1962 г.) уроженка Уярского района (с. Никольское) Красноярского края, родители родом из Саратовской области, с. Шенхен (Gattung).

Kartowel mit Kleis gewigelte

Dialekt

Nohme Aier, Meil, Salz, Tigmilich, Poudasch. Des alles verriere, tig mache. Taich welge, schmelze mit Aile, wigle und verschnaide klaine Stiege. Une Kartowel leiche druf Kleis und alles kuche. Zwiwel in die Pan mit Speck proude. Und schmelze alles. Ist fjartig.

Hochdeutsch

‘Nimm Eier, Mehl, Salz, Dickmilch, Speisesoda. Alles umrühren, einen dicken [Teig kneten]. Den Teig ausrollen, mit Öl schmieren, wickeln und in kleine Stückchen schneiden. Lege unten Kartoffeln, die Klöße oben drauf und [schmore] alles. Zwiebel mit Speck in der Pfanne anbraten. Alles mit geschmolzener [Butter giessen]. Fertig ist das ganze’.

Перевод

Возьми яйцо, муку, соль, простоквашу, соду. Всё перемешать, [замесить] густое [тесто]. Раскатать тесто, смазать маслом, завернуть и порезать на мелкие кусочки. Положи картофель на дно, клецки сверху и [туши] все. Обжарить лук с салом на сковороде. Все полить [растопленным маслом]. Все готово.

Ramsup

Dialekt

Nohme Kartowel, koche. Mache Kleis. Eier und Ram alles verrieren. Des alles nei in die Kartowel.

Hochdeutsch

Nimm Kartoffeln, koche. Mache Klöße. Eier und saure Sahne umrühren. Alles in die Kartoffeln hinzugeben.

Перевод

Возьми картофель, отвари. Сделайте клецки. Смешай яйцо и сметану. Добавь все в картофель.

Таблица 2 – Реализация диалектных фонетических особенностей в тексте *KARTOWEL MIT KLEIS GEWIGELTE; RAMSUP*

диалект	лит. нем. язык	фонетические различия
Meil	<u>Mehl</u>	ei - e:
fjartig	fertig	f - f, a - e
druf	darauf	u - au
Kartowel	Kartoffeln	w - f
Taich	Teig	ch - k
Kleiß	Klöße	ei - ö
verriire	umrühren	i: - ü
proude	brate	ou - a
Pan	Pfanne	p - pf
Tigmilich	Dickmilch	t - d

При исследовании произношения и его вариативности в малых социальных группах одним из ведущих является ситуативный аспект изучения речи. Диалектный материал (тексты кулинарных рецептов) функционирует в бытовой сфере и реализуется в форме частично подготовленной монологической речи, определяемой доверительной ситуацией общения. Частично подготовленная речь характеризуется сниженным артикуляционным напряжением, средними и короткими речевыми тактами, а также преобладанием интонационных структур с нисходящим и ровным тоном. В диалектном исполнении рецептов темп речи чаще не стабилен, ослабляется за счет реализации нисходящей мелодии. С результатами электроакустического анализа можно ознакомиться в других публикациях авторов [Korbmakher et al., 2021].

Подводя итоги, можем отметить, что островные говоры Красноярского края имеют смешанный характер, утратили наиболее яркие отличительные

признаки отдельных исходных диалектов, сохранив самые общие вторичные признаки исходного западносредненемецкого диалектного ареала. Диалекты изменяются и развиваются с течением времени и приобретают новые черты не только на произносительном, но и на лексико-фонетическом уровнях.

Conclusion (Заключение)

Анализ собранного диалектного материала позволяет сделать вывод, что диалектные особенности на фонетическом уровне являются свидетельствами сохранения отдельных признаков исходной языковой культуры, которая претерпела изменения при смешении первоначально различных немецких диалектов. Результатом взаимодействия немецких переселенцев с носителями языка окружения является вариативность при произнесении некоторых слов и наличие заимствованной лексики, что подтверждается представленностью в языковом материале. Материал исследования предоставил возможность установления характерных черт островных верхненемецких говоров Красноярского края, позволил отнести исследуемые говоры к смешанным диалектам, ориентированным на западносредненемецкий диалектный ареал.

Консонантные изменения иллюстрируют характер второго (верхненемецкого) передвижения германских согласных указанного диалектного ареала. Исследуемый диалект имеет смешанный характер, который отражают его фонетические особенности.

Выявленные на фонетическом уровне отличия от нормы немецкого литературного языка показали, что к особенностям исследуемого диалекта в области вокализма относятся дифтонгизация долгих гласных ē, ö, ö, переход ei > a, расширение i > e, u > o, делабиализация губных гласных переднего ряда, редукция неударных гласных, а в области консонантизма – сохранение германского *p* в начале слова и в удвоении, спирантизация *b*, *g* в середине слова, ассимиляция согласных *nd* и *nt*, оглушение звонких взрывных *b*, *d*, *g* > *p*, *t*, *k* в начале слова, озвончение интервокальных глухих спирантов и смычных, озвончение *s* в начале и в середине слова перед гласными, веляризация *l* перед смычными согласными в конце слова.

Список сокращений и уточнений:

др. – другие

лит. нем. – литературный немецкий

ППЯ, МОД – деперсонализированные ФИО информантов

с. – село

Ср. – сравним

Библиографический список

Александров О. А. Язык российских немцев Томской области: социолингвистический и лингвокогнитивный аспекты. Томск: ООО «Графика», 2022. 277 с. EDN JDABEM.

Беренд Н. «Наша задача – собрать, зафиксировать, описать». Памяти Гуго Гуговича Едига (1920-1991) // Bulletin. 2010. № 2 (62). С. 12-15.

Дингес Г. К изучению говоров Поволжских немцев (Результаты, задачи, методы) // Ученые записки Саратовского ун-та. 1925. Т. VII. № 3. С. 12-29.

- Дятлова В. А.* Полевая лингвистика и отечественная немецкая диалектология // Полевые исследования: островная немецкая диалектология и этнография: Материалы всероссийского научно-практического семинара, Красноярск, 28–30 октября 2009 года. Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2009. С. 61-69. EDN VUQOVF.
- Ермакина Н. А.* Особенности синтаксической системы немецких говоров // Немцы Сибири: история и современность: материалы V международной научно-практической конференции. Омск: Издательский дом «Наука», 2006. С. 228-231.
- Жирмунский В. М.* Немецкая диалектология. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 636 с.
- Корбмахер Т. В.* Структурная организация и языковые особенности текста кулинарного рецепта (на материале диалектов российских немцев): специальность 10.02.04 Германские языки: диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Корбмахер Татьяна Владимировна, 2022. 210 с. EDN CLGOML.
- Либерт Е. А.* Немецкие диалекты Алтая: к данным последней экспедиции // Сибирский филологический журнал. 2022. № 1. С. 166–177. DOI 10.17223/18137083/78/12. EDN BPSKZL.
- Москалюк Л. И.* Немецкие языковые острова в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Филология. 2014. № 1(27). С. 28-38. EDN RZCIGV
- Розенталь Д. Э.* Словарь-справочник лингвистических терминов / Д. Э. Розенталь, М. А. Теленкова. М.: ООО «Изд. Астрель»; ООО «Изд. АСТ», 2001. 624 с.
- Смирницкая С. В.* Немецкие говоры северного Таджикистана / С. В. Смирницкая, М. А. Баротов // Труды по германистике и истории языкоznания. СПб.: Наука, 2002. С. 151-239.
- Соколова Г. А.* Фонетические особенности разговорной речи немецкого языка и немецких диалектов (на примере баварского, берлинского и восточнофризского диалектов) / Г. А. Соколова, Д. А. Зимарин // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. 2022. № 7(862). С. 116-121. DOI 10.52070/2542-2197_2022_7_862_116. EDN MIEWCQ.
- Степанова М. М.* Структурно-семантические особенности устных текстов-воспоминаний (на материале говоров немцев Красноярского края): специальность 10.02.04 Германские языки: диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Степанова Марина Михайловна. Красноярск, 2006. 197 с. EDN NOAEKN.
- Филиппова Ю. Ф.* К вопросу о специфике фольклорной лексики этнических немцев // Исследования немецких диалектов в России: прошлое, настоящее и будущее отечественной островной диалектологии российских немцев: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 25–29 июня 2011 г. М.: МСНК-пресс, 2011. С. 138-143.
- Штейнгарт Л. М.* Особенности презентации языковой картины мира российских немцев (на материале пословиц и поговорок): специальность 10.02.04 Германские языки: диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Штейнгарт Лариса Мироновна. Красноярск, 2006. 193 с. EDN NOCNIT.
- Albert G.* Mündlicher Sprachgebrauch. Zwischen Normorientierung und pragmatischen Spielräumen / G. Albert, S. Diao-Klaeger // Stauffenburg Linguistik. Tübingen: Stauffenburg Verlag. 2018. Band 101. 316 S. ISBN: 978-3-95809-522-9
- Korbmakher T. V.*, Application of Computer Methods for Acoustic Analysis of the West-Middle German Dialect / T. V. Korbmakher, N. N. Grotskaya // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021, Vol. 3 : Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference, online, 21 апреля–02 2021 года. – online, 2021. P. 23-29. DOI 10.1007/978-3-030-77448-6_3. EDN KDGDLQ.

References

- Albert G., Diao-Klaeger S.* (2018). Oral language use. Between norm orientation and pragmatic play areas. *Stauffenburg Linguistics*. Tübingen: Stauffenburg Verlag. 101: 316 pp. (In German).

- Alexandrov O. A. (2022). The language of Russian Germans of the Tomsk region: sociolinguistic and linguocognitive aspects. Tomsk: LLC «Graphics»: 277 pp. (In Russian).
- Berend N. (2010). «Our task is to collect, fix, describe». In memory of Hugo Gugovich Yedig (1920-1991). *Bulletin*. 2 (62): 12-15. (In Russian).
- Dinges G. (1925). To the study of dialects of Volga Germans (Results, tasks, methods). *Scientific notes of the Saratov University*. VII (3): 12-29. (In Russian).
- Dyatlova V. A. (2009). Field linguistics and domestic German dialectology. *Field research: Insular German dialectology and ethnography: Materials of the All-Russian scientific-practical seminar*, Krasnoyarsk, October 28-30, 2009. Krasnoyarsk State Pedagogical University (KSPU) named after V.P. Astafiev. 61-69. (In Russian).
- Ermyakina N. A. (2006). Features of the syntactic system of German dialects. *Germans of Siberia: history and modernity: materials of the V International Scientific and Practical Conference*. Omsk: Publishing House «Nauka»: 228-231. (In Russian).
- Filippova Yu. F. (2011). On the question of the specifics of the folklore vocabulary of ethnic Germans. *Studies of German dialects in Russia: the past, present and future of the domestic insular dialectology of Russian Germans: Materials of the international scientific and practical conference*. Moscow, June 25-29: 138-143. (In Russian).
- Korbmacher T. V. (2022). Structural organization and linguistic features of the culinary recipe text (on the material of Russian Germans dialects): diss.... cand. Philol. sciences:10.02.04. Barnaul. 210 p. (In Russian).
- Korbmacher T. V., Grotskaya N. N. (2021). Application of Computer Methods for Acoustic Analysis of the West-Middle German Dialect. *Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021*, 3: 23-29. DOI 10.1007/978-3-030-77448-6_3.
- Libert E. A. (2022). German dialects of Altai: to the data of the last expedition. *Siberian Philological Journal*. 1: 166-177. (In Russian).
- Moskalyuk L. I. (2014). German language islands in Western Siberia. *Bulletin of Tomsk State University. Philology*. 1: 28-38. (In Russian).
- Rosenthal D. E., Telenkova M. A. (2001). Dictionary of linguistic terms. Moscow: LLC «Ed. Astrel»; LLC «AST Publishing House», 624 pp. (In Russian).
- Shteyngart L. M. (2006). Features of the representation of the linguistic picture of the world of Russian Germans: on the material of proverbs and sayings: diss.... cand. Philol. sciences:10.02.04. Irkutsk. 193 pp. (In Russian).
- Smirnitskaya S. V., Barotov M. A. (2002). German dialects of northern Tajikistan. *Works on Germanistics and the history of linguistics*. St. Petersburg. Nauka: 151-239. (In Russian).
- Sokolova G. A., Zimarin D. A. (2022). Phonetic features of colloquial speech of the German language and German dialects (on the example of the Bavarian, Berlin and East Frisian dialects). *Bulletin of the Moscow State Linguistic University. Humanitarian sciences*. 7 (862): 116-121. (In Russian).
- Stepanova M. M. (2006). Structural and semantic features of oral texts-memoirs: Based on the dialects of the Germans of the Krasnoyarsk Territory: diss.... cand. Philol. sciences:10.02.04. Barnaul. 197 pp. (In Russian).
- Zhirmunsky V. M. (1956). German Dialectology. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 636 p. (In Russian).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

УДК 81

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_195

ПРОВОКАЦИЯ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРИЕМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Татьяна Юрьевна Портнова,

orcid.org/0000-0001-6134-143X,

кандидат филологических наук, доцент

Московский государственный технический университет

гражданской авиации (Иркутский филиал),

ул. Коммунаров, 3

Иркутск, 664047, Россия

taty-port@yandex.ru

Аннотация. Статья является продолжением цикла работ автора, посвященных вопросам развития навыков критического мышления у студентов технического вуза на занятиях по иностранному языку. Предметом исследования являются провокативные приемы, которые были апробированы на занятиях по английскому языку как иностранному и авиационному английскому языку для студентов первого-четвертого курсов ИФ МГТУ ГА. Автор анализирует положительный, конструктивный потенциал провокаций и их эффективность и демонстрирует варианты использования провокативных приемов в учебных ситуациях. Разнообразные формы провокаций в обучающей среде представляют определенный исследовательский интерес. Практическая значимость работы заключается в разработке заданий с использованием провокаций на профессионально ориентированном материале для подготовки авиационных специалистов.

Ключевые слова: критическое мышление, провокация, авиационный английский язык, эмоции.

PROVOCATION AS A PEDAGOGICAL TECHNIQUE FOR DEVELOPING SKILLS OF CRITICAL THINKING AT ENGLISH LESSONS AT A TECHNICAL UNIVERSITY

Tatyana Yu. Portnova,

orcid.org/0000-0001-6134-143X,

Candidate of Philological Sciences, Associate Professor

Moscow State Technical University

of Civil Aviation (Irkutsk Branch),

3, Kommunarov str.

Irkutsk, 664047, Russia

taty-port@yandex.ru

Abstract. The paper is continuation of the author's works aimed at developing skills of technical students' critical thinking at English lessons. The research subject includes provocative techniques which were tested when teaching English and Aviation English the first-fourth academic year students at MSTU CA, Irkutsk branch. The author analyses the positive, constructive potential and efficiency of provocations and demonstrates variants of using

provocative techniques in learning situations. Various forms of provocations in educational environment are of certain research interest. Practical significance of the work is in developing exercises with the use of provocations on professionally oriented material for aviation specialists' training.

Key words: critical thinking, provocation, Aviation English, emotions.

Introduction (Введение)

В условиях современной социальной и политической реальности, когда огромное количество факторов разрушительного характера направлено на искажение национального исторического сознания, необходимость развивать навыки критического мышления, то есть способность человека критически оценивать поступающую информацию, анализировать ее, ставить под сомнение, сопоставлять с уже известными данными, приобретает всё большую актуальность. Именно критическое мышление может обеспечить защиту от возможных манипуляций и позволит определять верные ориентиры в многочисленных потоках непроверенной информации.

В качестве одного из средств развития навыков критического мышления можно использовать провокативные (или провокационные) приемы. Понятие «провокация» не является однозначным. В то время, как в обывательской среде оно надежно имеет статус отрицательного явления, во многих сферах (искусство, наука, образование, медицина) провокация применяется для успешного решения задач, направленных не на причинение вреда, а, напротив, на достижение какого-либо положительного эффекта.

Materials and methods (Материалы и методы)

В статье представлены и научно обоснованы вопросы внедрения провокативных приемов в образовательный процесс в техническом вузе на занятиях по иностранному языку. Автор использовал такие методы исследования, как изучение, анализ и систематизация педагогических и психологических трудов по указанной проблематике, анализ и интерпретация собственного опыта работы с обучающимися, педагогический эксперимент, наблюдение, беседа. На основе используемых методов автор приходит к выводу, что провокативные приемы являются одним из перспективных направлений в развитии навыков критического мышления у обучающихся.

Discussion (Дискуссия)

В России о необходимости развития у обучающихся критического мышления заговорили сравнительно недавно: в конце 20-го – начале 21-го века, однако, эта проблематика сразу стала популярным и востребованным направлением исследований. Российские исследователи в области педагогики и психологии изучают механизмы формирования критического мышления, пути развития и совершенствования его навыков, предлагают свои технологии

и методики⁵⁶ [Загашев и др., 2003; Иванова, 2009; Мухина, 2002; Федоров, 2007].

Одним из педагогических приемов для развития у обучающихся критического мышления может служить провокация.

Для носителей русского языка слово «провокация» имеет однозначную негативную коннотацию. Это подтверждается анализом словарных статей в разных толковых словарях русского языка, где дается по три-четыре отрицательных значения этого слова в различных областях знания (политика, социология, медицина, сельское хозяйство), например:

«ПРОВОКАЦИЯ

1. Предательское поведение, подстрекательство кого-нибудь к таким действиям, которые могут повлечь за собой тяжелые для него последствия.
2. Агрессивные действия с целью вызвать военный конфликт (спец.).
3. Искусственное возбуждение каких-нибудь признаков болезни (спец.)» [Ожегов и др., 2006, с. 443].

То есть в самом широком смысле провокация трактуется как своего рода подстрекательство, цель которого – причинение вреда тому, против кого оно направлено, будь то человек (либо социальная группа), болезнь, растение или какой-то другой объект. Этимологические словари постулируют провокации происхождение от французского *provocare* «подстрекать», «вызывать на драку» [Этимологический словарь..., 2014, с. 299].

Однако, обращение к еще более ранним истокам происхождения слова «провокация» отсылает нас к латинскому *provocatio* – «вызов», что уже несет более нейтральный смысл. Эту же нейтральную коннотацию предлагают и англоязычные словари, которые для перевода слова *provocation*, наряду с «провокация, подстрекательство, раздражение», дают варианты «вызов, побуждение, стимул», а прилагательному *provocative* помимо «провокационный» постулируют и значение «содержательный, яркий, дискуссионный» [Академик. Сайт..., 2000]. Именно в таком аспекте в данной статье и будет рассматриваться провокация: как педагогический прием, который подразумевает умышленный вызов определенной обратной реакции обучающегося и не предполагает для него обязательных деструктивных последствий.

Наиболее полная интерпретация понятия «провокация» и ее рассмотрение в философском, политологическом, культурологическом, информационном и конфликтологическом аспектах предлагается в сборнике статей, созданном коллективом участников гранта Российского гуманитарного научного фонда [Провокация..., 2016]. Авторы отмечают, что термин «провокация» неоднозначен, и разработать типологию провокаций очень сложно в силу ряда причин, среди которых называется многочисленность и расплывчатость критерииев. Особенно важна для настоящей статьи идея авторов сборника о том, что провокации, которые

⁵⁶ Мурюкина Е. В. Развитие критического мышления студентов педагогического вуза в рамках специализации «Медиаобразование»: учеб. пособие для вузов / Е. В. Мурюкина, И. В. Чельшева // отв. ред. А. В. Федоров. Таганрог: Кучма, 2007. 162 с.

имеют ненасильственный характер, могут быть по своей сути функциональными и обладают конструктивным потенциалом при условии, что обеспечивается взаимодействие сторон для устраниния конфликта интересов [Провокация..., 2016, с. 6].

Анализ литературы показал, что провокационные ситуации, создаваемые на занятиях по иностранному языку, как правило, нацелены на снятие коммуникативных барьеров и представлены в виде неожиданных заданий, например, «Сегодня курсант А проведет с нами экскурсию по зданию Капитолия в Вашингтоне...» [Телякова, 2022], либо обсуждения неоднозначного тезиса (например, «Высшее образование в наши дни теряет свою ценность» [Юсупова, 2022] или «Любовь допускает измену» [Захарова, 2018]). Кроме этого, при обучении иностранному языку используются такие провокационные задания, как адвокат дьявола, лекция-провокация [Попова и др., 2022; Юсупова, 2022].

Results (Результаты)

Автором статьи был предпринят поиск альтернативных провокативных приемов, которые в дальнейшем были апробированы на занятиях по английскому языку как иностранному и по авиационному английскому языку со студентами ИФ МГТУ ГА.

Если рассматривать провокативные приемы через призму развития навыков критического мышления, они однозначно должны подразумевать вброс ложной информации. Как это правильно делать на занятии? Ведь преподаватель должен быть источником достоверной информации.

Студентам легче отзваться на провокацию, когда провоцирует равный им по статусу человек, например, одногруппник. Это один из эффективных приемов, когда преподаватель действует «чужими руками», по предварительной договоренности с каким-либо студентом. Так, при подготовке докладов на английском языке по истории авиации, один из выступающих получил тайное задание – специально сделать в презентации о братьях Райт и их первом самолете несколько явных фактических ошибок. Студент справился с заданием блестяще, но практически все его ошибки были «проглочены» большинством одногруппников как данность. Когда прозвучала неправильная дата первого пилотируемого полета (1412 год) в сопровождении картинки средневековой Европы, всего двое из восемнадцати студентов проявили невербальные признаки недоверия к информации; остальные спокойно и внимательно слушали докладчика, несмотря на то, что буквально десять минут назад обсуждался доклад о братьях Монгольфье и их воздушном шаре, и требовалось совсем небольшое мыслительное усилие, чтобы усомниться в достоверности предлагаемой информации. Еще два-три человека примкнули к числу сомневающихся, когда в качестве братьев Райт увидели фото двух азиатов. Все остальные озадачились только на последней – самой вопиющей – фактической ошибке, когда вместо Флайера, самолета, совершившего первый полет, им было представлено фото И-16 времен Великой Отечественной войны, «Ишачка» с красной звездой на боку. Реакция

была разной: кто-то засмеялся, кто-то занял выжидательную позицию, кто-то перешептывался с соседом; но среагировали все – цель была достигнута. На вопрос “What’s wrong?” лишь некоторые попытались высказаться, и только после того, как были даны объяснения, что это – спланированная акция, что в презентации допущены и другие смысловые ошибки, которые они, к сожалению, пропустили, ребята стали активно участвовать в дискуссии.

Эта ситуация отчетливо демонстрирует, что поверхностное мышление и привычка довольствоваться чужим мнением является серьезным препятствием на пути к мышлению критическому. Обучающийся, обнаруживший в предложенном материале неправду, оказывается под давлением коллективного мнения и не решается открыто выразить свои сомнения. Поэтому просто необходимо донести до обучающихся тот факт, что сомневаться – не плохо, а наоборот, сомнение является показателем осознанности. Вероятно, это и будет первым шагом к активному освоению навыков критического мышления и его необходимой базой, отступлением от привычки мыслить поверхностно. Поэтому преподавателю на занятии нужно приветствовать и поддерживать любые попытки студентов эксплицировать спорные с их точки зрения моменты и даже подталкивать их к этому.

Еще одним источником недостоверной информации, дающим возможность использовать провокативные приемы, могут служить сайты сети интернет. Например, при изучении типов авиационных двигателей, их конструкции и характеристик студенты получают задание заполнить сводную таблицу по двигателям, систематизируя материалы с нескольких предложенных сайтов. Один из сайтов содержит фактические ошибки, которые касаются принципиальной информации и противоречат ранее изученному материалу и, следовательно, неизбежно должны быть выявлены, при этом обучающиеся о наличии ошибок не предупреждаются. Студенты, нашедшие и озвучившие эти ошибки, получают высокую похвалу и испытывают чувство глубокого удовлетворения, что также положительно сказывается на формировании целевых навыков.

Есть много исследований, посвященных роли эмоций в эффективности образовательного процесса [Берман, 2019; Семенова и др., 2016; Pekrun, 2014]. О подкреплении эмоциями процесса формирования навыков критического мышления посредством провокации целесообразно сказать отдельно. Так, Н.С. Майкова в своем исследовании, посвященном применению провоцирующих задач на уроках геометрии, предлагает использовать такие задачи как специально подготовленные ловушки, которые подталкивают обучающихся к ошибочным действиям [Майкова, 2007]. По мнению Н.С. Майковой, досада, стыд, связанный с неудачей, и другие отрицательные эмоции, которые испытывает обучающийся, угодивший в такую ловушку на глазах у учителя и одноклассников, должны вызвать у него подсознательное стремление больше не попадать впросак, что в дальнейшем приведет к более вдумчивому и осознанному прочтению условия задач.

Действительно, для некоторых, особенно высоко мотивированных обучающихся отрицательные эмоции, переживаемые во время обучения,

стимулируют большее упорство и стремление в достижении цели, и легкий кратковременный стресс способствует достижению более высоких результатов, чему посвящен ряд исследований [Confusion..., 2014; Vogel et al., 2016]. Но ведь есть и совершенно другие психотипы, для которых такой опыт может оказаться травмирующим и привести к совершенно другим результатам. Точно так же неоднозначным является и создание на занятиях по иностранному языку таких провокационных ситуаций, как например: «Сейчас курсант А исполнит для группы свою любимую песню (расскажет любимое стихотворение) на английском языке...», при этом такое задание является для курсанта А полной неожиданностью [Телякова, 2022]. По мнению автора указанной статьи, такие задания помогают устраниить различные коммуникативные барьеры и способствуют формированию общих компетенций. Однако есть основания полагать, что преподаватель, использующий этот прием, должен быть осторожен; он должен четко осознавать, кому можно, а кому нельзя давать подобное задание; кому хватит чувства юмора, скорости реакции и других личностных качеств и психологических характеристик достойно выйти из таких ситуаций, а кого оно поставит в тупик, вызовет отторжение и отрицательные эмоции, что никоим образом не будет способствовать поставленным целям и вместо снятия барьеров воздвигнет новые. Провокативные методы не должны оказывать негативное влияние на самооценку человека и на взаимоотношения в коллективе.

Вне всякого сомнения, гораздо эффективнее и безопаснее опираться на положительные эмоции. Тот факт, что позитивная эмоциональная атмосфера способствует процессам восприятия, понимания и запоминания новой информации, а также усиливает вовлеченность и мотивированность обучающихся, утверждался такими авторитетными учеными, как И.П. Павлов, Н.П. Бехтерева, и подтверждается большим количеством современных исследований [Митина и др., 2001; Семенова и др., 2016; Schutz et al., 2007]. В контексте применения провокационных методов в обучении для создания положительной эмоциональной обстановки на занятии можно, например, использовать методику «вредных игр», суть которой в том, чтобы в безопасных, целенаправленно организованных условиях, в виде игры, позволить человеку «примерить» отрицательный образ себя. А.В. Енин считает, что эта методика работает эффективнее традиционных, и называет воспитание исключительно на положительных примерах одной из основных ошибок советской педагогики [Енин, 2009].

Для реализации этого метода нужно само задание сформулировать «от противного», чтобы эта формулировка вызывала смех и недоверие. Например, прорабатывая с будущими инженерами по техническому обслуживанию летательных аппаратов англоязычные руководства по технике безопасности (работать только при выключенном двигателе, убирать из зоны работы все легковоспламеняющиеся объекты, выставлять предохранительные пины и т. д.) можно сформулировать задание так: что нужно делать, чтобы получить травму при техническом обслуживании самолета. Такое задание всегда

вызывает отклик у обучающихся, они с интересом штудируют руководство в поисках еще не озвученных вариантов ответов, на занятии очень хороший эмоциональный фон. Несмотря на шутливый, несерьезный тон, такой вид работы на самом деле закрепляет верную программу действий: зная, к чему приводят бездействие или неправильные действия, проще предотвратить ошибки.

Еще одним способом предупредить возникновение нежелательного эмоционального состояния – чувства обиды, досады, ощущение обмана, раздражения, – можно считать игровую лекцию-provокацию: обучающимся предлагают найти в учебном материале, излагаемом преподавателем, заведомо заложенные ошибки. Такой вид работы обладает высоким обучающим потенциалом и позволяет развивать многие общекультурные и профессиональные компетенции, заявленные в федеральных образовательных стандартах [Зылева, 2015]. И он также способствует развитию навыков критического мышления, поскольку нацелен на анализ и обдумывание поступающей информации. Но представляется, что в такой форме уже не стоит говорить о провокации, поскольку обучающиеся знают о наличии ошибок, и точнее будет использовать второе название данного педагогического приема, а именно «запланированная ошибка», используемого наряду с понятием «лекция-provокация».

Обратимся теперь к непосредственно языковому аспекту при использовании провокативных приемов на занятиях по иностранному языку. Помимо того, что преподавателю нужно побудить обучающихся к критическому восприятию любой поступающей информации, важно и снабдить их необходимыми языковыми средствами, которые помогут корректно эксплицировать свою точку зрения и инициировать дискуссию. Шесть характеристик, свойственных критически мыслящему человеку, выделенных Д. Халперн, которая считается одним из зарубежных психологов, стоящих у истоков идеи развития критического мышления, включают в себя хорошо развитые коммуникативные умения [Halpern, 1996]. Бестактность и прямота высказывания могут оскорбить собеседника и перевести спор в разряд конфликта. Особенно это актуально при обсуждении какого-либо вопроса на иностранном языке, когда резкость высказывания, как правило, является ненамеренной и обусловлена нехваткой языковых средств для выражения собственных мыслей, и преподаватель должен предвидеть и предупреждать такие ситуации. В частности, можно ввести в активный словарь обучающихся следующие фразы:

I suppose...
It seems to me that...
I'm no expert on this but...
As far as I understand ...
The way I see it...
I take a different view at...
If I am not mistaken...
From my point of view...

I take your point but...
I'm not sure about...
This does not seem to be so.
It is rather questionable if...

Обучающиеся должны понимать, что критическое мышление вовсе не ставит своей целью уличить собеседника во лжи. Его истинная ценность – в осознанности восприятия и понимания, что на сегодняшний день является незаменимым качеством образованного человека.

Conclusion (Заключение)

Как показали результаты исследования, включающего в себя изучение, подбор, разработку и апробацию провокативных приемов на занятиях по иностранному языку у студентов транспортного вуза, потенциал провокации как методического приема для развития навыков критического мышления весьма значителен, поскольку позволяет стимулировать стремление дойти до истины своим умом, не принимать за аксиому чужие слова и мнение, желание задумываться о спорных моментах, что является одним из основных свойств критического мышления. Это реализуется за счет провоцирования эмоционального состояния (несогласия, удивления) или какой-то неожиданной учебной задачи. А поскольку эмоция побуждает к активности, возбуждает интерес, это делает провокативные приемы перспективным средством в организации образовательного процесса.

Библиографический список

- Академик. Сайт словарей и энциклопедий [Электронный ресурс]. 2000. – URL: <https://translate.academic.ru/provocation/en/ru/> (дата обращения: 26.09.2023).
- Берман Н. Д. Образование и эмоции: значение эмоций в нашей жизни и в обучении // Russian Journal of Education and Psychology. 2019. № 4 // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovanie-i-emotsii-znachenie-emotsiy-v-nashey-zhizni-i-v-obuchenii> (дата обращения: 12.01.2024).
- Енин А. В. Психология «Провокативной педагогики»: некоторые аспекты теории и методики // Вестник ТГУ. 2009. № 2 // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihologiya-provokativnoy-pedagogiki-nekotorye-aspeky-teorii-i-metodiki> (дата обращения: 01.03.2023).
- Загаев И. О. Критическое мышление: технология развития / И. О. Загаев, С. И. Заир-Бек. СПб.: Издательство «Альянс «Дельта», 2003. 284 с.
- Захарова М. Б. Уроки говорения на русском языке как иностранном в аспекте применения приёма провокации // Новое в лингвистике и методике преподавания иностранных и русского языков: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции 30 января 2018. М.: Научно-издательский центр «Открытое знание», 2018. С. 16-20. EDN TEAZPL
- Зылева Н. В. Лекция-провокация или использование педагогического приема "запланированная ошибка" в преподавании экономических дисциплин // Вестник Тюменского Государственного Университета. Гуманитарные исследования. Humanities. 2015. Том 1. № 2 (2) С. 214-226. EDN TVTFGT
- Иванова Л. А. Коадаптация медиа- и образовательного пространства – залог успешного решения проблемы пространственной лакунарности в высшем профессиональном

- образовании // Вестник Якутского государственного университета. 2009. Т. 6. № 2. С. 38-44. EDN KUFRCF
- Майкова Н. С.* Провоцирующие задачи как средство предупреждения ошибок учащихся в обучении математике // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2007. № 43-2 // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/provotsiruyuschie-zadachi-kak-sredstvo-preduprezhdeniya-oshibok-uchaschihsya-v-obuchenii-matematike> (дата обращения: 13.03.2023).
- Митина Л. М.* Эмоциональная гибкость учителя: психологическое содержание, диагностика, коррекция / Л. М. Митина, Е. С. Асмаковец. М.: Общество с ограниченной ответственностью "ФЛИНТА", 2001. 192 с. EDN UHDKNL.
- Мухина Е. А.* Развитие критичности мышления у учащихся: специальность 13.00.01 «Общая педагогика, история педагогики и образования» : диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Мухина Елена Александровна. Сочи, 2002. 122 с. EDN NMBIOV.
- Ожегов С. И.* Толковый словарь русского языка : 80000 слов и фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова; Российская акад. наук, Ин-т рус. яз. им. В. В. Виноградова. 4-е изд., доп. Москва : А ТЕМП, 2006. 938 с.
- Попова С. В.* Провокативное обучение иностранному языку как способ развития критического мышления / С. В. Попова, А. В. Сенцова // Наука и образование. 2022. № 4 // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/provokativnoe-obuchenie-inostrannomu-yazyku-kak-sposob-razvitiya-kriticheskogo-myshleniya> (дата обращения: 21.10.2023).
- Провокация: Сфера коммуникативного проявления: сборник статей / А. В. Дмитриев, А. В. Глухова, И. Е. Задорожнюк и др. М.: РУСАЙНС, 2016. 158 с. DOI 10.15216/978-5-4365-0690-6.
- Семенова В. Г.* Положительные эмоции как одна из составляющих речевого манипулирования в образовательном процессе / В. Г. Семенова, О. Н. Филиппова // Инновации в образовании. 2016. № 10. С. 129-136. EDN WMWOVX.
- Телякова И. Х.* Провокация как методический приём в педагогической теории и практике (на примере иноязычной подготовки курсантов образовательных организаций МВД России) // Вестник Калининградского филиала Санкт-Петербургского университета МВД России. 2022. № 2 (68). С. 137-140. EDN SIMACQ.
- Федоров А. В.* Развитие медиакомпетентности и критического мышления студентов педагогического вуза. М.: Изд-во МОО ВПП ЮНЕСКО «Информация для всех», 2007. 616 с. EDN PZDRZT.
- Этимологический словарь современного русского языка / под редакцией М. Н. Свиридовской. М.:«Аделант», 2014. 512 с.
- Юсупова Л. Н.* Провокационные приемы в дебатах (на материале английского языка) // Периодический мультидисциплинарный электронный научный журнал «Конструктивные педагогические заметки». 2022. № 10.1 (17). С. 137-150.
- Confusion can be beneficial for learning / S. D'Mello, B. Lehman, R. Pekrun, A. Graesser // Learn. Instr. 2014. № 29. p. 153–170. doi: 10.1016.
- Halpern D. F.* Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking. 3rd Ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1996. 430 p.
- Pekrun R.* International handbook of emotions in education. New York: Taylor. 2014. 708 p.
- Schutz P. A.* Emotion in Education / P. A. Schutz, R. Pekrun. San Diego, CA, US: Elsevier Academic Press. 2007. 348 p.
- Vogel S.* (2016). Learning and memory under stress: implications for the classroom / S. Vogel, L. Schwabe. Sci. Learn. 2016. № 1. p. 1–10. doi: 10.1038.

References

- Academic. Site of dictionaries and encyclopedias (2000). Available at: <https://translate.academic.ru/provocation/en/ru/> (accessed 26 September 2023). (in Russian)
- Berman N. D. (2019). Education and emotions: the role of emotions in our life and learning. *Russian Journal of Education and Psychology*. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovanie-i-emotsii-znachenie-emotsiy-v-nashey-zhizni-i-v-obuchenii> (accessed 12 January 2024). (in Russian)
- D'Mello, S., Lehman, B., Pekrun, R., and Graesser, A. (2014). Confusion can be beneficial for learning. *Learn. Instr.* 29: 153–170.
- Dmitriev A. V., Glukhova A. V., Zadorozhnyuk I. E. et al. (2016). Provocation: Spheres of communicative manifestation: collection of papers. Moscow: RUSAINS, 2016. 158 p. ISBN 978-5-4365-0690-6. DOI 10.15216/978-5-4365-0690-6. (in Russian)
- Enin A. V. (2009). Psychology of «Provocative pedagogy»: some aspects of theory and practice. *TSU Bulletin*. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihologiya-provokativnoy-pedagogiki-nekotorye-aspекty-teorii-i-metodiki> (accessed 01 March 2023). (in Russian)
- Etymological dictionary of the modern Russian language / ed. by Sviridova. Moscow: «Adelant», 2014. 512 p. (in Russian)
- Fedorov A. V. (2007). Development of media competence and critical thinking of students of pedagogical higher educational establishments. Moscow: Publishing MOO VPP UNESCO «Information for everybody», 2007. 616 p. (in Russian)
- Halpern D. F. Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking. 3rd Ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1996. 430 p.
- Ivanova L. A. (2009). Co-adoption of media and education environment as a base for successful solution of spatial lacunarity in higher professional education. *Bulletin of Yakutsk State University*. 6(2): 38-44. (in Russian)
- Maykova N. S. (2007). Provocative problems as a means of preventing pupils' errors in teaching math. *RSPU Proceedings*. 43-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/provotsiruyuschie-zadachi-kak-sredstvo-preduprezhdeniya-oshibok-uchaschihsya-v-obuchenii-matematike> (accessed 13 March 2023). (in Russian)
- Mitina L. M., Asmakovets E. S. (2001). A teacher's emotional flexibility. Moscow: MPSI, 2001. 190 p. (in Russian)
- Mukhina E. A. (2002). Development of students' critical thinking. Sochi, 2002. 122 p. (in Russian)
- Ozhegov S. I., Shvedova N. Yu. (2006). Russian glossary: 80,000 words and idiomatic phrases. Moscow: A TEMP, 2006. 938 p. (in Russian)
- Pekrun R. International handbook of emotions in education. New York: Taylor. 2014. 708 p.
- Popova S. V., Sentsova A. V. (2022). Provocative teaching a foreign language as a way to develop critical thinking. *Science and education*. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/provokativnoe-obuchenie-inostrannomu-yazyku-kak-sposob-razvitiya-kriticheskogo-myshleniya> (accessed 21 October 2023). (in Russian)
- Schutz P. A., Pekrun R. Emotion in Education. San Diego, CA, US: Elsevier Academic Press. 2007. 348 p.
- Semenova V. G., Filippova O. N. Positive emotions as a constituent of oral manipulation in educational process. *Innovations in education*. 10: 129-136. (in Russian)
- Telyakova I. Kh. (2022). Provocation as a methodical technique in pedagogical theory and practice (on example of foreign language training of cadets of Russian Ministry of Internal Affairs educational establishments). *Bulletin of Saint Petersburg University of Ministry of Internal Affairs of Russian Federation, Kaliningrad branch*. 2(68): 137-140. (in Russian)
- Vogel S., Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: implications for the classroom. *Sci. Learn.* 1: 1-10.
- Yusupova L. N. (2022). Provocative techniques in debates (on the material of the English language). *Periodical multi-disciplinary electronic scientific journal «Constructive pedagogical notes»*. 10.1(17): 137-150 (in Russian)

- Zagashov I. O., Zair-Bek S. I. (2003). Critical thinking: technology of development / I. O. Zagashov. Saint Petersburg: Publishing «Alyans «Delta», 2003. 284 p. (in Russian)
- Zakharova M. B. (2018). Russian as a foreign language speaking lessons in aspect of provocative method application. *New in linguistics and methodology of teaching of foreign and Russian languages: collection of proceedings of the 2nd international scientific and practical conference* on January, 30, 2018. Moscow: Scientific and publishing center «Otkrytoe znanie», 2018. 16-20. (in Russian)
- Zyleva N. V. (2015). Lecture-provocation or the use of teaching technique "planned mistake" in teaching economic disciplines. *Bulletin of Tyumen State University. Humanities*. 1-2(2): 214-226. (in Russian)

УДК 343

DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_206

ПЕДАГОГ КАК УЧАСТНИК УГОЛОВНОГО СУДОПРОИЗВОДСТВА

*Екатерина Закариеvна Сидорова,
orcid.org/0000-0002-3477-3816,
кандидат юридических наук,*

*Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел России,
ул. Лермонтова, 110
Иркутск, 664074, Россия
ketrik6@mail.ru*

*Евгений Геннадьевич Усов,
orcid.org/0000-0002-5373-8346,
кандидат юридических наук,*

*Иркутский институт (филиал) ВГУЮ (РПА Минюста России),
ул. Некрасова, 4
Иркутск, 664011, Россия
usov.evgeniy@list.ru*

Аннотация. Сфера образования очень обширна и разнообразна. Она включает в себя различные отрасли и направления. Можно с уверенностью говорить о том, что элементы образовательной системы, ее участники так или иначе соприкасаются с различными аспектами нашей жизни. Например, участники образовательных отношений могут столкнуться со сферой уголовного судопроизводства: школьники могут совершить преступление, студенты стать свидетелями совершающегося уголовно наказуемого деяния, а педагоги и психологи могут быть привлечены для оказания помощи следователю в работе с несовершеннолетним подозреваемым. В этой связи можно с уверенностью говорить о том, что участники образовательных отношений в ряде случаев могут коснуться уголовно-правовой сферы общественных отношений. В настоящей работе авторы уделяют внимание освещению вопросов, связанных с правовым статусом педагогов и психологов, участвующих в направлении уголовного судопроизводства и выполняющих при этом определенные, установленные законодателем функции. Авторам настоящего исследования представляется, что обращение к тематике о правовом статусе педагога в уголовном процессе обладает не только теоретическим, но и прикладным значением, поскольку дает гражданам представления о роли педагогического работника в сфере уголовного судопроизводства, складывающегося в связи с совершением тем или иным лицом уголовно наказуемого деяния.

Ключевые слова: педагог, несовершеннолетний, уголовное судопроизводство, правовой статус, уголовная ответственность, психологическая помощь.

TEACHER AS A PARTICIPANT IN CRIMINAL PROCEEDINGS

*Ekaterina Z. Sidorova,
orcid.org/0000-0002-3477-3816,
PhD in law,
East Siberian Institute of the Ministry of the Interior of Russia,
110, Lermontov st.
Irkutsk, 664074, Russia
ketrik6@mail.ru*

*Evgeny G. Usov,
orcid.org/0000-0002-5373-8346,
PhD in law,
Irkutsk Institute (branch) of the All-Russian State University of Justice
(RLA of the Ministry of Justice of Russia),
4, Nekrasov St.
Irkutsk, 664011, Russia
usov.evgeniy@list.ru*

Abstract. The field of education is very extensive and diverse. It includes various industries and directions. It is safe to say that the elements of the educational system, its participants somehow come into contact with various aspects of our life. Such an area of public relations as the sphere of criminal proceedings, which develops in connection with the commission of crimes by individual citizens, has not become an exception. In such cases, the guilty person is obliged to be justly punished. However, before such a punishment is imposed, the process of bringing a person to criminal responsibility established by law must take place. It is in this process that teachers and psychologists often take part. The purpose of this study is to address the legal status of a teacher participating in criminal proceedings and performing certain functions established by the legislator. It seems to the authors of this study that the appeal to the topic of the legal status of a teacher in criminal proceedings has not only theoretical, but also applied significance, since it gives citizens an idea of the role of a pedagogical worker in the field of criminal proceedings that develops in connection with the commission of a criminal offense by one or another person.

Keywords: teacher, minor, criminal proceedings, legal status, criminal liability, psychological assistance.

Введение

Сфера образования очень обширна и разнообразна, о чем говорят не только исследователи, но и законодатель [Об образовании в Российской Федерации, 2012]. Институт образования является в настоящий период важнейшей составляющей нашей жизни. А, как известно, ключевые элементы нашей жизнедеятельности, как правило, регулируются теми или иными правовыми предписаниями. Это означает, что институт образования тесным образом переплетен с правовыми положениями, правовыми нормами, действующими в нашем государстве. К вопросам, связанным с развитием института образования и его ролью в обществе, неоднократно обращались многие исследователи [Босхолов и др., 2020, с. 68; Сидорова, 2021а, с. 125].

Мы обоснованно можем констатировать, что институт образования присутствует практически во всех сферах жизни социума. Не стала исключением и такая область общественных отношений, как сфера

уголовного судопроизводства, складывающаяся в связи с совершением отдельными гражданами преступлений. В таких случаях виновное лицо обязано понести справедливое наказание. Однако, прежде чем такое наказание будет вынесено, должен состояться установленный законом процесс привлечения лица к уголовной ответственности. Именно в таком процессе нередко принимают участие педагогические работники и психологи. Задача настоящего исследования заключается в том, чтобы обратиться к правовому статусу педагога, участвующего в уголовном судопроизводстве и выполняющего при этом определенные, установленные законодателем функции.

Материалы и методы

Объектом исследования выступили современные общественные отношения, складывающиеся в связи с участием педагогического работника в уголовном судопроизводстве, т. е. в конкретном уголовном деле в качестве специалиста. Авторы обращаются к анализу уголовно-процессуальных норм, согласно которым определен определенный правовой статус педагогического работника. При этом нельзя не отметить, что выбранная авторами тема исследования отличается актуальностью. К проблемам участия педагога в уголовном процессе обращались и обращаются многие специалисты, которые неоднократно подчеркивали значимость данного процессуального лица в вопросах обеспечения прав иных участников уголовного процесса, в первую очередь несовершеннолетних [Свежинцев, 2022, с. 65; Смирнов, 2022, с. 74; Шувалова, 2019, с. 118].

Нам представляется, что нельзя не согласиться с мнением, высказанным в научной литературе, о том, что значимость исследований, посвященных подобной тематике, определяется тем, что полученные выводы будут способствовать расширению правовых знаний граждан, а значит, будут способствовать повышению уровня правовой культуры граждан [Safety issues..., 2020, р. 188].

Методологическая основа исследования основывается на общеначальном диалектическом методе научного познания, предполагающего объективность и всесторонность познания исследуемых явлений. Применен метод анализа законодательства и практики его применения.

Дискуссия

Начиная исследование, посвященное анализу правового статуса педагогического работника в уголовном судопроизводстве, необходимо прежде всего отметить следующее.

Многие аспекты жизнедеятельности членов нашего общества определены Конституцией Российской Федерации [Конституция Российской Федерации, 1993]. В данном нормативно-правовом акте затронуты многие сферы жизни общества, в том числе даются разъяснения о том, каким образом осуществлять процесс привлечения лица к уголовной ответственности в случае совершения таким лицом преступления. В свою очередь все виды

существующих преступлений закреплены в Уголовном кодексе Российской Федерации [Уголовный кодекс Российской Федерации, 1996], а процедура, согласно которой раскрываются и расследуются уголовные дела по факту совершения данных преступлений, установлена в Уголовно-процессуальном кодексе России (далее по тексту – УПК РФ) [Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации, 2001]. Таким образом, многие нормативно-правовые акты взаимосвязаны, в том числе в вопросах участия педагога в уголовном судопроизводстве.

Подчеркнем, что ключевой задачей, которая ставится перед педагогом, участвующим в уголовном процессе, является оказание профессиональной (в первую очередь, педагогической или психологической) помощи несовершеннолетнему лицу, при этом речь может идти как о несовершеннолетнем подозреваемом (обвиняемом), так и несовершеннолетнем потерпевшем.

Как справедливо указывается в научной литературе, участие педагога (психолога) в следственных и судебных действиях традиционно рассматривается как дополнительная гарантия прав несовершеннолетних свидетелей, потерпевших, подозреваемых, обвиняемых, подсудимых в уголовном процессе, обусловленная необходимостью учета их возрастных особенностей и обеспечения защиты психического здоровья ребенка [Демкина, 2018, с. 6]. При этом изучать историю становления данного института необходимо, поскольку она помогает отметить наиболее значимые изменения в данной области.

По сути, учет возрастных особенностей несовершеннолетних лиц, участвующих в уголовном судопроизводстве, есть не иное, как формирование института ювенальной юстиции. Формирование системы уголовной ювенальной юстиции началось в правовых системах иностранных государств. Ювенальная юстиция – термин международный, означающий специализированную систему правосудия в отношении несовершеннолетних. В настоящее время данный термин все больше упоминается в российском законодательстве. Например, данный термин рассматривает введение специализированных судов по делам несовершеннолетних.

Институт ювенальной юстиции имеет длительную историю своего становления и развития.

Изначально правосудие по отношению к несовершеннолетним было карающим, об этом свидетельствуют несколько историко-правовых источников, согласно которым малолетние правонарушители привлекались к ответственности на равных со взрослыми преступниками. Также изначально в законодательстве не были установлены правила по защите детей и подростков в суде.

Однако с развитием общественных отношений появилась необходимость в учете возрастных особенностей несовершеннолетних лиц, принимающих участие в отправлении правосудия. Так, первые упоминания о ювенальной юстиции появились в законодательных актах Австралии. В 1890 году в Австралии создается первый постоянно действующий суд для

несовершеннолетних. Позднее (в 1894 году) аналогичный суд для несовершеннолетних создается в Канаде. В 1824 году в США в городе Нью-Йорке появляется первый реформаторий для несовершеннолетних, таким образом, законодатель предпринимает попытку отграничить пребывание несовершеннолетних преступников от взрослых правонарушителей в местах лишения свободы. В 1869 году в Бостоне впервые были организованы заседания суда для несовершеннолетних, и в результате разбирательства судьи приняли решения по пробации к несовершеннолетним (воспитательного надзора), впоследствии ставшей одним из самых распространенных и действенных способов обращения с несовершеннолетними правонарушителями.

Подчеркнем, что выделение предварительного расследования в отношении несовершеннолетних связано с их правовой защитой, основным критерием выделения является возраст несовершеннолетнего подозреваемого, обвиняемого. По нашему мнению, категория лиц, не достигших 18 лет, требует повышенной юридической защиты в связи с неспособностью в полной мере пользоваться своими субъективными правами, а также возможностью нести объективные обязанности, присущие совершеннолетним.

Как справедливо отмечается в научной литературе, несовершеннолетние зачастую становятся участниками производства по уголовным делам в том или ином процессуальном статусе [Дворецкая, 2021, с. 419]. Однако в силу возрастных особенностей психофизического и интеллектуального развития они нуждаются в дополнительной защите своих законных интересов и особом педагогическом подходе. Помимо защитника в лице законных представителей ребенка и адвоката в уголовном процессе должен участвовать педагог.

Подчеркнем, что на данный момент среди ученых-юристов ведутся дискуссии о процессуальном статусе педагога. Некоторые придерживаются мнения о том, что педагог – это разновидность специалиста, другие же отождествляют его со статусом самостоятельного участника процесса. В этой связи есть предложение дополнить часть 1 статьи 58 УПК РФ положением о том, что участвующий в уголовном деле педагог является специалистом [Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации, 2001]. Такая позиция может быть основана на том, что педагог, приглашенный для проведения следственных действий, обладает профессиональной квалификацией и специальными познаниями. Согласно другой точке зрения, педагог и специалист – это разные процессуальные фигуры, которые выполняют разные функции и выступают в разных процессуальных формах. Такая позиция подтверждается тем, что в УПК РФ обозначен процессуальный статус специалиста как лица, обладающего специальными знаниями и привлекаемого к участию в процессуальных действиях в том числе для того, чтобы разъяснить сторонам и суду вопросы, входящие в его профессиональную компетенцию [Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации, 2001].

В науке выделяются две формы участия педагога и психолога: процессуальное и непроцессуальное [Смирнова, 2023, с. 529].

В литературе подчеркивается, что к процессуальным формам следует отнести три вида участия:

- 1) участие в следственных действиях;
- 2) допрос педагога и психолога либо в качестве свидетеля, либо в качестве эксперта, если они проводили судебную экспертизу;
- 3) участие педагога в качестве личного поручителя несовершеннолетнего при решении вопроса об избрании меры пресечения [Дворецкая, 2021, с. 419].

Важно, что правовой статус несовершеннолетнего зависит от той роли, которую подросток играет в уголовном процессе. В уголовном судопроизводстве несовершеннолетние могут выступать как на стороне защиты, стороне обвинения, а также выступать в качестве иных участников уголовного судопроизводства.

Уголовно-процессуальное законодательство предъявляет особые требования к предварительному расследованию и судебному рассмотрению в отношении несовершеннолетних подозреваемых, обвиняемых, а также подсудимых, поскольку необходима максимальная защита их прав и интересов.

Данные нормы были установлены уголовно-процессуальным законодательством с целью гуманного отношения к несовершеннолетним подозреваемым, обвиняемым, а также для реализации условий воспитательного характера, направленных на перевоспитание таких лиц.

Таким образом, для максимального изучения личности несовершеннолетнего преступника законодательство расширило необходимый предмет доказывания. Все эти изменения были связаны с особенностью развития уголовно-процессуального законодательства России. В процессе развития норм УПК РФ можно наблюдать отражения требований международных нормативно-правовых актов, которые были ратифицированы Россией.

В литературе подчеркивается, что целесообразность привлечения педагога к следственным действиям с участием несовершеннолетнего обуславливается обеспечением реальной защиты его прав и законных интересов, а также для установления морально-психологических свойств ребенка. Но ч. 2 ст. 425 УПК РФ предполагает обязательное присутствие адвоката в таких ситуациях, прерогативой которого и является контроль за соблюдением законных интересов несовершеннолетнего. В случаях, когда требуется проведение судебно-психологической экспертизы несовершеннолетнего, педагог может привлекаться в качестве специалиста, который обладая специальными знаниями педагогики и психологии, способен помочь следователю в определении предмета экспертного исследования и постановке необходимых вопросов [Дворецкая, 2021, с. 420].

Таким образом, роль педагога в уголовном судопроизводстве заключается в том, чтобы обеспечить получение наиболее полных и достоверных показаний несовершеннолетнего. Для достижения этой цели педагог должен способствовать установлению психологического контакта и

комфортной обстановки во время допроса, следить за корректными формулировками вопросов в зависимости от возраста и психоинтеллектуального развития несовершеннолетнего, определять оптимальную продолжительность допроса в конкретной ситуации, интерпретировать и разъяснить информацию, полученную следователем. Именно таким образом компенсируется недостаток специальных педагогических знаний у лица, проводящего расследование преступления с участием подростка. Однако защита прав несовершеннолетнего и принятие процессуальных решений по уголовному делу не входит в компетенцию педагога [Дворецкая, 2021, с. 420].

Результаты

Очевидно, что на данном этапе развития Россия нуждается в том, чтобы более подробно раскрывать процессуальный статус педагогического работника в уголовном судопроизводстве. Актуальность такого подхода заключается в том, что процесс расследования уголовного дела всегда является сложным, особенно с точки зрения психологии, и в первую очередь он психологически сложен для лиц, не достигших совершеннолетия и вынужденных по тем или иным причинам участвовать в отправлении правосудия. И зачастую несовершеннолетние лица подвергаются обвинению. Обвинение – необходимый элемент, атрибут всякого уголовного судопроизводства, независимо от его типа и формы. Однако его юридический смысл и связанные с ним процессуальные последствия не всюду одинаковы. Данные последствия напрямую зависят от эффективности проведенной деятельности. Несмотря на то, что прошло 15 лет с момента введения в действия нового УПК РФ, до сих пор идет активный процесс нормотворчества.

Подчеркнем, что педагог выступает одним из участников уголовного процесса. Ключевой интерес педагога при отправлении правосудия – оказать профессиональную педагогическую помощь несовершеннолетним лицам, участвующим в расследуемом уголовном деле. При этом, как мы уже говорили, речь может идти не только о несовершеннолетнем обвиняемом, но и об иных участниках уголовного судопроизводства, не достигших возраста совершеннолетия. В частности, пригласить педагога для оказания соответствующей помощи несовершеннолетнему могут представители потерпевшего, гражданского истца и частного обвинителя. При этом полномочие представителя в частности и сам институт представительства в целом можно уверенно назвать оригинальным и феноменальным явлением. Суть данного явления заключается в том, что представитель надеяется правом совершать юридические действия от лица представляемого, однако реализация данного полномочия не влечет никаких правовых последствий для представителя, а оказывает воздействие лишь на правовую сферу представляемого. Представитель в уголовном судопроизводстве обладает определенным правовым статусом, как и иные участники процесса. Не является исключением и правовой статус педагога, который, как мы отмечали, выступает одним из участников уголовного судопроизводства.

Заключение

В настоящее время вопросы правового статуса педагогического работника в уголовном судопроизводстве актуальны, как никогда прежде. Об этом говорят как отечественные, так и зарубежные исследователи [Belonogov, 2020, p. 1085; Pliskova, 2021, p. 103]. Специалисты подчеркивают, что институт образования присутствует практически во всех сферах жизни социума, не является исключением и такая область общественных отношений, как сфера уголовного судопроизводства, складывающаяся в связи с совершением отдельными гражданами преступлений [Сидорова, 2021б, с. 108].

Важно отметить, что в настоящее время, в период развития государства и общества, крайне важно быть не только профессионалом своего дела, но и уметь отстаивать свои права и интересы, важно знать о своих правах и обязанностях. К сожалению, наша жизнь показывает, что далеко не все граждане знают свои права. Многие не знают, как с правовой точки зрения защитить себя и свои интересы. Данный факт свидетельствует о том, что граждане обладают низкой правовой культурой. И проблема заключается в том, что не всё наше население осознает необходимость и крайнюю значимость формирования в обществе правовой культуры. А начинать ее формирование необходимо как можно раньше. И на наш взгляд, правовая культура строится в первую очередь на знании своих прав и обязанностей, в том числе важно знать, что на уровне законодателя предусмотрены случаи, когда разным участникам уголовного процесса профессиональную помочь обязан оказать педагог. В этой связи обращение к тематике о правовом статусе педагога в уголовном процессе обладает не только теоретическим, но и прикладным значением, поскольку дает гражданам представления о роли педагогического работника в сфере уголовного судопроизводства, складывающегося в связи с совершением тем или иным лицом уголовно наказуемого деяния.

Библиографический список

- Босхолов С. С. Понятие системы обеспечения криминологической безопасности образования / С. С. Босхолов, Е. З. Сидорова // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2020. № 3(94). С. 66-73. DOI 10.24411/2312-3184-2020-10056. EDN FDLMSK.
- Дворецкая Е. С. О роли педагога в уголовном процессе // Молодой ученый. 2021. № 4(346). С. 419-420. EDN TAOXUK.
- Демкина М. С. Педагог (психолог) как участник уголовного судопроизводства: досудебный этап: автореферат дис. ... кандидата юридических наук: 12.00.09. – Самара, 2018. – 17 с.
- Конституция Российской Федерации: принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г. // Российская газета. 1993. № 237.
- Об образовании в Российской Федерации: федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2012. № 53 (ч. 1). Ст. 7598.
- Свежинцев Е. И. Проблемные аспекты привлечения педагога и психолога при производстве по уголовным делам с участием несовершеннолетнего // Вестник Волгоградской академии МВД России. 2022. № 4(63). С. 65-72. DOI 10.25724/VAMVD.A056. EDN XVJRSZ.

Сидорова Е. З. Основные проблемы обеспечения безопасности системы образования (на примере Иркутской области) // Вестник Пермского института ФСИН России. 2021а. № 3(42). С. 124-133. DOI 10.34988/2226-2326.2021.42.64.015. EDN VUFCMC.

Сидорова Е. З. Правовые основы государственного и муниципального управления в сфере образования // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2021б. № 3(98). С. 107-112. DOI 10.24412/2312-3184-2021-3-107-112. EDN RYYXAD.

Смирнов М. А. О некоторых вопросах использования специальных познаний психолога (педагога) в ходе досудебного производства по уголовным делам с участием несовершеннолетних // Правда и закон. 2022. № 2(20). С. 74-82. EDN LAFUDO.

Смирнова Д. С. Процессуальные формы участия педагога в уголовном судопроизводстве // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2023. № 6(82). С. 528-533. EDN NXAQDQ.

Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 18 декабря 2001 года № 174-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2001. № 52 (ч. I). Ст. 4921.

Уголовный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 13 июня 1996 года № 63-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1996. № 25. Ст. 2954.

Шувалова М. А. Педагог и психолог как две независимые процессуальные фигуры уголовного судопроизводства // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2019. № 3(83). С. 118-123. DOI 10.35750/2071-8284-2019-3-118-123. EDN EBFYMF.

Belonogov A. L. Political Repressions at Leningrad State University // Vestnik of Saint Petersburg University. History. 2020. Vol. 65, No. 4. P. 1085-1106. DOI 10.21638/11701/spbu02.2020.404. EDN OSNXLR.

Pliskova B. The teacher's wellbeing in teacher-student interactions // Lifelong Education: the XXI century. 2021. № 1(33). С. 103-115. DOI 10.15393/j5.art.2021.6691. EDN HJFFPS.

Safety issues of the Russian educational system / E. Z. Sidorova, V. V. Tarubarov, V. Y. Okruzhko [et al.] // Journal of Advanced Research in Law and Economics. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 187-195. DOI 10.14505/jarle.v11.1(47).22. EDN XQBFBI.

References

- Belonogov A. L. (2020). Political repressions at Leningrad State University. *Bulletin of St. Petersburg University. History.* 65(4): 1085-1106.*
- Boskholov S. S., Sidorova E. Z. (2020). Concept of the system of ensuring criminological security of education. *Bulletin of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia.* 3(94): 66-73. (in Russian)*
- Demkina M. S. (2018). Teacher (psychologist) as a participant in criminal proceedings: pre-trial stage: abstract of the dissertation of the Candidate of Legal sciences: 12.00.09. *Samara.* 17. (in Russian)*
- Dvoretskaya E. S. (2021). On the role of a teacher in criminal proceedings. *Young scientist.* 4(346): 419-420. (in Russian)*
- On education in the Russian Federation (2012). Federal Law. 273-FZ. *Collection of Legislation of the Russian Federation.* 53(1): 7598. (in Russian)*
- Pliskova B. (2021). The teacher's wellbeing in teacher-student interactions // Lifelong Education: the XXI century. 1(33). 103-115. DOI 10.15393/j5.art.2021.6691.*
- Shuvalova M. A. (2019). Teacher and psychologist as two independent procedural figures of criminal proceedings. *Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia.* 3(83): 118-123. (in Russian)*
- Sidorova E. Z. (2021). Legal foundations of state and municipal management in the field of education. *Bulletin of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia.* 3(98): 107-112. (in Russian)*

- Sidorova E. Z. (2021). The main problems of ensuring the safety of the education system (on the example of the Irkutsk region). Bulletin of the Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. 3(42): 124-133. (in Russian)*
- Sidorova E. Z., Tarubarov V. V., Okruzhko V. Y., Vasiliev A. M., Pelevin S. I. (2020). Safety issues of the Russian educational system. Journal of Advanced Research in Law and Economics. 11(1): 187-195.*
- Smirnov M. A. (2022). On some issues of the use of special knowledge of a psychologist (teacher) during pre-trial proceedings in criminal cases involving minors. Pravda and zakon. 2(20): 74-82. (in Russian)*
- Smirnova D. S. (2023). Procedural forms of teacher's participation in criminal proceedings. Skif. Questions of student science. 6(82): 528-533. (in Russian)*
- Svezhintsev E. I. (2022). Problematic aspects of involving a teacher and a psychologist in criminal proceedings involving a minor. Bulletin of the Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 4(63): 65-72. (in Russian)*
- The Constitution of the Russian Federation (1993). Adopted by popular vote. Russian newspaper. 237. (in Russian)*
- The Criminal Code of the Russian Federation (1996). 63-FZ. Collection of Legislation of the Russian Federation. 25: 2954. (in Russian)*
- The Criminal Procedure Code of the Russian Federation (2001). Federal Law. 174-FZ. Collection of Legislation of the Russian Federation. 52(I): 4921. (in Russian)*

Международный информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык»

Заместитель главного редактора по развитию

Н. А. Аксаментова (Иркутск),
И. В. Гладкая (Санкт-Петербург)

Web-администратор:

М. В. Скоробогатова (Иркутск)

Стилистическое редактирование английских текстов:

А. А. Занкова (Уилмингтон)
И. Б. Кривченко (Самара)
Т. Ю. Портнова (Иркутск)
З. И. Трубина (Нижний Тагил)

Литературный редактор

С. Т. Какаулина (Иркутск)

Выпуски электронного журнала регистрируются в ФГУП НТЦ «Информрегистр»

Дата выхода в свет: 18.03.2024

Учредитель журнала – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Издатель журнала – Иркутский филиал ФГБОУ ВО «МГТУ ГА». Официальный сайт:
<http://if-mstuca.ru/>