

[illegible]

транспорт, общество, образование, язык

ВЫПУСК 2
2024

Международный информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык» (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. Скрышник, 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.Большедворская, д.т.н., доцент (Москва), Е.Е.Витвицкий, д.т.н., профессор (Омск), О.А.Горбачев, д.т.н., проф. (Иркутск), А.Г.Гузий, д.т.н., профессор (Москва), 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.Скрышник, д.т.н., профессор, почётный работник ВПО РФ (Минск), Димитър 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: О.А.Александров, д.ф.наук, доцент (Томск), 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.Меркурьева, 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 (Торонто), 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), В.А.Чукшис, д.ф.н., доцент (Орехово-Зуево).

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

Педагогические науки: А.В.Бабаян, д.пед.н., профессор (Пятигорск), 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), Ю.А.Комарова, д.пед.н., профессор, член-корреспондент Российской академии образования (Санкт-Петербург), М.В.Николаева, д.пед.н., профессор (Волгоград), О.Л.Осадчук, д.пед.н., доцент (Омск), 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), М.П.Целых, д.пед.н., профессор (Ростов-на-Дону), А.В.Шумакова, д.пед.н., доцент (Ставрополь).

Философия: Н.С.Коноплев, 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 – Языкознание (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), A.G. Guziy, Doctor of Technical Sciences, professor (Moscow, Russia), 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. Lunev, Candidate of Technical Sciences (Moscow), E.S. Neretin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Moscow), G.I. Nychayev, Doctor of Technical Sciences, professor, academician of Transport Academy of Ukraine (Luhansk), E.E. Nychayev, 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: O.A. Aleksandrov, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Tomsk), 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 (Birska), S.Y. Bogdanova, Doctor of Philology, Full professor (Irkutsk), V.A. Chukshis, Doctor of Philological Sciences, docent (Orehovo-Zuyevo).

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 (Bourgas), G.E. Imambaeva, Doctor of Philological Sciences, professor (Pavlodar), N.N. Kazydub, Doctor of Philology, Professor (Krasnoyarsk), V.M. Khantakova, Doctor of Philological Sciences, professor (Irkutsk), 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'nichuk, 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 (Toronto), V.A. Stepanenko, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Irkutsk), L.A. Stanovaja, Doctor of philological sciences, professor (St. Petersburg), M.P. Tselykh, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Rostov-on-Don), I.A. Verkhoviykh, candidate of Philological Sciences, associate Professor (Moscow), Lanju Wang, Candidate of Philological Sciences, associate professor (Baoding), Ewa Żebrowska, 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: A.V. Babayan, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Pyatigorsk), 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), J.A. Komarova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), M.V. Nikolaeva, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Volgograd), O.L. Osadchuk, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Omsk), 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 Kronshadt'sky 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 № ФЦ 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

Евгений Юрьевич Старков, Николай Иванович Николайкин, Елена Эдуардовна Сигалева, Лилия Юрьевна Марченко, Игорь Николаевич Мерзликин, Наталья Васильевна Дегтеренкова, Галина Павловна Степанова

О необходимости и возможности снижения влияния зашумлённости в целях минимизации травматизма на авиапредприятиях6

Николай Сергеевич Херсонский, Людмила Геннадьевна Большедворская

Прогнозирование выходных параметров качества продукции в зависимости от априорной информации27

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Михаил Арчилович Бобрин

Система управления безопасностью полётов летательных аппаратов с базовой встроенной системой автоматического допускового контроля гидравлической системы и систем мониторинга и прогнозирования отказов36

Олег Александрович Ратенко, Елизавета Васильевна Самойленко, Юрий Владимирович Петров

Исследование влияния действующих нагрузок на микроструктурные изменения в сплаве Inconel 738LC51

Павел Владимирович Павлов, Даниил Игоревич Тюрнев, Никита Владимирович Сухачев

Нейросетевая система лазерной диагностики элементов остекления кабин самолетов61

АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ, ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Нгуен Тхи Линь Фыонг, Евгений Сергеевич Неретин, Нгуен Ныы Ман

Разработка методики идентификации и разрешения конфликтных ситуаций при оперативном планировании четырехмерной траектории полета77

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Вячеслав Владимирович Ерохин, Борис Валентинович Лежанкин, Дмитрий Юрьевич Урбанский

Оценка возможности реализации процесса наблюдения в региональных центрах системы организации воздушного движения Российской Федерации96

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Муслим Амирович Межетов, Алексей Александрович Шалаев, Владислав Павлович Чурбаков

Обнаружение и демодуляция сигналов с коэффициентами модуляции более единицы в задачах радиомониторинга авиационных линий связи119

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Олег Николаевич Скрипник, Екатерина Викторовна Куриленко

Методика синтеза оптимальной по времени траектории полета беспилотного воздушного судна 134

ОБЩЕЕ ЯЗЫКОЗНАНИЕ

Лидия Анатольевна Становая

Разная судьба латинских глагольных конструкций типа «инфинитив + habeo» и «habeo + причастие прошедшее» во французском и других романских языках 150

ПРОБЛЕМЫ ЯЗЫКОВОЙ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ И КАТЕГОРИЗАЦИИ МИРА В ЯЗЫКЕ

Лариса Владимировна Проскурнина

Модусная категория прогнозирования (PREDICTION) и ее интерпретирующий потенциал 165

КОГНИТИВНЫЕ, КОММУНИКАТИВНО-ПРАГМАТИЧЕСКИЕ, СТИЛИСТИЧЕСКИЕ, КОРПУСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯЗЫКА

Клементина Васильевна Метелькова

Лексема «tierfrei» как индикатор динамических процессов в немецкой языковой картине мира 178

ЛИЧНОСТЬ И МЕДИА: ГУМАНИТАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В МЕДИАОБРАЗОВАНИИ

Александр Викторович Федоров, Анастасия Александровна Левицкая

Журнал «Советский экран» в эпоху «перестройки» 189

Галина Викторовна Михалева

Сюжетный анализ образа семьи и семейного воспитания в отечественном игровом кинематографе (1920-2020) в контексте медиаобразования 201

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

Татьяна Сергеевна Суший

Виртуальный музей как социокультурное явление в лингводидактике 212

УДК 331.45:612.85:629.08

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_6

О НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАШУМЛЁННОСТИ В ЦЕЛЯХ МИНИМИЗАЦИИ ТРАВМАТИЗМА НА АВИАПРЕДПРИЯТИЯХ

*Евгений Юрьевич Старков,
orcid.org/0000-0003-0380-2714,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
starkoff89@mail.ru*

*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, 76А
Москва, 123007, Россия
sigaleva@mail.ru*

*Лилия Юрьевна Марченко,
orcid.org/0000-0001-9925-1413,
научный сотрудник
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН,
Хорошевское шоссе, д. 76А
Москва, 123007, Россия
golubajavoda@mail.ru*

*Игорь Николаевич Мерзликин,
orcid.org/0000-0003-1839-4282,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
ioli85@mail.ru*

*Наталья Васильевна Дегтеренкова,
orcid.org/0000-0002-1849-9554,
научный сотрудник
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН,
Хорошевское шоссе, д. 76А
Москва, 123007, Россия
ndeg19@gmail.com*

*Галина Павловна Степанова,
orcid.org/0000-0003-2594-3702,
кандидат медицинских наук
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем РАН,
Хорошевское шоссе, д. 76А
Москва, 123007, Россия
gallog15@mail.ru*

Аннотация. Приведены сводные данные о травматизме в России и на авиапредприятиях ГА за годы текущего столетия. Показано постоянное снижение травматизма. Статистически выявлены значимые актуальные факторы производственной среды, способствующие производственному травматизму, среди которых одним из главных является зашумлённость рабочих мест. Воздействие шума оказывает негативное влияние на слух и функциональное состояние центральной нервной системы, что снижает работоспособность, ведёт к ошибкам, способствует травматизму. Экспериментально подтверждена возможность парирования действия шума путём отoproтекции аргоноокислородной газовой смесью.

Ключевые слова: травматизм, зашумлённость рабочих мест, человеческий фактор, авиапредприятие, отoproтекция, аргон.

ON THE NEED AND POSSIBILITY OF REDUCING THE IMPACT OF NOISE IN ORDER TO MINIMIZE INJURIES AT AIRLINES

*Evgeniy Yu. Starkov,
orcid.org/0000-0003-0380-2714,
Candidate of Sciences in Technology
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
starkoff89@mail.ru*

*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, Professor of the Russian Academy of Sciences
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
sigaleva@mail.ru

Lilia Yu. Marchenko,
orcid.org/0000-0001-9925-1413,
senior researcher
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
golubajavoda@mail.ru

Igor N. Merzlikin,
orcid.org/0000-0003-1839-4282,
Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
ioli85@mail.ru

Natalia V. Degterenkova,
orcid.org/0000-0002-1849-9554,
senior researcher
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
ndeg19@gmail.com

Galina P. Stepanova,
orcid.org/0000-0003-2594-3702,
Candidate of Sciences in Medicine
Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences,
76A, Khoroshevskoe shosse
Moscow, 123007, Russia
gallog15@mail.ru

Abstract. Summary data on injuries in Russia and at civil aviation enterprises over the years of the current century are presented. Continuous reduction in injury rates has been shown. Significant actual factors of the working environment that contribute to occupational injuries have been statistically identified, one of the main ones being noisy workplaces. Exposure to noise has a negative impact on hearing and the functional state of the central nervous system thus reducing performance, leading to errors, and contributing to injuries. The possibility to counter the noise effects by otoprotection with an argon-oxygen gas mixture has been experimentally confirmed.

Keywords: injuries, noisy workplaces, human factor, civil aviation enterprises, otoprotection, argon.

Введение (Introduction)

Воздушный транспорт является одним из основных звеньев, формирующих транспортную инфраструктуру Российской Федерации и обеспечивающих самую быструю доставку как жителей, так и грузов на обширной территории страны. Гражданская авиация (ГА) обеспечивает транспортную доступность отдаленных регионов, имеющих крупные запасы природных ресурсов, выполняет межрегиональные пассажирские перевозки, незаменима в почтовых перевозках и для доставки наиболее срочных и ценных грузов. Одно из преимуществ ГА – ее безопасность по сравнению с иными видами транспорта [Sharov et al., 2021].

Данные о пассажирообороте по видам транспорта общего пользования из статистики Росстата [Пассажирооборот..., б.г.] за первую четверть XXI в. представлены на рисунке 1. По сравнению с 2000 годом пассажирооборот воздушного транспорта в стране увеличился в 4,5 раза (с 54 до 243,3 миллиардов пассажиро-километров), что свидетельствует о положительной динамике данного показателя, ежегодном росте востребованности данного вида перевозок и участии государства в развитии авиационной отрасли.

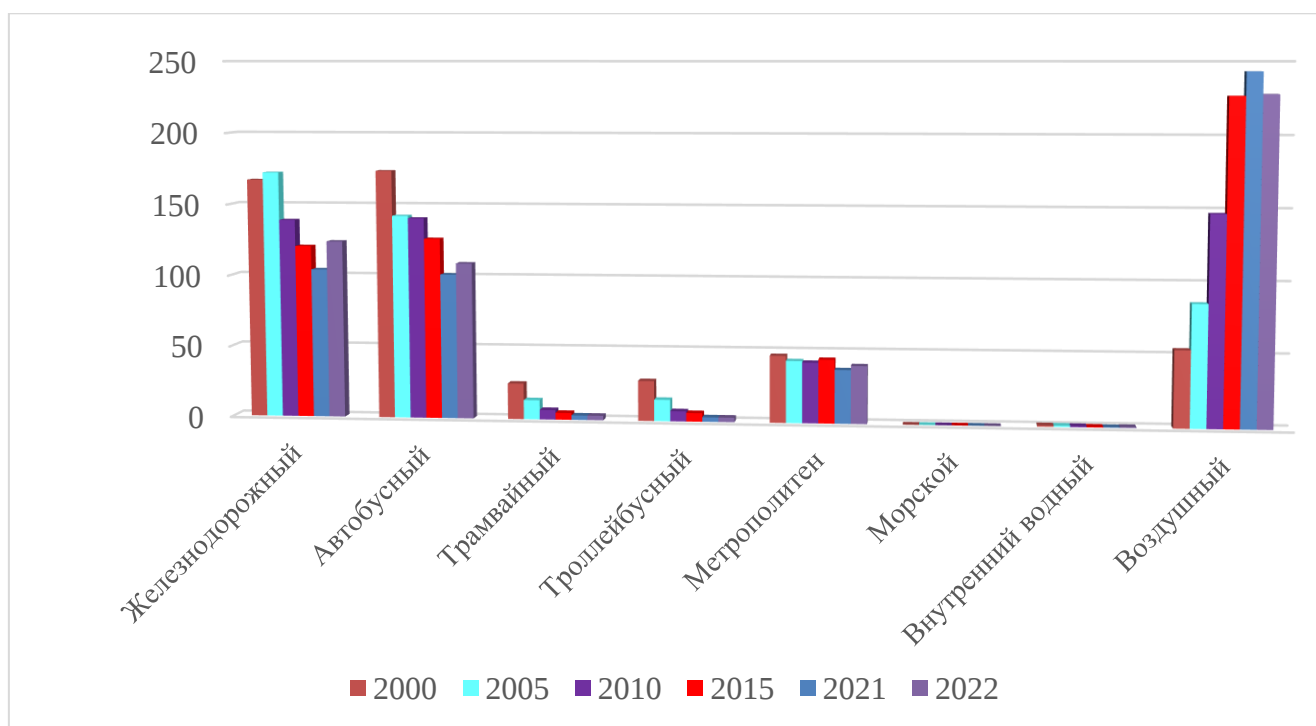


Рисунок 1 – Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования в РФ за последние годы

Участие человека как компонента триединой системы «человек-техника-среда» – непереносимое условие эволюции любой отрасли экономики, её основа. При этом признано, что помимо морально-юридического обязательства общества перед работником (его семьей и близкими) обеспечение безопасности также оправдывает себя экономически [Локтева и др., 2020].

В рамках обоснования целесообразности создания и использования «Системы управления охраной труда» [Вихров, 2024] доказана и широко пропагандируется экономическая целесообразность управления рисками на рабочих местах и профилактика профессиональной заболеваемости, травматизма. В итоге это способствует снижению затрат на медицинские расходы, как схематично показано на рисунке 2.

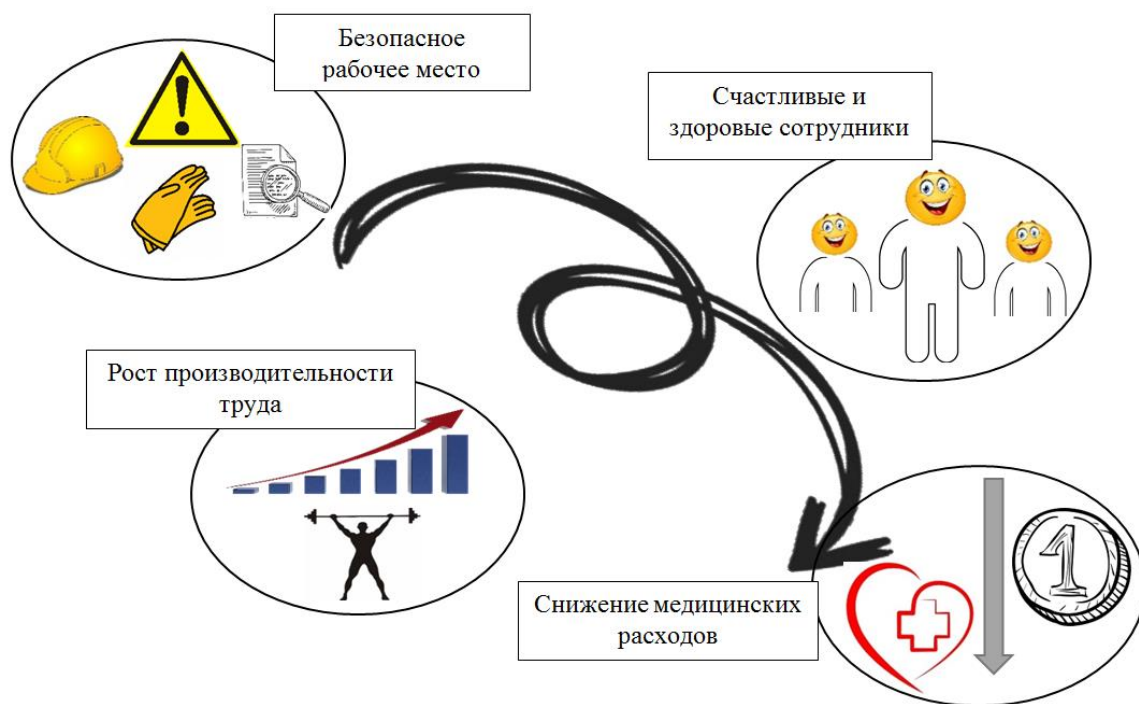


Рисунок 2 – Схема взаимосвязи мероприятий по улучшению условий труда с затратами на повышение качества жизни

Влияние на человека среды (условий труда) в виде её многочисленных конкретных факторов и их сочетаний является безусловным обстоятельством любых трудовых процессов. В авиации, возможно даже более, чем во многих иных отраслях народного хозяйства, уделяется особое внимание обеспечению безопасности всех видов. В частности, с повышенным вниманием анализируются понятие «человеческий фактор» (ЧФ) и его роль в системе управления комплексной безопасностью отрасли, а также зависимость ЧФ, как потенциального источника возможных ошибок оператора, от влияния условий его труда [Николайкин и др., 2013].

Комплекс организационно-технических мероприятий и средств, направляемых на сохранение здоровья, защиту жизни работников и граждан страны, а также на защиту среды обитания от негативного воздействия аспектов производственного процесса, принято определять как систему обеспечения производственной безопасности, которой требуется управлять [Худяков и др., 2017].

Абсолютная безопасность недостижима, к ней можно только стремиться, оценивая, насколько это удалось, сопоставляя меры снижения той или иной

опасности по затратам и приемлемости в конкретных ситуациях. В реальности нашего времени присутствуют как профессиональные заболевания, так и травматизм. Травма является производственной, если связана с влиянием опасного фактора производственной среды. Травматизм наносит ущерб трудовому потенциалу страны.

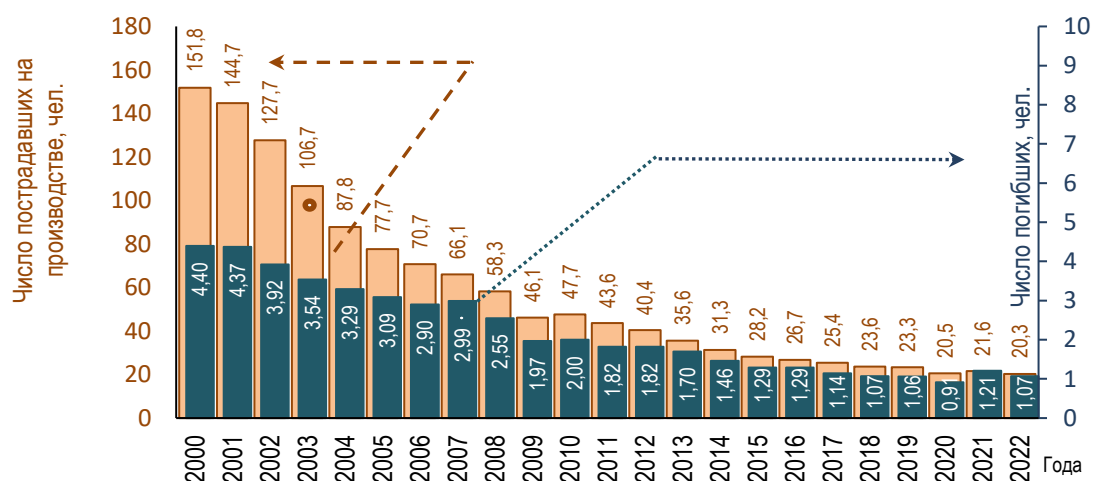
Следовательно, необходимо выявлять актуальные факторы производственной среды, способствующие производственному травматизму, и, в частности, экспериментально подтвердить возможность парирования негативной реакции ЧФ на такой значимый фактор среды пребывания работника, как зашумлённость рабочего места. Такова цель данного научного исследования.

Дискуссия (Discussion)

Производственный травматизм в современной России

Проблема травмирования работников в процессе трудовой деятельности была и остается актуальной с середины XIX века и до наших дней [Лукьянчикова и др., 2018]. Международная организация труда (МОТ) регулярно информирует о громадных ежегодных потерях вследствие травмирования работающих [Локтева и др., 2020]. Это признанная социально-экономическая проблема. В возрасте до 37 лет травматизм – главная причина смерти работников [Контарева и др., 2023]. Поражаются трудоспособные молодые люди, а, как подчеркивается в работе [Старостина и др., 2021], в мире, в современных условиях, численность летально травмированных, по данным ВОЗ, на третьем месте после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Травматизм – ведущая причина смертности и заболеваемости работающих [Cemalovic et al., 2016].

В Российской Федерации ведётся ежегодный мониторинг условий и охраны труда по всем отраслям экономики. Сводные данные о травматизме за годы текущего столетия [Результаты мониторинга..., 2020; Результаты мониторинга..., 2021; Условия труда..., б.г.] обобщены на рисунке 3, которые подтверждают постоянное снижение основных показателей. Однако, данные мониторинга свидетельствуют о том, что травматизм пока не стал исключительным явлением. Последние 5 лет в нашей стране ежегодно травмируются более 20 тыс. человек, а погибают более тысячи.



Рисунок

3 – Динамика снижения общей численности травмированных и численности травмированных смертельно в организациях всех отраслей экономики России, по годам

К числу первопричин продолжающегося процесса травмирования, работающих во всех отраслях экономики, как нашей страны, так и в иных странах, относится состояние условий труда, которые далее определяют психофизиологические причины производственного травматизма, такие как «человеческий фактор», «проявленная неосторожность» и прочие.

Значительная часть рабочих мест на предприятиях и в организациях нашей страны в целом не отвечает требованиям нормативно-правовой документации, преимущественно характеризуется зашумлённостью и загазованностью. Данные мониторинга условий труда в России [Результаты мониторинга..., 2020; Результаты мониторинга..., 2021; Условия труда..., б.г.] свидетельствуют о постепенном (за последнюю четверть века) снижении числа работников, занятых в опасных и/или вредных условиях труда, при этом последние 5 лет 19,1 – 19,5% (см. рисунок 4) всё ещё работают в условиях повышенного шума.

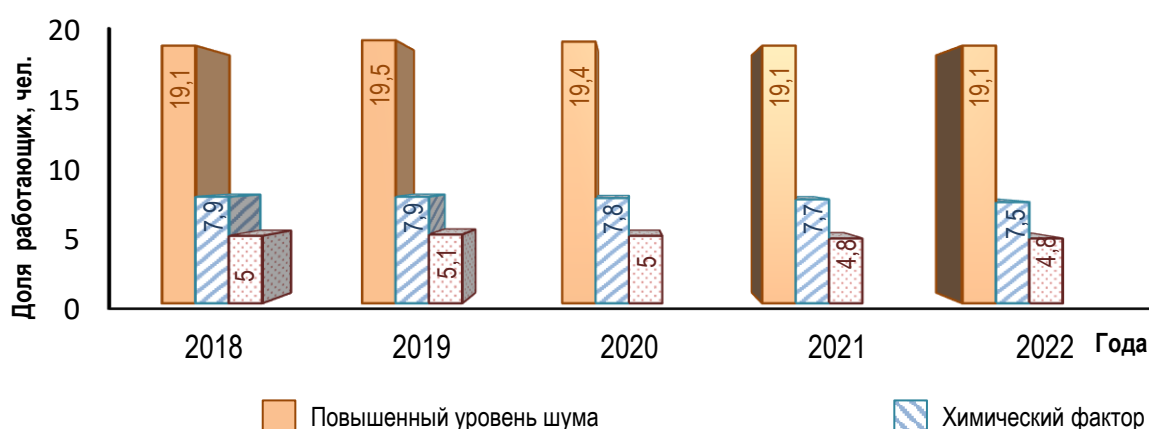


Рисунок 4 – Доля работающих во вредных и (или) опасных условиях труда, относительно общего количества занятых в РФ в 2018–2022 гг., в %

Статистические данные мониторинга условий труда свидетельствуют об аналогичной ситуации в отдельных отраслях народного хозяйства страны. Даже если зашумлённость является не самым распространенным фактором, она относится к числу основных причин, создающих вредные и опасные условия труда, которые инициируют профзаболевания, как, например, в сельском хозяйстве [Контарева и др., 2023] и на основных технологических операциях нефтедобычи [Вадулина и др., 2020], что иллюстрируется рисунками 5 и 6.

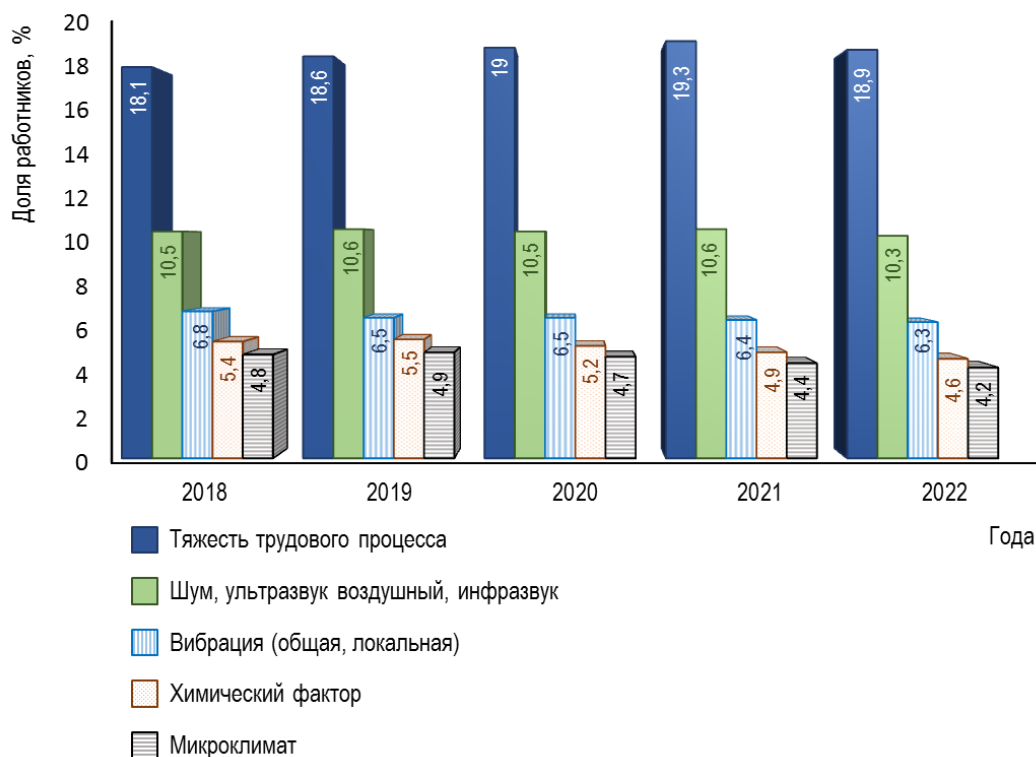


Рисунок 5 – Доля работающих во вредных и (или) опасных условиях труда, относительно общего количества занятых в сельском хозяйстве РФ в 2018–2022 гг., в %

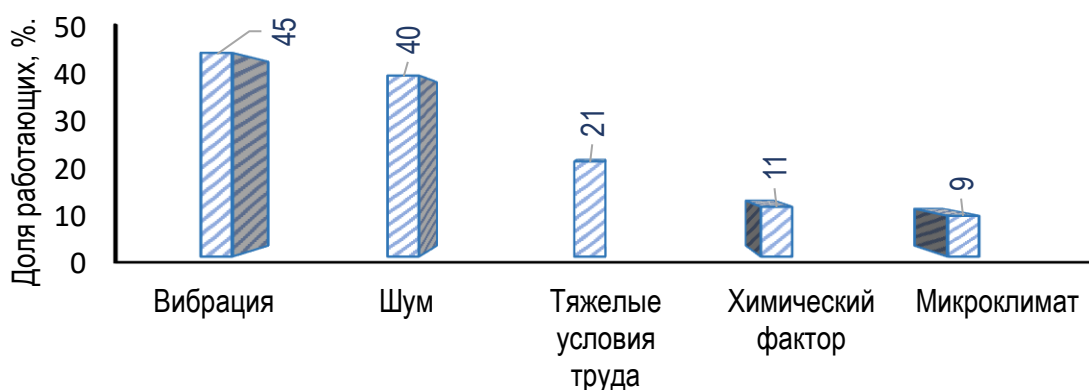


Рисунок 6 – Доля работающих во вредных и (или) опасных условиях труда, относительно общего количества занятых в основных процессах нефтедобычи в РФ, в %

Производственный травматизм в ГА

В организациях гражданской авиации, в рамках отраслевых исследовательских инициатив, десятилетиями собираются и тщательно изучаются статистические данные о травмах и условиях труда [Гамзаев, 2022]. Ежегодно (ранее также ежеквартально) издаваемый итоговый документ включает информацию о производственном травматизме, условиях труда и выполнении основных работ по охране труда в организациях гражданской авиации. Данные отраслевого мониторинга, не включающего статистику пострадавших в авиационных происшествиях (АП), приведенные на рисунке 7, показывают, что в период с 1995 по 2022 год на предприятиях гражданской авиации произошло почти трехкратное снижение числа несчастных случаев, а также на порядок сократилась смертность вследствие полученных травм.

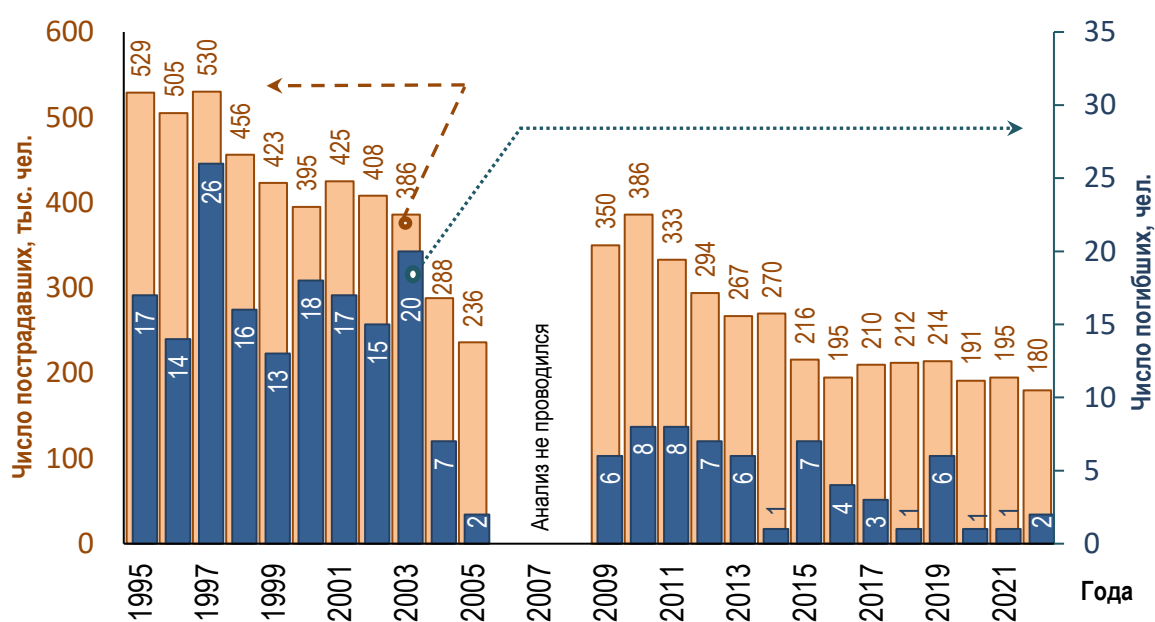


Рисунок 7 — Динамика снижения общей численности травмированных и численности травмированных смертельно на авиапредприятиях транспортной отрасли России (без числа пострадавших в АП), по годам

В частности, в работе [Гамзаев, 2022] показано, что травмы определяют наибольшую долю проблем со здоровьем у бортпроводников авиакомпаний (см. рисунок 8).

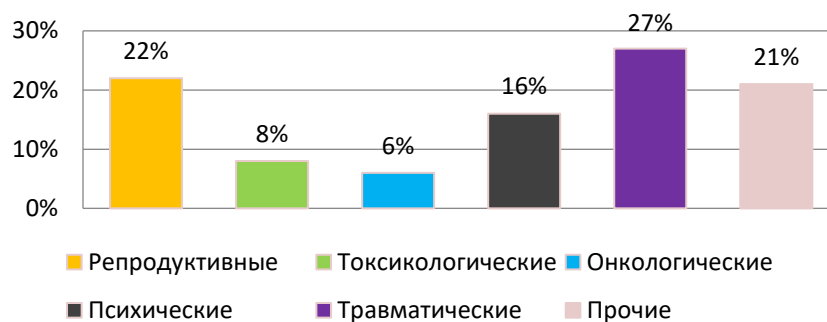


Рисунок 8 – Соотношение заболеваний и проблем со здоровьем у авиаперсонала

Принято причины травматизма [Результаты..., 2020] разделять на кластеры: организационные, технические и психофизиологические причины (рисунок 9). На авиапредприятиях преобладают причины, связанные с нарушением физиологических характеристик человека и его поведением.

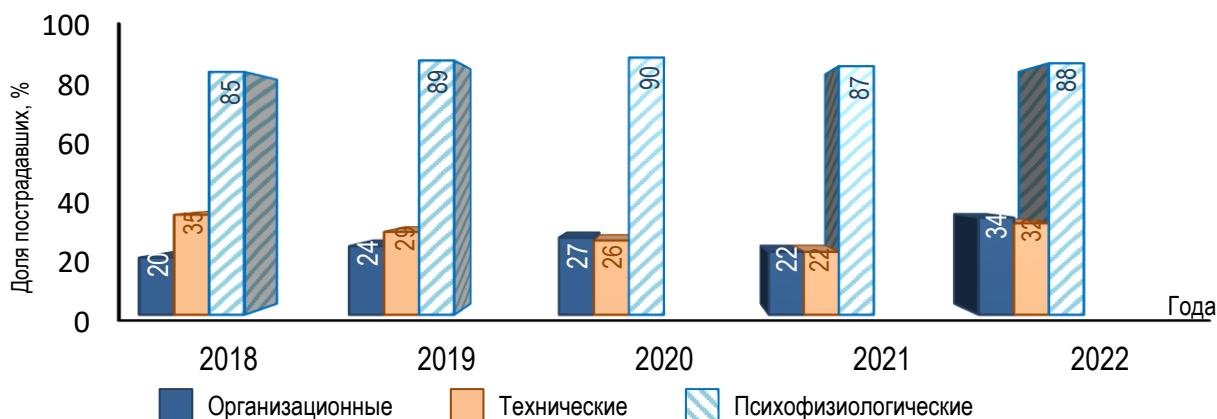


Рисунок 9 – Соотношение долей числа пострадавших по разным причинам травматизма

При проведении мониторинга и ежегодной подготовке «Анализа состояния производственного травматизма...» [План НИОКР ФАВТ..., 2020], в отрасли ведется учет работников авиапредприятий, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам. Информация, представленная на рисунке 10, свидетельствует о том, что на авиапредприятиях за последние полтора десятилетия доля рабочих мест с условиями труда, характеризующимися сверхнормативным уровнем ультразвука и инфразвука, постоянно уменьшается, хотя не очень значительно.

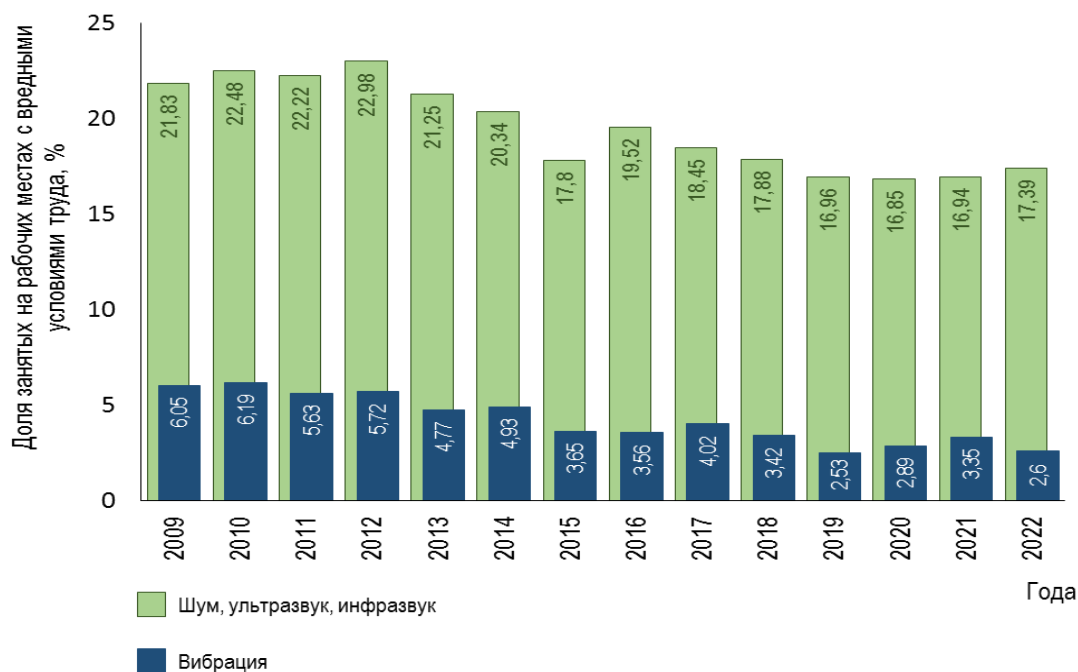


Рисунок 10 – Динамика изменения доли занятых на работах с вредными условиями (в зашумленных условиях труда) на авиапредприятиях транспортной отрасли России, по годам

За последние полтора десятка лет рассчитано, что относительно общего числа работающих доля пострадавших при реализации производственных опасностей на предприятиях и в организациях воздушного транспорта в России снизилась. В целом по стране снижение произошло в 1,5 раза, а на воздушном транспорте – 2-кратно.

Зашумлённость производственной среды и травматизм

Повышенный уровень разнообразных звуков на рабочих местах является распространенной проблемой в гражданской авиации. Источниками являются авиационные и прочие двигатели, вспомогательные силовые установки, специализированный транспорт аэродромного обслуживания и многое иное [Мельников, 2010]. Набор звуков, слышимый организмом человека и оказывающий на него нежелательное воздействие, называется шумом.

На уровне звукового давления в среднем 80-100 дБ у человека возникают болевые ощущения, этот уровень называется «порогом слухового дискомфорта» [Человек..., 2012], при его превышении начинается ухудшение слуха.

Негативное влияние шума на организм человека характеризуется как специфическими симптомами поражения слухового анализатора, вызывающими профессиональную тугоухость, так и неспецифическими симптомами, обусловленными шумовым воздействием на центральную нервную систему и снижением качества операторской деятельности. При воздействии шума на орган слуха, центральную нервную систему и

внутренние органы происходит снижение общей сопротивляемости организма, что приводит к пагубным последствиям для здоровья человека.

Поражению органов слуха предшествуют изменения в функционировании ЦНС и сердечно-сосудистой системы.

По требованиям современного ГОСТ 22283-2014¹ на территории жилой застройки около аэропортов максимальный уровень звука при единичном воздействии в дневное время (с 7.00 до 23.00 ч) не должен превышать 75 дБ А и 65 дБ А – в остальное время. Эквивалентный уровень звука днем – 55 дБ А, ночью – 45 дБ А.

Уровень шума на рабочих местах производственных участков в ГА колеблется от 75 до 115 дБА.

На протяжении многих лет проблема шума и его влияния на физиологию, поведение человека и ошибки работников в таких условиях решалась с помощью различных стратегий, включая систему управления промышленными опасностями. Были достигнуты значительные успехи в снижении авиационного шума, но воздействие шума на людей, включая текущие травмы, остается весьма значительным [Мельников, 2010]. Возвращение сверхзвуковых самолетов [Путин предложил..., 2018; Overture..., б.г.] в гражданскую авиацию приведет к повышению уровня шума во время полета, наземных операций и на площадках взлета и посадки [Шапкин и др., 2022]. Естественно, что количество шумных рабочих мест будет расти при проведении авиакомпаниями наземного технического обслуживания самолетов. Невыполнение производственных заданий оказывает влияние на отдельные показатели и уровень безопасности в отечественной гражданской авиации.

Исходя из вышеназванных проблем, все чаще предпринимаются усилия по разработке эффективных мер по борьбе с шумом, которые могут обеспечить защиту персонала, работающего в чувствительных к шуму средах, особенно тех, кто выполняет критически важные задачи.

По данным, изложенным в «Федеральных клинических рекомендациях по диагностике, лечению и профилактике потери слуха, вызванной шумом», для профилактики и лечения профессиональной тугоухости спектр эффективных способов ограничен, и в настоящее время необходимо вести разработку новых эффективных методов отопротекции от шума [Федеральные..., 2016].

Данные многочисленных экспериментальных исследований показали нейропротекторную эффективность применения аргона, обладающего антиоксидантным, противовоспалительным и антиапоптотическим действием [Nair, 2019]. Опубликован ряд работ, подтверждающих органопротекторный эффект preconditionирования искусственными газовыми смесями, содержащими аргон [Argon attenuates..., 2018; Argon inhibits..., 2021; Roehl et al., 2020].

¹ ГОСТ 22283-2014 Межгосударственный стандарт. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения (введен в действие Приказом Росстандарта от 09.07.2014 N 821-ст).

Материалы и методы (Materials and methods)

Исследование велось путем изучения, анализа и обобщения статистических данных об условиях труда в отраслях экономики страны собранных:

- Федеральной службой государственной статистики РФ (Росстатом);
- Министерством труда и социальной защиты РФ (Минтрудом) в Единой общероссийской справочно-информационной системе по охране труда (ЕИСОТ) РФ;
- Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиацией) в ежегодных отчетах об отраслевых НИР по анализу состояния производственного травматизма, условий труда на авиапредприятиях ГА.

Также привлекались традиционные научные источники: книги, монографии, журнальные статьи, диссертационные исследования и т.п. Были выполнены собственные расчёты.

В рамках поиска и исследования методов снижения производственного травматизма, обусловленного влиянием зашумлённости рабочих мест, в отделе «Клинических исследований и экспертизы» Государственного научного центра РФ «Институт медико-биологических проблем РАН» проведено исследование характера изменения у человека функционального состояния слуховой системы при шумовом воздействии. Изучены характеристики задержанной вызванной отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ) и тональной пороговой аудиометрии. Изучено изменение функционального состояния слуховой системы после дыхания газовой смесью [Перспектива использования..., 2023]. Проведено 3 серии исследований:

- «Фон» – фоновое исследование состояния слуховой системы испытуемого;
- «Шум» – исследование состояния слуховой системы после 2-часового воздействия белого шума² интенсивностью 85 дБ;
- «КАрГС» – исследование функционального состояния слуховой системы после 30-минутного дыхания искусственной кислородно-аргоновой газовой смесью ($\text{Ar} - 80\%$, $\text{O}_2 - 20\%$)³ с последующим 2-часовым пребыванием испытуемого в условиях воздействия широкополосного белого шума интенсивностью 85 дБ.

Для выявления последствий экспозиции шума указанных характеристик на оперативную память добровольцев было проведено тестирование по методике А.Р. Лурия «10 слов» [Лурия, 1962].

Объективная оценка тонуса вегетативной нервной системы (ее симпатического и парасимпатического отделов) испытуемых проводилась измерением показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР), которые отражали изменения в психоэмоциональном состоянии человека и свидетельствовали о развитии стресса. Измерения и физиологическая

² Выбор белого шума обусловлен тем, что включает весь диапазон воспринимаемых человеком частот с одинаковой амплитудой и спектральной плотностью.

³ По литературным данным, применение кислородно-аргоновой дыхательной смеси не сопряжено с риском возникновения аллергических реакций, поэтому их возникновение исключено.

интерпретация результатов BCP (heart rate variability, HRV) производилась в соответствии с современными Стандартами Американской ассоциации изучения сердца и Европейского общества кардиологов⁴.

Результаты (Results)

Результаты представлены в виде диаграмм (рисунки 11 и 12) с межауральными значениями, которые представляют собой медианные значения, полученные при проведении исследования на добровольцах⁵.

Получено, что показатель «сигнал/шум» (дБ) в цикле испытаний «Шум» уменьшается даже до отрицательных величин, как показано на рисунке 11.

Эффективность применения аргоно-кислородной смеси (КАрГС) в виде предварительных ингаляций подтверждается тем, что в ходе экспериментальной проверки соотношения «сигнал/шум» ЗВОАЭ для всех испытуемых нормализовались и превзошли аналогичные показатели, полученные в цикле испытаний «Шум». Выявлено, что звуки октавной полосы частот со среднегеометрическим значением 4 кГц способствуют экстремальным изменениям слуха.

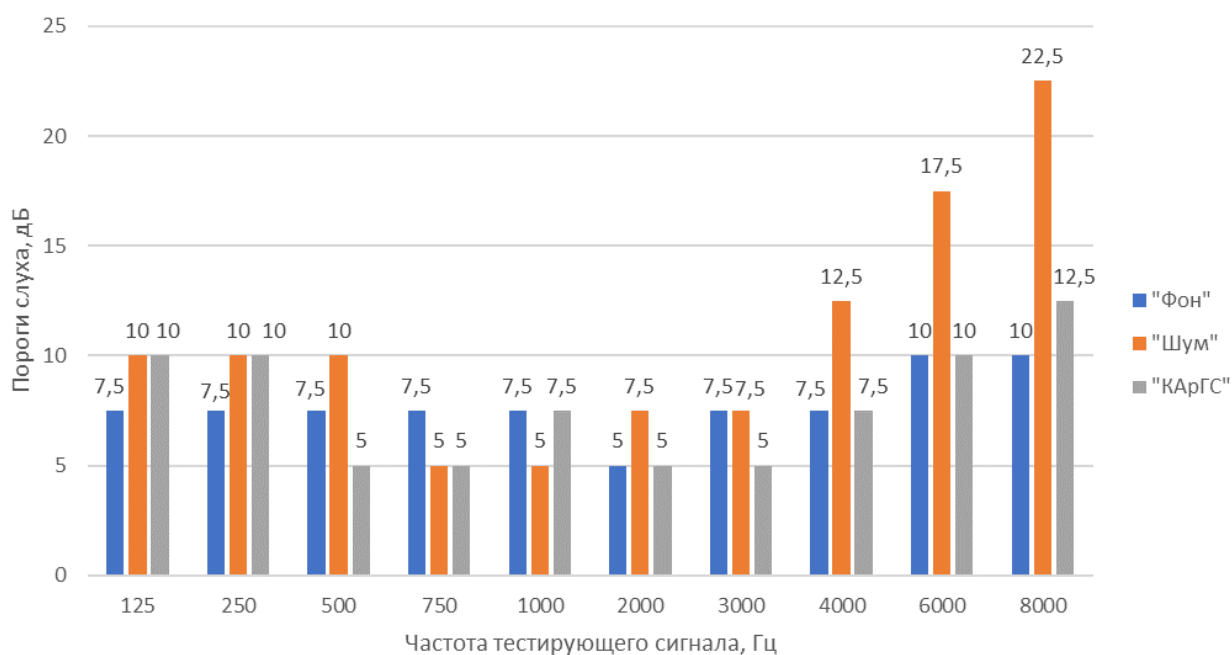


Рисунок 11 – Тональные пороги слуха по октавным полосам частот (межауральные значения, дБ)

⁴ Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology // [Электронный ресурс]. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8598068/> (дата обращения: 06.09.2023). PMID: 8598068.

⁵ В эксперименте участвовало 10 здоровых испытуемых-добровольцев мужского пола.

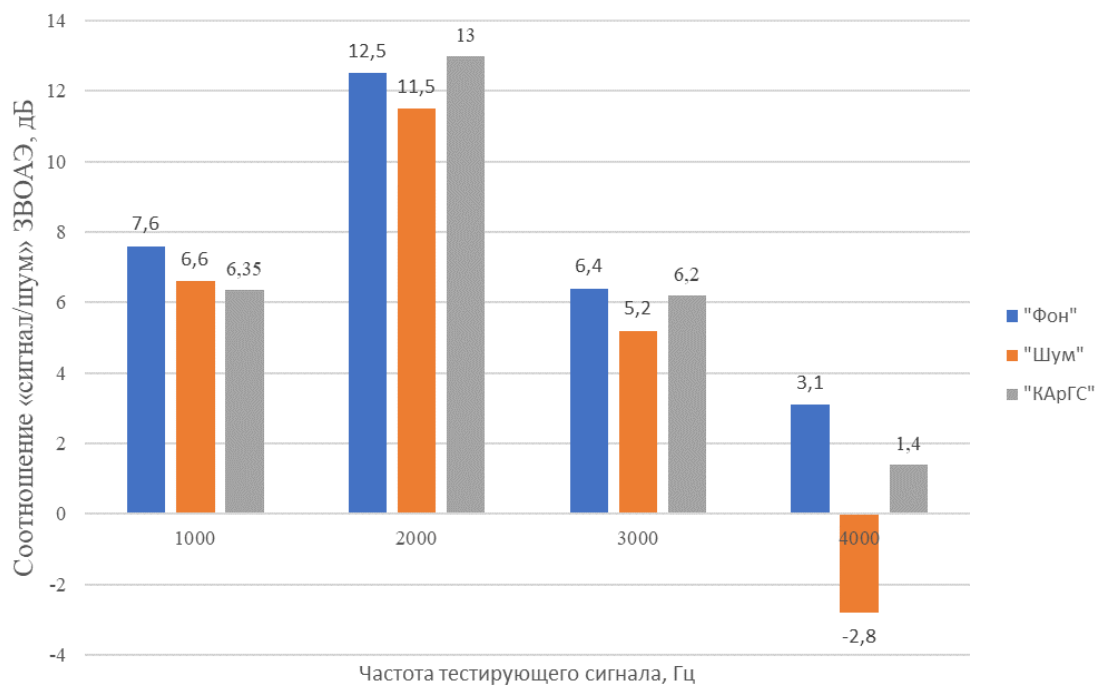


Рисунок 12 – Соотношение «сигнал/шум» ЗВОАЭ по октавным полосам частот (межауральные значения, дБ)

Результаты тестирования состояния рабочей памяти испытуемых в условиях до и после длительного воздействия шума по методике А.Р. Лурия [Лурия, 1962] приведены на рисунке 13.

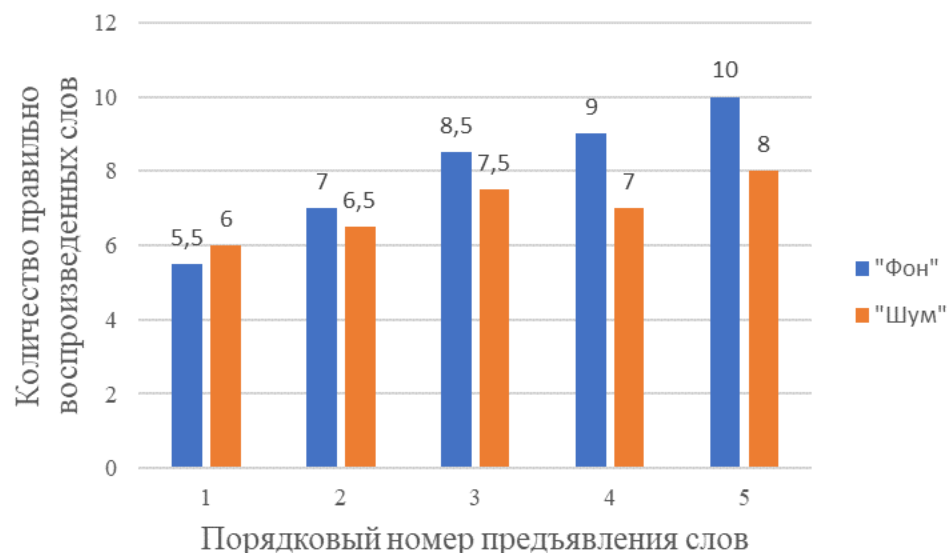


Рисунок 13 – Результат испытаний качества запоминания слов при длительной зашумлённости относительно фоновых условий

В условиях зашумлённости установлено снижение количества правильно воспроизведенных слов, что подтверждает негативное влияние

шума как стресс-фактора на внимание, переработку информации и утомляемость.

Воздействие шума на человека приводит к состоянию повышенного напряжения, далее к стрессу, который способствует развитию защитно-приспособительных реакций организма с задействованием симпатoadреналовой системы. Объективными индикаторами тонуса вегетативной нервной системы (ее симпатического и парасимпатического отделов), отражающими любые напряжения, изменения в психоэмоциональном состоянии человека или развитие стресса, являются показатели variability ритма сердца. Изменение числа сердечных сокращений (ЧСС) в 1 минуту при обычном воздействии шума и при отопротекции (предварительными ингаляциями КАрГС) иллюстрируется результатами экспериментов, представленными на рисунке 14.

Деятельность работников авиапредприятий в классической системе человек-техника-среда [Сомова и др., 2022] связана с систематическим воздействием на них негативных факторов производственной среды. Одним из наиболее агрессивных внешних факторов является производственный шум, источники которого постоянно окружают человека в процессе трудовой деятельности. Шум при проведении авиационных работ по техническому обслуживанию и ремонту ВС, шум в пассажирском салоне, шум компьютеров в офисах административного персонала сказывается на выполнении работы.

Выявленное влияние шума на физиологические особенности человека оказывает воздействие на его психологию и поведение. Любое, в том числе и короткое, воздействие шума (звука) на слуховую систему может обусловить негативную реакцию человека.

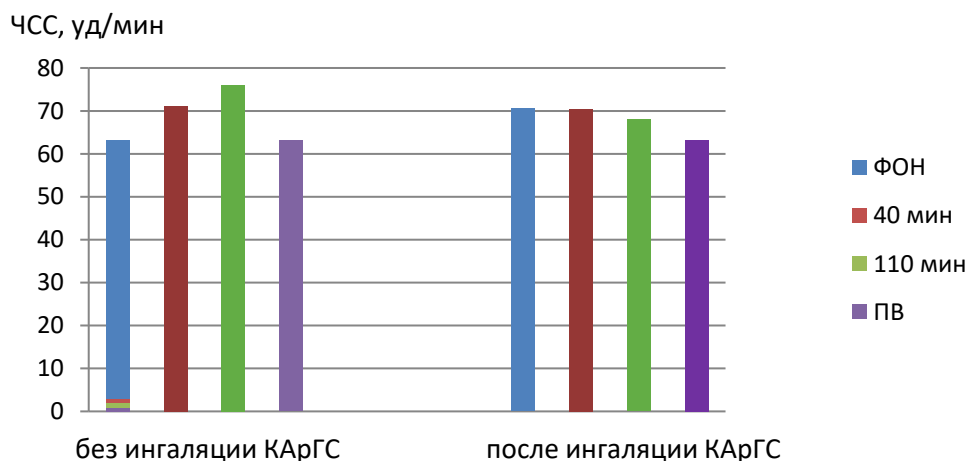


Рисунок 14 – Влияние отопротекции ингаляциями КАрГС на частоту сердечных сокращений испытуемых после воздействия шума: в фоновом режиме (ФОН); с экспозицией 40-минут (40 мин); с экспозицией 110-минут (110 мин); через 5 ... 10 мин после воздействия (ПВ)

Достоверно показано, что зашумлённость среды пребывания человека-оператора ведёт (как подробнее показано в работе [«Неслуховые» эффекты...,

2023]) к торможению когнитивных процессов распознавания и анализа информации, уменьшению объёма оперативной памяти, понижению внимания. Экспериментальные данные, полученные ГНЦ РФ – ИМБП РАН, свидетельствуют, что у человека, находящегося под влиянием шума, показатели вегетативной нервной системы изменяются в сторону нарастания напряжения (стресса).

Поэтому применение метода ингаляционного использования смеси кислорода и аргона, путем прекондиционирования в целях отопротекции [«Неслуховые» эффекты..., 2023] на избыточно зашумленных рабочих местах в ГА, является перспективным, исследование целесообразно продолжить.

Способ шумовой отопротекции защищен патентами Российской Федерации (RU 2 376 041; RU 2 390 358 C1; RU 2 779 973).

Заключение (Conclusion)

За последние несколько десятилетий статистика производственного травматизма свидетельствует о последовательном снижении его показателей. Темпы их спада на авиапредприятиях гражданской авиации примерно в 1,5 раза выше общероссийских. Тем не менее, необходимо продолжать принимать меры по снижению травматизма.

По данным статистики выявлено, что фактором производственной среды, способствующим травматизму в ГА (без учета случаев АП), в значительном числе случаев является шум, оказывающий влияние на ЧФ в виде негативных физиологических, а также психологических изменений в организме работника и благоприятствующий его ошибочным действиям. Важно, минимизируя количественные показатели факторов, ведущих к ошибочным действиям человека, с одной стороны, с другой – продолжать разрабатывать новые подходы к снижению травматизма, новые средства коллективной и индивидуальной защиты работающих.

По результатам испытаний, проведенных ГНЦ РФ – ИМБП РАН, установлено и доказано, что продолжительное воздействие шума оказывает негативное влияние не только непосредственно на слуховую систему, но и на функциональное состояние центральной нервной системы. Это способствует нарушению слуха и, как следствие, приводит к возникновению ошибок, снижению работоспособности и ухудшению качества операторской деятельности при выполнении сложных задач на авиапредприятиях.

Влияние на орган слуха выражается в травматическом воздействии на все отделы слухового анализатора, что может привести к развитию тугоухости.

Экспериментально показана возможность снижения негативной реакции человека на зашумлённость среды на рабочем месте. После отопротекции методом ингаляции кислородно-аргоновой газовой смесью (КАрГС), предшествующей периоду воздействия шума на работника, наблюдается тенденция к уменьшению пагубного влияния шума.

Для снижения негативных последствий шума – несчастных случаев и сбоев в поведении (ошибочных действий) работников, так называемого

«человеческого фактора», прежде всего, на шумных производственных участках авиапредприятий, целесообразно использовать нижеперечисленные меры парирования.

1. Организация медицинских кабинетов и оснащение масками с кислородно-аргоновой газовой смесью (под контролем специализированного персонала).

2. Организация системы контроля и учёта состояния здоровья авиационного персонала, выполняющего работу в условиях повышенного шума перед началом рабочей смены. Особое внимание уделить категориям работников, находящихся под воздействием негативных факторов продолжительное время.

3. Проведение медицинских осмотров перед выполнением работ у наиболее уязвимого персонала, находящегося в зоне воздействия повышенного шума.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по базовой тематике РАН FMFR-2024-0039.

Библиографический список

- Вадулина Н. В.* Профессиональная заболеваемость в России: проблемы и решения / Н. В. Вадулина, М. А. Галлямов, С. М. Девятова // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 3. С. 7-15. DOI 10.23947/2541-9129-2020-3-7-15. EDN RHGUIM.
- Вихров С. В.* Система управления охраной труда: эффективные процессы и процедуры // Материалы вебинара КИОУТ 29 марта 2024 г. // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://youtube.com/watch?v=CcLN883bWus> (дата обращения: 29.03.2024).
- Гамзиев В. Р.* Особенности охраны труда и безопасности бортпроводников авиакомпаний «Победа», «Россия» и «S7 Airlines» // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 2(58). С. 169-175. DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0030. EDN RHACBI.
- Контарева В. Ю.* Анализ производственного травматизма в сельскохозяйственной отрасли / В. Ю. Контарева, С. Н. Белик // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 4(64). С. 250-258. EDN DUGIRB.
- Локтева О. С.* Нулевой травматизм и возможность его достижения в транспортной отрасли / О. С. Локтева, А. А. Локтев // Наука и техника транспорта. 2020. № 2. С. 87-93. EDN ANDXBD.
- Лукьянчикова Т. Л.* Компаративистский анализ производственного травматизма: Россия и мир / Т. Л. Лукьянчикова, Т. Н. Ямщикова, Н. В. Клецова // Экономика труда. 2018. Том 5. № 3. С. 647-662. DOI 10.18334/et.5.3.39334. EDN YMQPWN.
- Лурия А. Р.* Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных повреждениях мозга. М.: Изд-во МГУ, 1962. 375 с.
- Мельников Б. Н.* Перспективы создания малозумных самолетов гражданской авиации / Б. Н. Мельников, Ю. А. Большунов, Н. И. Николайкин // Безопасность в техносфере. 2010. № 2. С. 32-37. EDN MBFSNZ.
- «Неслуховые» эффекты воздействия шума на организм человека / Е. Э. Сигалева, О. Б. Пасекова, Н. В. Дегтеренкова [и др.] // Физиология человека. 2023. Т. 49, № 6. С. 76-83. DOI 10.31857/S0131164622600677. EDN XBKQPU.
- Николайкин Н. И.* Методология оценки влияния условий труда персонала авиапредприятий на риски в авиатранспортных процессах / Н. И. Николайкин, Ю. Г. Худяков // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 197. С. 115-119. EDN RSMULB.

Пассажирооборот: пассажирооборот по видам транспорта общего пользования / Росстат – Транспорт // [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport#> (дата обращения: 06.09.2023).

Перспектива использования метода дыхания нормоксической кислородно-аргоновой газовой смесью в целях шумовой отопротекции / Е. Э. Сигалева, Л. Ю. Марченко, О. Б. Пасекова [и др.] // *Авиационная, экологическая и космическая медицина*. 2023. Т. 57, №2. С. 65-73. DOI 10.21687/0233-528X-2023-57-2-65-73. EDN FNIRSM.

План НИОКР ФАВТ на 2020 г. и на плановый период 2021 и 2022 гг. / Приказ Росавиации от 22.12.2020 № 1584-П // [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosaviatsii-ot-22.12.2020-N-1584-P/> (дата обращения: 06.09.2023).

Путин предложил создать гражданскую версию Ту-160 // Деловой авиационный портал АТО.ru: Новости // [Электронный ресурс]. 2018. – URL: <http://www.ato.ru/content/putin-predlozhit-sozdat-grazhdanskuyu-versiyu-tu-160> (дата обращения: 15.01.2024).

Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2020 году / Минтруд России // [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-okhrany-truda> (дата обращения: 06.09.2023).

Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2021 году / Минтруд России // [Электронный ресурс]. 2021. – URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/attachments/article/47/monitoring-2021.pdf> (дата обращения: 06.09.2023).

Сомова Ю. В. Исследование человеческого фактора в системе человек - техническая система - производственная система с целью повышения безопасности труда / Ю. В. Сомова, А. С. Лимарев, А. А. Ларина // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. Т. 11, № 4(60). С. 165-171. DOI 10.46548/21vek-2022-1160-0026. EDN TDWSOQ.

Старостина Н. Н. Изучение причин несчастных случаев и возможности применения мотивации для повышения безопасности труда / Н. Н. Старостина, Т. В. Свиридова // *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2021. Т. 10. №1(53). С. 203-208. DOI 10.46548/21vek-2021-1053-0038. EDN CMVTFX.

Условия труда, производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности): производственный травматизм // [Электронный ресурс]. – URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения: 06.09.2023).

Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике потери слуха, вызванной шумом / Е. Е. Аденинская, И. В. Бухтияров, А. Ю. Бушманов [и др.] // *Медицина труда и промышленная экология*. 2016. №3. С. 37-48. EDN VRNUGH.

Худяков Ю. Г. Управление опасностями производственной среды // Ю. Г. Худяков, Н. И. Николайкин, В. Э. Андрусов. М.: Проспект, 2017. 128 с. EDN YSGWEF.

Человек и авиационный шум / С. К. Солдатов, В. Н. Зинкин, А. В. Богомолов, Ю. А. Кукушкин // *Безопасность жизнедеятельности*. 2012. № S9. С. 1-24. EDN OUOZIR.

Шапкин В. Современные факторы создания сверхзвукового гражданского самолета нового поколения / В. Шапкин, А. Пухов // *Авиасоюз*. 2022. № 3/4 (90). С. 4-9.

Argon attenuates multiorgan failure following experimental aortic cross-clamping / G. Savary, F. Lidouren, J. Rambaud [et al.] // *British Journal of Clinical Pharmacology*. 2018. № 84(6). P. 1170–1179. DOI 10.1111/bcp.13535

Argon inhibits reactive oxygen species oxidative stress via the miR-21-mediated PDCD4/PTEN pathway to prevent myocardial ischemia/reperfusion injury / H. Qi, J. Zhang, Y. Shang [et al.] // *Bioengineered*. 2021. № 12(1). P. 5529–5539. DOI 10.1080/21655979.2021.1965696.

Cemalovic N. Analysis of the causes of occupational injuries and application of preventive measures / N. Cemalovic, S. Rosic, N. Toromanovic // *Materia Socio Medica*. 2016. № 28(1). pp. 51-52. DOI 10.5455/msm.2016.28.51-52.

Nair S. G. Argon: the future organ protectant? // *Annals of Cardiac Anaesthesia*. 2019. № 22(2) pp. 111-112. DOI 10.4103/aca.ACA_180_18.

Overture: The World's Fastest Airliner // Boom - Supersonic Passenger Airlines // [Электронный ресурс]. – URL: <https://boomsupersonic.com> (дата обращения: 15.01.2024).

Roehl A. Update of the organoprotective properties of xenon and argon: from bench to bedside / A. Roehl, R. Rossaint, M. Coburn // *Intensive Care Medicine Experimental*. 2020. № 8. pp. 11. DOI 10.1186/s40635-020-0294-6.

Sharov V. D. Concept of risk and safety: analysis of aviation safety regulations / V. D. Sharov, V. V. Vorobyov, D. A. Zatuchny // *Probabilistic-Statistical Methods for Risk Assessment in Civil Aviation*. 2021. C. 1-33. DOI 10.1007/978-981-16-0092-0_1.

References

- Adeninskaya E. E., Bukhtiyarov I. V., Bushmanov A. Y. [et al.] (2016). Federal clinical guidelines for the diagnosis, treatment and prevention of hearing loss caused by noise. *Occupational medicine and industrial Ecology*. 3: 37-48. (in Russian)
- Cemalovic N., Rosic S., Toromanovic N. (2016). Analysis of the causes of occupational injuries and application of preventive measures. *Materia Socio Medica*. 28(1): 51-52. DOI 10.5455/msm.2016.28.51-52.
- Gamzaev V. R. (2022). Features of occupational safety and health of flight attendants of Pobeda, Rossiya and S7 Airlines *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2(58): 169-175. (in Russian)
- Khudyakov Yu. G., Nikolaikin N. I., Andrusov V. E. (2017). Managing the hazards of the industrial environment. Moscow: *Prospekt*, 2017. 128 p. (in Russian)
- Kontareva V. Y., Belik S. N. (2023). Analysis of industrial injuries in the agricultural sector *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 4(64): 250-258. (in Russian)
- Lokteva O. S., Loktev A. A. (2020). Zero injury and the possibility of achieving it in the transport industry *Science and technology of transport*. (2): 87-93. (in Russian)
- Lukyanchikova, T. L., Yamshchikova T. N., Kletsova N. V. (2018). Comparative analysis of occupational injuries: Russia and the world *Labor economics*. 5(3): 647-662. (in Russian)
- Luria A. R. (1962). Higher human cortical functions and their disorders in local brain damage. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 375 p. (in Russian)
- Melnikov B. N., Bolshunov Yu. A., Nikolaikin N. I. (2020). Prospects for the creation of low-noise civil aviation aircraft. *Safety in the technosphere*. 2: 32-37. (in Russian)
- Nair S. G. (2019). Argon: the future organ protectant? *Annals of Cardiac Anaesthesia*. 22(2):111-112.
- Nikolaikin N. I., Khudyakov Yu. G. (2013). Methodology for assessing the impact of working conditions of airline personnel on risks in air transport processes. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. (197): 115-119. (in Russian)
- Overture: The World's Fastest Airliner. Boom - Supersonic Passenger Airlines Available at: <https://boomsupersonic.com> (accessed 15 January 2024).
- Passenger turnover: passenger turnover by types of public transport. Rosstat – Transport. Available at: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (accessed 6 September 2023). (in Russian)
- Putin proposed to create a civilian version of the Tu-160. (2018) Business Aviation Portal ATO.ru: News. Available at: <http://www.ato.ru/content/putin-predlozhil-sozdat-grazhdanskuyu-versiyu-tu-160> (accessed 15 January 2024).
- Qi H., Zhang J., Shang Y. [et al.] (2021). Argon inhibits reactive oxygen species oxidative stress via the miR-21-mediated PDCD4/PTEN pathway to prevent myocardial ischemia/reperfusion injury. *Bioengineered*. 12(1): 5529–5539.
- Roehl A., Rossaint R., Coburn M. (2020). Update of the organoprotective properties of xenon and argon: from bench to bedside. *Intensive Care Medicine Experimental*. (8): 11.
- Savary G., Lidouren F., Rambaud J. [et al.] (2018). Argon attenuates multiorgan failure following experimental aortic cross-clamping. *British Journal of Clinical Pharmacology*. 84(6): 1170–1179.
- Shapkin V., Pukhov A. (2022). Modern factors in the creation of a supersonic civil aircraft of a new generation. *Aviasoyuz*. 3/4(90): 4-9. (in Russian)

Sharov V. D., Vorobyov V. V., Zatushny D. A. (2021) Concept of risk and safety: analysis of aviation safety regulations. *Probabilistic-Statistical Methods for Risk Assessment in Civil Aviation*: 1-33.

Sigaleva E. E., Marchenko L. Yu., Pasekova O. B. [et al.] (2023). The prospect of using the method of breathing with a normoxic oxygen-argon gas mixture for the purpose of noise otoprotection. *Aviation, environmental and space medicine*. 57(2): 65-73.

Sigaleva E. E., Pasekova O. B., Degterenkova N. V. [et al.]. (2023). "Non-auditory" effects of noise on the human body. *Human Physiology*. 49(6):76-83. (in Russian)

Soldatov S. K., Zinkin V. N., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu. A. (2012). Man and aviation noise. *Life safety*. (S9): 1-24. (in Russian)

Somova Yu. V., Limarev A. S., Larina A. A. (2022). Research of the human factor in the human - technical system - production system in order to improve labor safety. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 11-4(60): 165-171. (in Russian)

Starostina N. N., Sviridova T. V. (2021). Study of the causes of accidents and the possibility of using motivation to improve occupational safety. *XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus*. 10-1(53): 203-208.

The FAVT R&D plan for 2020 and for the planning period 2021 and 2022. Order of the Federal Air Transport Agency dated 12/22/2020 No. 1584-P (2020) Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosaviatsii-ot-22.12.2020-N-1584-P/> (accessed 6 September 2023). (in Russian)

The results of monitoring labor conditions and safety in the Russian Federation in 2020. Ministry of Labor of the Russian Federation (2020). Available at: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-usloviy-okhrany-truda> (accessed 6 September 2023).

The results of monitoring labor conditions and safety in the Russian Federation in 2021. Ministry of Labor of the Russian Federation (2021). Available at: <https://eisot.rosmintrud.ru/attachments/article/47/monitoring-2021.pdf> (accessed 6 September 2023).

Vadulina N. V., Gallyamov M. A., Devyatova S. M. (2020). Occupational morbidity in Russia: problems and solutions. *Safety of technogenic and natural systems*. (3): 7-15. (in Russian)

Vikhrov S. V. (2024). Occupational safety management system: effective processes and procedures *Materials of the KIOUT webinar on March 29, 2024*. Available at: <https://youtube.com/watch?v=CcLH883bWus> (accessed 29 March 2024) (in Russian)

Working conditions, industrial injuries (for certain types of economic activity): industrial injuries Available at: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (accessed 6 September 2023).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

*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 Большедворская,
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@mstuca.aero*

Аннотация. Эта работа является продолжением двух этапов научного исследования, где разработан и изложен универсальный алгоритм системы применения статистических методов для управления несоответствующей продукцией.

Полученные результаты и их анализ позволили расширить круг исследований и разработать рекомендации по повышению эффективности процесса планирования и прогнозирования технико-экономических показателей предприятия в зависимости от априорной информации о влиянии внешних и внутренних факторов.

Ключевые слова: априорная информация, статистические методы, несоответствующая продукция.

PRODUCT QUALITY OUTPUT PREDICTION BASED ON A PRIORI INFORMATION

*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 BP&ZhD
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
l.bolshedvorskaya@mstuca.aero*

Abstract. This work is a continuation of two stages of scientific research, where a universal algorithm for a system of applying statistical methods to manage non-conforming products has been developed and outlined.

The results obtained and their analysis made it possible to expand the range of studies and develop recommendations for improving the efficiency of the planning and forecasting of the technical and economic indicators of the enterprise, depending on a priori information on the influence of external and internal factors.

Keywords: a priori information, statistical methods, non-conforming products.

Введение

На фоне изменения научно-технического прогресса и активного внедрения в производство новых материалов и технологий производств, специалисты, принимающие решения о соответствии качества продукции требованиям нормативной документации, сталкиваются со сложными задачами, одной из которых является задача прогнозирования выходных параметров качества готовой продукции на определенный период времени.

В связи с этим прогнозирование выходных параметров качества продукции в зависимости от априорной (накопленной во времени) информации имеет большое значение, поскольку может являться основой для разработки текущего, оперативного и стратегического планирования выпуска продукции высокого качества и необходимого объема.

Предложенная математическая модель и использование актуализированной априорной информации позволяет обеспечить прогнозирование выходных параметров качества деталей и готовой продукции на определенный период времени (неделю, месяц, полгода и т.д.).

Материалы и методы

Для предприятия планирование деятельности (текущее, тактическое и стратегическое) на основе прогноза технико-экономических показателей имеет существенное значение. Достоверность и объективность прогноза зависят от априорной информации, формируемой под воздействием изменений внешних и внутренних факторов среды предприятия.

К внешним факторам относятся политическая и геополитическая обстановка, изменения в мировой экономике, изменения в технологической и социальной сферах развития.

Внутренние факторы формируются внутри предприятия и зависят, в основном, от результатов работы предприятия в целом.

В настоящее время способы сбора, формирования базы статистической информации по каждому из факторов и управление полученными данными проводятся предприятиями на основании отдельных показателей и критериев [Вентцель, 1962; Вентцель и др., 2000; Закс, 1976; Кендалл М., 1973; DAMA-DMBOK..., 2020].

Способы использования априорной информации нашли широкое распространение в различных научных исследованиях, обеспечивая повышение достоверности диагностирования и прогнозирования работы сложных систем и объектов в условиях неопределенности [Львович и др.,

2003]. На основании одного из способов, выбор оптимального варианта решения предлагается осуществлять посредством преобразования оптимизационных задач с использованием замены переменных [Дорожко, 2012; Колобов и др., 2019]. Это обусловлено особенностью применимости оптимизационных задач и сложностью описания функционирования отдельных объектов при помощи аналитических моделей.

Такие проблемы могут возникать на этапах проектирования, создавая объективные предпосылки для получения интегрированной априорной информации, полученной при проектных оценках, и результатов обработки экспериментальных данных с целью повышения достоверности планирования и диагностирования надежности объектов, изделий, продуктов авиационной, судостроительной, машиностроительной и других отраслей промышленности [Кишман-Ливанова, 2017; Пестунов и др., 2007; Стрельников, 2003].

Наиболее распространенными методами для построения и анализа моделей технологического процесса создания продукции являются методы линейного программирования и корреляционно-регрессионного анализа, связывающие значения выходного параметра y с управляющими параметрами (входными параметрами) $x_1, x_2, \dots, x_n$. Однако, такие модели очень сложны, особенно для большого числа управляющих переменных.

Кроме этого, большинство технологических процессов изготовления различной продукции организованы так, что на управляющие переменные (удельное давление прессования, масса навески, температура, различные усилия обжима, крутящие моменты и др.) наложены ограничения, т.е. они могут изменяться в пределах своих допусков по нормативной документации на продукцию или при их отсутствии – технологических допусков, указанных в технологическом процессе.

Рассмотрим применение метода прогнозирования выходного параметра качества продукции в зависимости от двух управляющих переменных процесса изготовления продукции, на которые не наложены ограничения, и изменение которых определяется «белым шумом» процесса на выходе, на примере технологического процесса прессования цилиндрической детали.

Для процесса прессования детали в качестве выходного параметра принята высота детали H , а ее входами (управляющими переменными) обозначены: удельное давление прессования P и масса навески – M . Для разработки конкретного вида модели процесса прессования детали был спланирован эксперимент таким образом, что удельное давление и масса навески варьировались на трех уровнях. Для получения «белого шума» управляющие переменные изменялись в соответствии с планом случайного эксперимента, причем для каждой комбинации входов на трех уровнях изменения управляющих переменных (0, 1, -1) отпрессовано по десять деталей.

Модель процесса прессования детали, построенная по результатам экспериментов, имеет следующий вид:

$$H_t = 0,5H_{t-1} + 0,5H_{t-2} + 0,05[M_t - 0,5M_{t-1} + 0,5M_{t-2}] - 0,22[P_t - 0,5P_{t-1} + 0,5P_{t-2}] + \alpha_t, \quad (1)$$

где: H_t – значение высоты детали в момент времени t ;

H_{t-1} – значение высоты детали в предыдущие времена $t-1$;

H_{t-2} – значение высоты детали в предыдущие времена $t-2$;

P_t, P_{t-1}, P_{t-2} – значение удельного давления прессования в моменты времени $t, t-1, t-2$;

M_t, M_{t-1}, M_{t-2} – значение массы навески детали в моменты времени $t, t-1, t-2$;

α_t – «белый шум» с дисперсией $\sigma_\alpha^2 = 0,01$.

Для построения оптимальной модели регулирования высоты детали в зависимости от изменений управляющих переменных P и M произведем замену:

$$H_t - \hat{H}_t = \varepsilon_t; \quad M_t - \hat{M}_t = U_t; \quad P_t - \hat{P}_t = V_t,$$

где $\hat{H}, \hat{M}, \hat{P}$ – номинальные значения этих параметров в нормативной документации на деталь.

ε_t, U_t, V_t – значения отклонений параметров H, M, P в момент времени t .

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки изменения высоты детали для различных комбинаций управляющих переменных

№№ п/п	Значения выходного параметра процесса прессования – высоты детали для различных комбинаций управляющих переменных (P, M) на трех уровнях (0,+1,-1)									
	0 / 0	-1 / 1	-1 / 1	1 / -1	1 / 1	-1 / -1	1 / -1	-1 / 1	1 / 1	0 / 0
1	92,0	92,3	91,8	92,3	91,9	92,3	91,9	92,4	91,9	92,0
2	92,0	92,4	91,8	92,2	92,0	92,2	91,7	92,3	92,0	92,1
3	92,0	92,4	91,8	92,2	91,8	92,2	91,8	92,4	91,8	92,1
4	92,0	92,4	91,8	92,2	92,0	92,1	91,7	92,3	91,8	92,0
5	92,0	92,2	91,9	92,1	91,8	92,2	91,7	92,4	91,8	92,0
6	92,1	92,4	91,8	92,3	92,0	92,2	91,7	92,4	92,0	92,0
7	92,0	92,3	91,8	92,2	91,9	92,4	91,7	92,5	92,0	92,1
8	92,1	92,5	91,8	92,1	92,0	92,2	91,8	92,4	91,8	92,0
9	92,1	92,4	91,7	92,2	91,9	92,2	91,9	92,4	91,8	92,0
10	92,1	92,4	91,8	92,2	91,9	92,2	91,7	92,2	91,9	92,2

После подстановки ε_t, U_t, V_t в уравнение (1) получим следующее уравнение модели:

$$\varepsilon_t = 0,5\varepsilon_{t-1} + 0,5\varepsilon_{t-2} + 0,05(U_t - 0,5U_{t-1} - 0,5U_{t-2}) - 0,22(V_t - 0,5V_{t-1} - 0,5V_{t-2}) + \alpha_t. \quad (2)$$

Произведя замену переменной t на $t+1$ в уравнении (2), получим:

$$\varepsilon_{t+1} = 0,5\varepsilon_t + 0,5\varepsilon_{t-1} + 0,05(U_{t+1} - 0,5U_t - 0,5U_{t-1}) - 0,22(V_{t+1} - 0,5V_t - 0,5V_{t-1}) + \alpha_{t+1}. \quad (3)$$

В уравнении (3) неизвестно значение α_{t+1} . Если положить, что:

$$0,5(\varepsilon_t + \varepsilon_{t-1}) + 0,05(U_{t-1} - 0,5U_t - 0,5U_{t-1}) - 0,22(V_{t-1} - 0,5V_t - 0,5V_{t-1}) = 0. \quad (4)$$

Тогда получим:

$$\varepsilon_{t+1} = \alpha_{t+1}. \quad (5)$$

Отсюда следует вывод, что отклонение выходного параметра процесса прессования от номинала (высоты детали от ее номинального значения по нормативной документации) равно значению «белого шума».

Заменим уравнение (4) в виде:

$$U_{t+1} - 4,4U_{t+1} = 0,5(U_t - U_{t-1}) - 2,2(V_t - V_{t-1}) - 10(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}). \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой прямую в пространстве управления (U, V) , поэтому любая точка, лежащая на этой прямой, будет оптимальной стратегией управления технологическим процессом прессования деталей.

Если в процессе управления масса навески не меняется ($U_t = 0$), то оптимальное управление будет задаваться следующим уравнением:

$$V_{t+1} = 0,5(V_t - V_{t-1}) + 2,27(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}). \quad (7)$$

Если в процессе управления не изменяется удельное давление прессования ($V_t = 0$), то оптимальное управление будет осуществляться по уравнению:

$$U_{t+1} = 0,5(U_t - U_{t-1}) - 10(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}). \quad (8)$$

Итак, управление выходным параметром процесса (высотой детали) может осуществляться в зависимости от изменения управляющих переменных, какими являются масса навески и удельное давление прессования.

Таким образом, прогнозирование высоты детали в момент времени $(t+1)$ может осуществляться за счет информации о состоянии процесса и управляющих переменных в момент времени t и $t-1$.

Аналогичный подход может быть использован для разработки моделей оптимального регулирования для технологических процессов изготовления любой продукции.

Разумеется, что нужно предварительно определить выходные параметры продукции (выходы процесса) и управляющие переменные (входы процесса).

Немаловажное значение имеет и точность прогнозирования выходных параметров деталей, которую можно представить в виде конуса. У основания конуса точность довольно велика, но с увеличением времени прогнозирования точность уменьшается.

Результаты

Практическая применимость предложенного универсального метода, одним из этапов которого является механизм прогнозирования выходных параметров продукции с учетом сформированной априорной информации, позволяет по-новому взглянуть на процесс планирования деятельности предприятия.

Полученные выводы позволили дополнить ранее разработанную систему статистических методов контроля, регулирования и прогнозирования выходных параметров качества продукции, которая включает категорирование выходных параметров продукции, разработку статистической модели производства и анализа продукции, а также статистическое регулирование, статистический приемочный контроль и прогноз выходных параметров в зависимости от технологических процессов их изготовления [Херсонский и др., 2022а; Херсонский и др., 2022б].

Бесспорным достоинством такого подхода является возможность инициировать и оперативно реализовывать корректирующие действия, обеспечивая совершенствование и практическую применимость планов статистического регулирования и приемочного контроля [Херсонский, 2018].

Дискуссия

Особенностью дополненной и усовершенствованной системы является то, что она практически охватывает весь жизненный цикл продукции и может быть связана в единую систему обеспечения качества на предприятии всех видов продукции.

На первом этапе она формирует показатели качества продукции, которыми являются выходные параметры продукции, затем с помощью категорирования этих показателей определяет их влияние на безопасность и работоспособность продукции в целом или другой продукции, куда она входит как составная часть этой продукции. На основании этого разрабатываются таблицы классификации всех параметров и четко устанавливаются гарантии по качеству, предъявляемые к данной продукции в виде уровней качества.

Вторым этапом является этап поддержания и обеспечения качества продукции, который неразрывно связан со статистическим анализом производства и определения готовности производственного процесса обеспечить серийный выпуск продукции с заданными уровнями качества. Этот этап один из важных этапов в жизненном цикле продукции.

Следующий этап – это обеспечение качества продукции за счет регулирования ее выходных характеристик методами статистического регулирования (применения планов статистического регулирования в зависимости от заложенных уровней качества) путем поддержания значений

параметров в заданных условиях посредством применения методологии 6-сигм [Рамперсад и др., 2009; Хэрри и др., 2003].

Автоматизация предлагаемого подхода и применение современных IT-технологий позволит организовать получение обратной связи, способствующей реализации оперативных корректирующих действий. Одной из современных технологий является активное внедрение цифровизации, позволяющей практически клонировать двойников продукции или импортозамещающих изделий. В настоящее время под влиянием интенсивного развития возможностей математического и имитационного моделирования на практике реализуются технологии цифровых двойников не только на экспериментальном уровне. Госкорпорация «Росатом», АО «Вертолеты России», АО «ОДК-Климов», ПАО «ОДК-Сатурн» и другие представители российской промышленности активно используют технологии создания цифровых двойников на промышленном уровне, снижая, тем самым, влияние санкционных ограничений на эффективность своей деятельности.

Заключение

Результаты научного исследования, целью которого являлась разработка метода прогнозирования выходных параметров качества продукции в зависимости от априорной информации, в основном достигнуты.

Разработка, проектирование и выпуск новых объектов, изделий и продукции высокого качества и необходимого объема зависят от неопределенности, малой изученности воздействия факторов внешнего и внутреннего характера. В связи с этим процесс формирования априорной информации о качестве выпускаемой продукции является одной из актуальных задач для повышения эффективности процесса планирования и прогнозирования технико-экономических показателей предприятия.

Предложенная математическая модель и использование актуализированной априорной информации позволяют обеспечить прогнозирование выходных параметров качества деталей и готовой продукции на определенный период времени (неделю, месяц, полгода и т.д.).

Практическая применимость представленного в работе метода прогнозирования выходных параметров качества продукции в зависимости от априорной информации позволит организовать изготовление различной продукции посредством регулирования и контролирования технологических процессов.

Полученные результаты и их анализ позволили расширить круг исследования и разработать рекомендации по повышению эффективности процесса прогнозирования и планирования технико-экономических показателей в зависимости от априорной информации с учетом двух важных аспектов:

- проведение статистического прогноза выходных параметров продукции в зависимости от входных параметров технологического процесса;
- проведение статистического прогноза технико-экономических показателей предприятия в зависимости от внешних факторов.

Библиографический список

- Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Главное издательство физико-математической литературы, 1962. 564 с.
- Вентцель Е. С. Теория вероятностей и её инженерные приложения. 2-е изд. / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
- Дорожко И. В. Методика синтеза оптимальных стратегий диагностирования автоматизированных систем управления сложными техническими объектами с использованием априорной информации // Труды СПИИРАН. 2012. № 1 (20). С. 165-185. EDN PSSYBP.
- Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
- Кендалл М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стьюарт. М.: Наука, 1973. 466 с.
- Кишман-Ливанова Т. Н. Невероятностный подход к решению обратных задач с неопределенной априорной информацией // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. Москва, 23–27 января 2017 года. М.: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, 2017. С. 169-173. EDN YIFYRB.
- Колобов А. Ю. Определение надёжности средств выведения с использованием априорной информации / А. Ю. Колобов, Д. С. Блинов, Е. А. Дикун // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2019. № 4(46). С. 52-55. DOI 10.26162/LS.2019.46.4.008. EDN OCOLXO.
- Львович Я. Е. Организация стратегий поиска оптимальных вариантов сложных систем с использованием априорной и текущей информации / Я. Е. Львович, М. А. Артемов, С. Ю. Белецкая // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика, Математика. 2003. №1 С. 152-156. EDN OBGFBH.
- Пестунов И. А. Классификация больших массивов данных в условиях малой априорной информации / И. А. Пестунов, Д. И. Добротворский, Ю. Н. Синявский // Вычислительные технологии. 2007. Т.12. № S4. С. 50-58. EDN MWDZHP.
- Рамперсад Х. TPS_LEAN SIX SIGMA. Новый подход к созданию высокоэффективной компании / пер. с англ. ООО «Переводим»; Под. науч. ред. В.Л. Шпера / Х. Рамперсад, А. Эль-Хомси. М.: РИА «Стандарты и качество». 2009. 416 с.
- Стрельников В. П. Прогнозирование надежности электронных систем при отсутствии отказов с использованием дополнительной априорной информации // Математические машины и системы. 2003. № 3-4. С. 226-232. EDN RXQLQB.
- Херсонский Н. С. Алгоритм применимости статистических методов контроля и регулирования выходных параметров продукции / Н. С. Херсонский, Л. Г. Большедворская // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022а. № 4. С. 6-16. DOI 10.51955/2312-1327_2022_4_6. EDN OWTNSW.
- Херсонский Н. С. Управление процессом оценки несоответствующей продукции на основе применения статистических методов / Н. С. Херсонский, Л. Г. Большедворская // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022б. № 3. С. 33-47. DOI 10.51955/2312-1327_2022_3_33. EDN MOJSCO.
- Херсонский Н. С. Категорирование параметров по их влияния на безопасность и работоспособность изделий // Компетентность. 2018. № 7(158). С. 9-19. EDN XZUBZB.
- Хэрри М. 6 SIGMA. Концепция идеального менеджмента / М. Хэрри, Р. Шредер. М.: Из-во ЭКСМО. 2003. 454 с.
- DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными. Второе издание / Dama International [пер. с англ. Г. Агафонова]. М.: Олимп–Бизнес, 2020. 828 с.

References

- DAMA-DMBOK: A body of knowledge on data management*. Second edition. Moscow: *Olympus Business*, 2020. 828 p.
- Dorozhko I. V. (2012). Methodology for synthesizing optimal strategies for diagnosing automated control systems for complex technical objects using a priori information. *Proceedings of SPIIRAN*. 1(20): 165-185.
- Harry M., Schroeder R. (2003). 6 SIGMA. The concept of ideal management. Moscow: From EKSMO, 2003. 454 p.
- Kendall M., Stewart A. (1973). Statistical conclusions and connections. Moscow: Science, 1973. 466 p.
- Khersonsky N. S. (2018). Categorization of parameters by their impact on the safety and performance of products. *Competence*. 7(158): 9-19.
- Khersonsky N. S., Bolshedvorskaya L. G. (2022a). Algorithm of applicability of statistical methods of control and regulation of output parameters of products. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 4: 6-16.
- Khersonsky N. S., Bolshedvorskaya L. G. (2022b). Management of the process of assessing non-conforming products based on the use of statistical methods. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3: 33-47.
- Kishman-Livanova T. N. (2017). An incredible approach to solving inverse problems with uncertain a priori information. *Questions of the theory and practice of geological interpretation of geophysical fields: materials of the 44th session of the International Seminar named after D.G. Uspensky*. 169-173.
- Kolobov A. Y., Blinov D. S., Dikun E. A. (2019). Determination of the reliability of the means of removal and the use of a priori information. *Bulletin of NPO named after S.A. Lavochkin*. 4(46): 52-55.
- Lvovich Y. E., Artemov M. A., Beletskaya S. Yu. (2003). Organization of strategies for finding optimal options for complex systems using a priori and current information. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Physics, Mathematics*. 1: 152-156.
- Pestunov I. A., Dobrotvorsky D. I., Sinyavsky Yu. N. (2007). Classification of large data sets in conditions of small a priori information. *Computing technologies*. 12(S4): 50-58.
- Rampersad H., El-Homsi A. (2009). TPS_LEAN SIX SIGMA. New approach to creating a highly efficient company. Moscow: RIA "Standards and Quality", 2009. 416 p.
- Strelnikov V. P. (2003). Predicting the reliability of electronic systems in the absence of failures using additional a priori information. *Mathematical machines and systems*. 3-4: 226-232.
- Wentzel E. S. (1962). Probability theory. Moscow: *The main publishing house of physical and mathematical literature*. 1962. 564 p.
- Wentzel E. S., Ovcharov L. A. (2000). Probability theory and its engineering applications. 2nd ed. Moscow: Higher School, 2000. 480 p.
- Zaks L. (1976). Statistical evaluation. Moscow: *Statistics*, 1976. 598 p.

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 629.735

ББК 39.52

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_36

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С БАЗОВОЙ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ

*Михаил Арчилович Бобрин,
orcid.org/0009-0006-6851-152X,
соискатель*

*Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, 20
Москва, 125493, Россия
bobrin.misha@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассмотрена система встроенного допускового контроля с подсистемами мониторинга и прогнозирования отказов для системы управления безопасностью полётов летательных аппаратов (СУБП ЛА), что является актуальным в настоящее время. Работа посвящена эксплуатационной составляющей поля допусков гидравлической системы (ГС). Внутренним измеряемым параметром является давление, поэтому необходимо было найти алгоритм, отражающий зависимость его от условий эксплуатации, его коэффициента кинематической вязкости жидкости, её температуры, наработки, температуры окружающей среды и этапа полёта. Из полученного выражения для давления подстановкой граничных значений, входящих в эту зависимость параметров, можно получить эксплуатационную составляющую поля допуска.

Для каждого опроса датчиков системы автоматического контроля необходимо вычислить диапазон изменения параметра для данного этапа полёта и других условий с помощью полученных в работе алгоритмов вычисления поля допуска. При этом система контроля должна производить обработку большого объёма информации с использованием методов работы искусственного интеллекта (ИИ), что позволяет управлять безопасностью полётов летательных аппаратов (БП ЛА).

Ключевые слова: система управления техническим состоянием летательных аппаратов, система управления безопасностью полетов летательных аппаратов, система автоматического контроля гидравлических систем летательных аппаратов, эксплуатационное поле допуска давления жидкости.

AIRCRAFT FLIGHT SAFETY MANAGEMENT SYSTEM WITH A BASIC BUILT-IN SYSTEM OF AUTOMATIC TOLERANCE CONTROL OF THE HYDRAULIC SYSTEM AND FAILURE MONITORING AND FORECASTING SYSTEMS

*Mihail A Bobrin,
orcid.org/0009-0006-6851-152X,
applicant*

*Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
bobrin.misha@yandex.ru*

Abstract. This paper considers an integrated tolerance control system with failure monitoring and prediction subsystems for aircraft safety management system (ASMS), which is relevant nowadays. The paper deals with the operational component of hydraulic system (HS) tolerance zones. The internal measured parameter is pressure, so it was necessary to find an algorithm that reflects its dependence on operating conditions, its coefficient of kinematic viscosity of the fluid, its temperature, operating time, ambient temperature and flight stage. The operational component of the tolerance zone can be derived from the obtained expression for the pressure by substituting the boundary values of the parameters included in this dependence.

While polling the sensors of the automatic control system it is necessary each time to calculate the range of variation of the parameter for the given stage of flight and other conditions with the help of algorithms for calculating the tolerance zone obtained in the paper. Moreover, the control system has to process a large amount of information using artificial intelligence (AI) methods which allows the safety of aircraft flight (SAF) to be managed.

Keywords: aircraft health management system, aircraft flight safety management system, automatic control system of aircraft hydraulic systems, operational pressure-tolerant zone.

Введение

Одним из основополагающих требований, предъявляемых к перспективным воздушным судам (ВС), является обеспечение безопасности полётов (БП) и управление ею. Важнейшим элементом для решения этих задач является встроенная система допускового непрерывного контроля параметров, характеризующих текущее состояние функциональных систем, то есть проведение мониторинга с целью исключения выхода их значений за допустимый уровень и осуществления технического обслуживания по состоянию⁶ [Бобрин и др., 2023a].

Для системы автоматического контроля на летательном аппарате (ЛА) должна функционировать система сбора, обработки и анализа информации, в состав которой должны войти измеряющие параметры датчики, расположенные как на конструкции планера, так и в двигателях и функциональных подсистемах (ФП), в том числе и в гидравлической системе (ГС) [Bishop, 1981; Heathcote, 1980].

Сейчас проводится много работ по совершенствованию технического обслуживания воздушных судов [Бодрова и др., 2023; Имитационное моделирование..., 2020; Кирпичев и др., 2023].

Созданные в настоящее время системы интеллектуальной поддержки

⁶ Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

экипажа принятия решений имеют недостатки: отсутствие прогнозирования изменения параметров, влияющих на БП. Это учтено при разработке СУБП ЛА на примере системы допускового контроля ГС [Бобрин, 2023б; Кулик, 2019].

На рисунке 1 представлена структура системы управления безопасностью полётов с функциями мониторинга, аналитической и предиктивной диагностики гидравлических систем воздушных судов (■ – структура СУБП, ■ – совершенствование структуры СУБП с функциями мониторинга, аналитической и предиктивной диагностики ГС ВС).

Данные, имеющиеся в памяти системы автоматического контроля ЛА, являются паспортом ЛА.

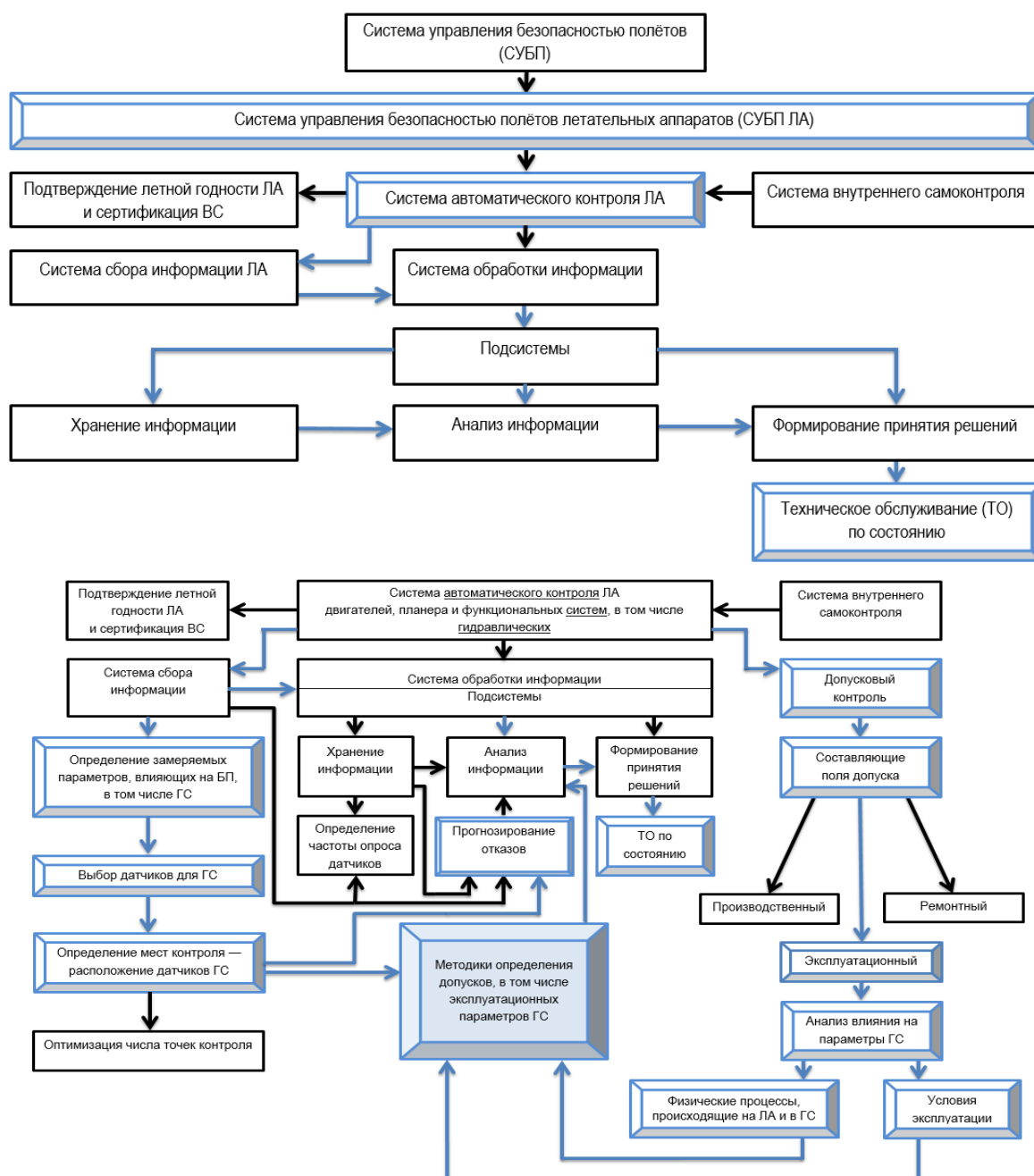


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления техническим состоянием летательного аппарата и системы управления безопасностью полётов с функциями мониторинга, аналитической и предиктивной диагностики гидравлических систем воздушных судов

В настоящее время для реализации системы непрерывного контроля за значениями параметров, характеризующих состояние ЛА и всех его систем, используются автоматизированные системы БАСК-124 самолётов Ан-124, и система Г-002 самолётов Ту-204, Ил-96, подсказывающие решения экипажу.

На самолётах Airbus и Boeing в ГС установлены датчики возле каждого элемента ГС, с помощью которых в полёте производится мониторинг состояния по программе Flight monitoring, то есть имеются системы автоматического контроля [Getting to grips with FOM..., 2003; Southeastern Aviation..., 2022].

Система управления БП ЛА, базовой частью которой является система управления техническим состоянием с системой автоматического допускового контроля, должна состоять из подсистем двигателей, электрических систем ВС, радиальных, гидравлических, топливных, системы кондиционирования воздуха (СКВ), системы автоматического регулирования давления (САРД), противообледенительных. На зарубежных ВС устанавливаются тензометрические датчики на особые места конструкции планера для оценки его работоспособности.

В ГС у каждого элемента системы должны стоять по два тензометрических датчика, измеряющих давление до и после элемента. В зависимости от степени функциональной значимости и надёжности у элементов могут стоять датчики температуры и утечек. Все датчики постоянно опрашиваются – осуществление мониторинга. Для каждого замера следует по полученным алгоритмам определить поле допуска, чтобы сравнивать его с замерами датчиков и сделать вывод об отсутствии отказа.

Такая работа должна проводиться для всех подсистем ВС. В результате объём обрабатываемой информации будет очень большим, что вызывает необходимость применения методов работы нейронных сетей ⁷ [Применение..., 2023; Чунтул, 2023].

При этом могут быть введены квоты на обрабатываемую информацию, связанные с распознаванием образов предотказных состояний.

Основой системы управления БП ЛА является система автоматического допускового встроенного контроля, при создании которой должны быть получены алгоритмы прогнозирования отказов.

При появлении предотказного состояния необходимо проведение технического обслуживания по состоянию вместо существующего ныне планового технического обслуживания по регламенту, в результате чего повышается ресурс [Воронцев и др., 2023; Чинючин и др., 2023].

Сказанное определяет актуальность работы, посвящённой анализу влияния условий эксплуатации на характеристики гидравлических систем и определению диапазона изменений характеризующих их параметров, то есть допусков. Актуальность работы также отражает анализ состояния БП в ГА РФ в 2013 – 2022 гг., из статистики которого следует, что количество инцидентов,

⁷ Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

связанных с отказами ГС, составляет 5 – 14 %. Наибольшее количество из них приходится на самолеты А-319/320/321. Эта статистика обуславливает установку тензометрических датчиков у многих элементов ГС и создание для этих ЛА автоматизированных интеллектуальных систем для поддержки экипажа в полете до 2040 года, что также должно быть сделано на отечественных ВС⁸ [Лебедев, 2009].

Часть подсистемы прогнозирования отказов (прогнозная аналитика) должна работать на основе зависимостей, математических моделей, которые помогают найти зависимости между состояниями системы и отказами.

Кроме этого, прогностическая интеллектуальная аналитика (предиктивная) должна использовать методы статистики, анализа данных, вероятностные модели и теорию игр. При создании СУБП ЛА и наличии большого объёма обрабатываемого материала могут использоваться методы искусственного интеллекта (ИИ) для разработки вероятностных моделей, анализа данных и перехода к распознаванию отказов с использованием методов работы нейронных сетей [Применение..., 2023].

Допуск состоит из производственного, эксплуатационного и ремонтного. Производственному допуску посвящено много работ, поэтому в работе не рассматривается.

Проблема определения эксплуатационного поля допуска рассматривалась в работах. В них говорится о факторах, влияющих на эксплуатационное поле допуска: износ элементов, характер технического обслуживания и т.п., но методик его определения не имеется. Сказано также, что эксплуатационный допуск на контролируемые параметры устанавливается инструктивной документацией; допуск должен устанавливаться разработчиком, заводом-изготовителем и эксплуатирующей организацией. Также говорится, что эксплуатационный допуск задаётся в технической документации и технических условиях, но обоснования отсутствуют [Лебедев, 2009].

Эксплуатационный допуск является случайной величиной, поэтому сначала следует определить значение математического ожидания для данных условий эксплуатации, а затем учесть среднее квадратическое отклонение случайной величины относительно математического ожидания, т.е. дисперсию.

В авиации суммарное поле допуска, состоящее из производственного, эксплуатационного и ремонтного, задаётся, например, по решению главного конструктора, заведомо больше реально существующего, чтобы в него уместились все колебания параметров.

Система считается исправной, если её параметры находятся в поле допуска. Если же в систему контроля закладывается завышенное значение поля допуска и величина параметра становится больше требуемого поля допуска, система не фиксирует отказ, ЛА будет с отказом выпущен в полёт, что является нарушением требований безопасности полетов. В соответствии с

⁸ Руководство по управлению безопасности полётов (РУБП 3), ИКАО, DOC 9859, AN/474, 2013. 300 с.

этим для автоматического контроля необходимо разработать алгоритм для корректного определения поля допуска.

Эксплуатационный допуск зависит от колебаний значений параметров системы и окружающей среды.

Это, прежде всего, необходимо для получения зависимости давления от температуры, являющегося основным внутренним измеряемым параметром при поиске неисправности. Оно зависит от вязкости жидкости и определяется температурой рабочего тела.

Методы исследования

В работе использованы аналитические методы, эмпирические, аппроксимации, дифференциальных и интегральных исчислений.

При движении жидкости в насосе, находящемся на двигателе, а затем в негерметичной части ЛА с низкой температурой окружающей среды, она охлаждается. Необходимо иметь зависимость для температуры жидкости от температуры окружающей среды. В результате проведённых исследований такая зависимость была получена.

Теплообмен производится теплопроводностью, обменом энергии путём непосредственного соприкосновения жидкости со стенкой трубы и конвекцией в подвижной среде перемещением масс.

Плотность теплового потока $q_{\text{хтепл}}$ при теплообмене определяется по формуле:

$$q_{\text{хтепл}} = -\lambda_{\text{жс}} \frac{dt_{\text{жс}}}{dx}, \quad (1)$$

здесь: $\lambda_{\text{жс}}$ – коэффициент теплопроводности жидкости, $t_{\text{жс}}$ – температура жидкости, x – длина трубопровода (ось x направлена вдоль трубопровода и $x = l$).

Знак “ – ” перед λ показывает, что поток направлен в сторону убывания температуры.

Значение $q_{\text{хтепл}}$ зависит от количества теплоты dQ , времени $d\tau$ и площади изотермической поверхности dS :

$$q_{\text{хтепл}} = \frac{dQ}{dS \cdot d\tau}. \quad (2)$$

Конвективная плотность теплового потока определяется алгоритмом:

$$q_{\text{хконв}} = \rho c_p v_x t_{\text{жс}}, \quad (3)$$

здесь: ρ – плотность жидкости, c_p – теплоёмкость при постоянном давлении, v_x – составляющая скорости движения жидкости в трубопроводе вдоль оси x .

Отсюда суммарная плотность теплового потока равна:

$$q_x = q_{\text{хтепл}} + q_{\text{хконв}} = \rho c_p v_x t_{\text{жс}} - \lambda_{\text{жс}} \frac{dt_{\text{жс}}}{dx}. \quad (4)$$

Если принять $\lambda_{жс} = const$ и продифференцировать по оси x , получим:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} = \rho c_p \left(v_x \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} + t_{жс} \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) - \lambda_{жс} \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Для двух других осей будем иметь:

$$\frac{\partial q_y}{\partial y} = \rho c_p \left(v_y \frac{\partial t_{жс}}{\partial y} + t_{жс} \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) - \lambda_{жс} \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial y^2}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial q_z}{\partial z} = \rho c_p \left(v_z \frac{\partial t_{жс}}{\partial z} + t_{жс} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) - \lambda_{жс} \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial z^2}, \quad (7)$$

здесь: v_y, v_z – составляющие скорости движения жидкости вдоль осей y и z соответственно.

Если эти три уравнения свести к одному, подставив их в предыдущее равенство, и учесть, что уравнение сплошности для несжимаемой жидкости имеет вид:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (8)$$

для стабилизированного режима течения без внутреннего источника тепла получим дифференциальное уравнение энергии:

$$\rho c_p \left(v_x \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} + v_y \frac{\partial t_{жс}}{\partial y} + v_z \frac{\partial t_{жс}}{\partial z} \right) = \lambda_{жс} \nabla^2 t_{жс}, \quad (9)$$

где оператор Лапласа температуры имеет вид:

$$\nabla^2 t_{жс} = \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial z^2}. \quad (10)$$

Для цилиндрической системы координат $\nabla^2 t_{жс}$ равен:

$$\nabla^2 t_{жс} = \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_{жс}}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2}, \quad (11)$$

здесь: r – радиус трубопровода, φ – угол расположения радиуса.

При независимости теплообмена от ориентации радиуса, т.е. для осесимметричного течения, будем иметь:

$$\nabla^2 t_{жс} = \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_{жс}}{\partial r} + \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2}. \quad (12)$$

В результате для трубопровода круглого сечения в цилиндрической системе координат получаем уравнение:

$$\rho c_p \left(v_r \frac{\partial t_{жс}}{\partial r} + v_x \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} \right) = \lambda_{жс} \left(\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial r^2} + \frac{\partial t_{жс}}{r \partial r} + \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} \right). \quad (13)$$

Режим течения жидкости в гидросистемах был оценён на примере характера течения жидкости в трубопроводах самолёта Ил-96.

Допустимая скорость течения в трубопроводах равна $v = 10 - 15 \text{ м/с}$. Замеры диаметров трубопроводов на этом самолёте дали следующие значения: $d_1 = 0,02 \text{ м}$ и $d_2 = 0,012 \text{ м}$.

При температуре жидкости $t_{жс} = 20^\circ \text{С}$ и коэффициенте кинематической вязкости $\nu = 4,18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (НГЖ – 5У) для этих значений диаметров d_1 и d_2 числа Re равны: $Re_1 = 717,7$ и $Re_2 = 430$, что соответствует ламинарному режиму течения и при переходе от ламинарного режима в турбулентный при $Re = 2330$ имеется большой запас по ламинарному режиму течения.

При небольшом радиусе трубопровода и достаточно большой длине $\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial r^2} \ll \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial r^2}$ как величиной высшего порядка малости можно пренебречь. Для ламинарного режима течения $v_r = 0$. С учётом этого уравнение (13) принимает следующий вид:

$$\rho c_p v_x \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} = \lambda_{жс} \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} + \frac{\lambda_{жс}}{r} \frac{\partial t_{жс}}{\partial r}, \quad (14)$$

или

$$\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} = - \frac{\partial t_{жс}}{r \partial r}. \quad (15)$$

Производную $\frac{\partial t_{жс}}{\partial r}$ можно найти из закона Ньютона:

$$Q_T = \alpha (t_1 - t_c) S \tau, \quad (16)$$

и закона Фурье:

$$Q_T = -\lambda_{жс} \frac{dt}{dr} S \tau, \quad (17)$$

где: Q_T – количество тепла, α – коэффициент теплоотдачи, t_1 – температура жидкости на выходе из насоса, t_c – температура стенки трубопровода, S – площадь поверхности (стенки трубопровода) по которой происходит теплообмен, τ – время.

Если рассматривать теплопередачу по радиусу от жидкости к стенке трубопровода, от трубопровода (пластины) к окружающей среде, то α равен:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{жс}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{ос}}}, \quad (18)$$

здесь: $\alpha_{жс}$ – коэффициент теплоотдачи жидкости, δ – толщина стенки трубопровода, $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стенки, $\alpha_{ос}$ – коэффициент теплоотдачи окружающей среды.

Имеются данные, согласно которым $\alpha = \alpha_{ос}$ с учётом конвективных и излучательных процессов теплообмена:

$$\alpha = \alpha_{ос} = 7...8 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}) \quad (19)$$

для диапазона температур окружающей среды $t_{oc} = -50...+20^{\circ}C$.

Из законов Ньютона – Фурье получим:

$$\frac{dt_{жс}}{dr} = -\alpha_{oc} \frac{(t_{жс} - t_{oc})}{\lambda_{жс}} = \alpha_{oc} \frac{(t_{oc} - t_{жс})}{\lambda_{жс}}, \quad (20)$$

здесь: t_{oc} – температура окружающей среды.

Считая поток симметричным по осям y и z , т.е. рассматривая двумерную задачу, можно заменить $\frac{dt_{жс}}{dr}$ на $\frac{\partial t_{жс}}{\partial r}$ и из последнего равенства подставить в уравнение движения:

$$\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} = -\frac{1}{r} \alpha_{oc} \frac{(t_{oc} - t_{жс})}{\lambda_{жс}}, \quad (21)$$

или

$$\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} + \frac{\alpha_{oc}}{r \lambda_{жс}} \cdot (t_{oc} - t_{жс}) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial x^2} - \frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} - \frac{\alpha_{oc}}{r \lambda_{жс}} \cdot t_{жс} = -\frac{\alpha_{oc}}{r \lambda_{жс}} \cdot t_{oc} \quad (23)$$

В общем виде это уравнение можно представить:

$$t_{жс}'' - p \cdot t_{жс}' - q \cdot t_{жс} = -q \cdot t_{oc}, \quad (24)$$

Здесь p и q – действительные числа:

$$p = \frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} \text{ и } q = \frac{\alpha_{oc}}{r \lambda_{жс}}. \quad (25)$$

Решение этого уравнения имеет следующий вид:

$$t_{жс} = (t_1 - t_{oc}) e^{\theta_2 \cdot x} + t_{oc} = (t_1 - t_{oc}) e^{\theta_2 \cdot l} + t_{oc}, \quad (26)$$

где:

$$\theta_2 = \frac{\frac{\rho c_p v_x}{\lambda_{жс}} - \sqrt{\frac{\rho^2 c_p^2 v_x^2}{\lambda_{жс}^2} + 4 \frac{\alpha_{oc}}{r \lambda_{жс}}}}{2}. \quad (27)$$

Давление в гидравлической системе определяется величиной потерь давления ΔP при движении жидкости по трубопроводу:

$$\Delta P = \lambda_{mp} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_x^2}{2g}, \quad (28)$$

где: λ_{mp} – коэффициент трения жидкости, l – длина трубопровода, d – диаметр трубопровода, v_x – скорость течения жидкости, g – коэффициент свободного падения.

В гидросистеме летательных аппаратов имеет место ламинарный режим течения, поэтому коэффициент трения равен:

$$\lambda_{mp} = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot \nu}{v \cdot d}. \quad (29)$$

Коэффициент кинематической вязкости ν зависит от температуры жидкости и её наработки τ_n .

По экспериментальным данным *ВИАМ* для жидкости *НГЖ – 5У (HyJetIV – A^{plus})* получена зависимость коэффициента кинематической вязкости от температуры жидкости:

$$\nu = \left(\frac{248,8}{t_{жс} + 78,8} \right)^{3,44} \quad (30)$$

Из выражений (26) – (30) получена зависимость для давления, дающая возможность определить диапазон изменения:

$$\Delta P = \frac{32lv_x}{d^2 g} \left(\frac{248,8}{(t_1 - t_{oc})e^{\theta_2 l} + 78,8 + t_{oc}} \right)^{3,44} \quad (31)$$

По нормам, руководству по технической эксплуатации, например, *Ил – 96 – 300*, коэффициент кинематической вязкости ν не должен быть меньше $6cSt$ при температуре $t = 50^\circ C$.

Из выражения (28) и (29) можно получить:

$$\Delta P = \nu \cdot \frac{64}{vd} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \nu \cdot k, \quad (32)$$

т.е. ΔP прямо пропорционально зависит от коэффициента кинематической вязкости ν , уменьшающегося с увеличением наработки.

По экспериментальным данным *ВИАМ* для новой жидкости при температуре $t = 50^\circ C$ вязкость $\nu = 9 \div 9,2cSt$, поэтому последнее выражение даст максимальное значение: $\Delta P_{max} = \nu_{max} \cdot k = 9,2 \cdot k$, а минимальное значение равно: $\Delta P_{min} = \nu_{min} \cdot k = 6 \cdot k$

Следовательно, по выражению (31) получается ΔP_{max} , а для получения ΔP_{min} следует умножить ΔP_{max} на коэффициент 0,65: $\Delta P_{min} = \Delta P_{max} \cdot 0,65$, т.е. давление уменьшается в 1,53 раза.

Согласно экспериментальным данным *ВИАМ* ν может быть равным $5cSt$, таким образом, в этом случае давление уменьшается в 1,84 раза.

На рисунке 2 представлен график зависимости $\Delta P = f(t_1, l)$, построенный по соотношению (31).

Здесь: ΔP_1 , ΔP_2 – изменение величины падения давления при наличии максимально допустимых утечек, величиной 1,5...3 л/мин (данные ГосНИИГА) в нейтральном положении;

ΔP_3 , ΔP_4 – изменение падения давления при максимальной скорости движения жидкости, равной 10 м/с (для двигателя ПС – 90, насоса НП – 25, трубопровода диаметром 20 мм и длиной 50 м) и 15 м/с;

ΔP_{33} , ΔP_{44} – уменьшение величины давления в 1,53 раза при увеличении времени наработки: $\Delta P_{33} = \frac{\Delta P_3}{1,53}$ и $\Delta P_{44} = \frac{\Delta P_4}{1,53}$.

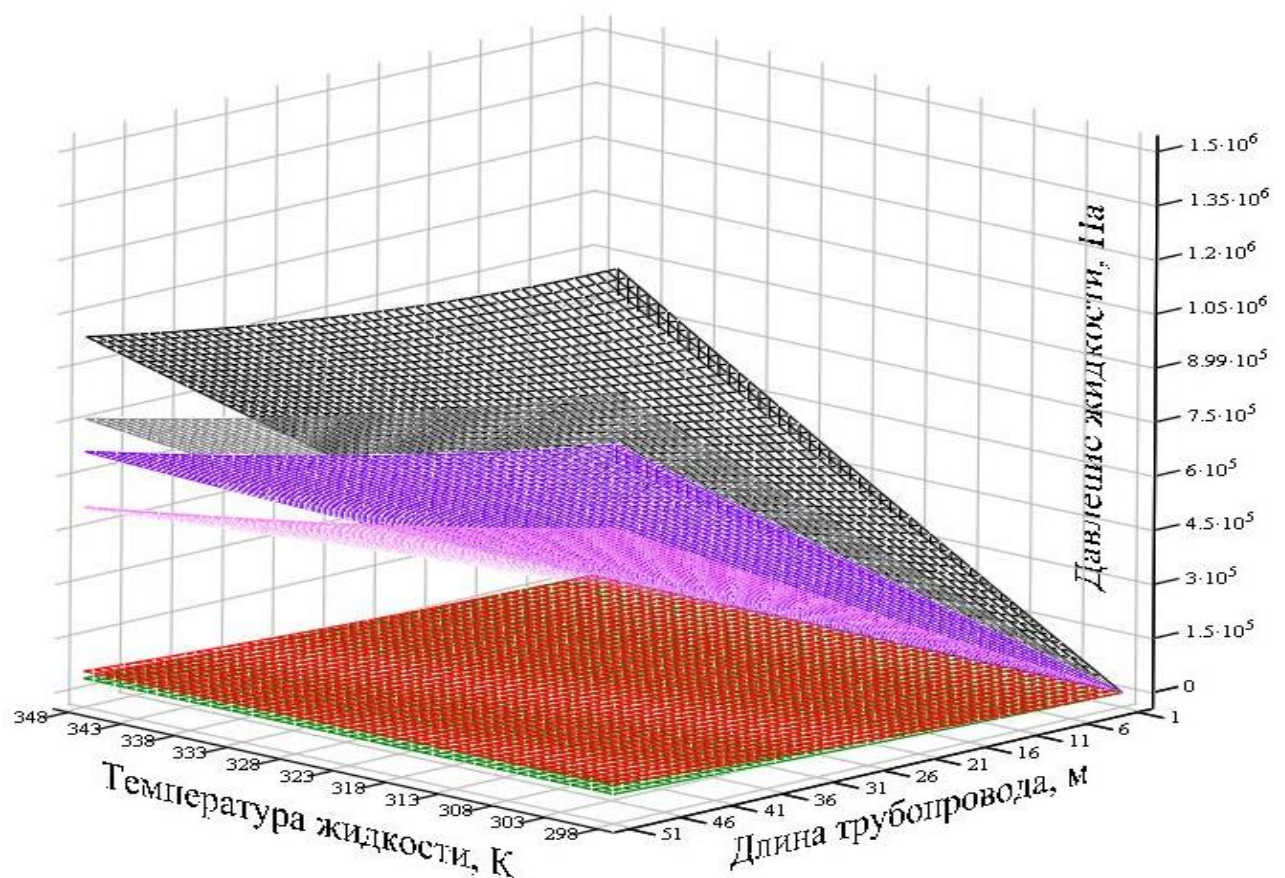


График зависимости $P=F(T,L)$

Рисунок 2 – График изменения величин падения давления ΔP_1 и ΔP_2 при наличии утечек (1,5...3 л/мин) в нейтральном положении, ΔP_3 и ΔP_4 при скорости движения жидкости 10 м/с и 15 м/с, ΔP_{33} и ΔP_{44} при увеличении времени наработки для трубопровода диаметром 20 мм и длиной 50 м

Далее рассмотрено влияние этапа полёта самолёта на изменение давления в гидравлической системе.

Давление ΔP зависит от скорости движения жидкости и подачи насоса, определяемой этапом полёта, так как насос находится на двигателе и вращается механическим приводом.

Для оценки диапазона изменения давления на различных этапах полёта в качестве объекта рассмотрения был взят двигатель *ПС – 90А* и насос *НП – 123*.

Для различных этапов полёта по выражению (31) построена зависимость $\Delta P = f(Q, t)$ – рисунок 3.

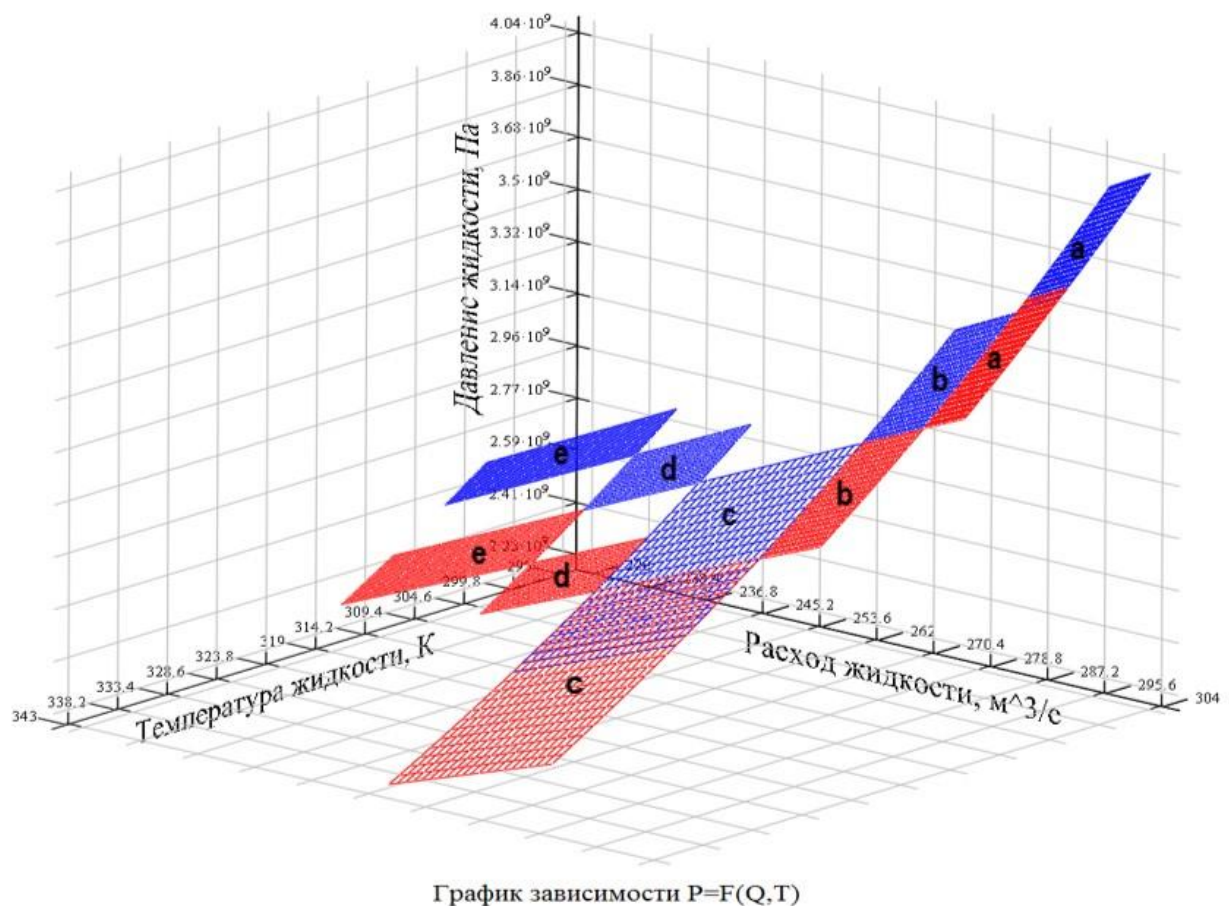


Рисунок 3 – График изменения давления в напорном и сливном трубопроводах ($d = 0,02\text{ м}$ и $l = 25\text{ м}$) от температуры и расхода жидкости для режимов: *a* – взлёт, *b* – набор высоты, *c* – крейсерский режим, *d* – снижение, *e* – посадка.

■ – напорная магистраль, ■ – сливная магистраль

Здесь из криволинейной поверхности $\Delta P = f(Q, t)$ выделены прямоугольники, соответствующие различным этапам полёта. Их ширина по оси расходов равна диапазону изменения подачи насоса на взятом режиме полёта. Ширина прямоугольников по оси T определяется температурой на выходе из насоса t_1 и температурой окружающей среды t_{oc} . Значения t_1 взяты из результатов лётных испытаний, а значения t_{oc} из стандартной атмосферы ИКАО.

Результаты и обсуждение

Диапазон изменения давления, т.е. поле допуска, должен быть определён по соотношению (31). Величина давления зависит от расположения точки контроля: это задаётся длиной трубопровода l от насоса до места контроля и диаметром трубопровода d .

Давление прямо пропорционально скорости движения жидкости в трубопроводе v_x , подачи насоса, частоты вращения ротора двигателя, этапа полёта, поэтому диапазон изменения давления должен определяться для каждого этапа.

В технической документации двигателя для всех этапов указывается диапазон изменения частоты вращения ротора. Соответственно для получения верхнего значения давления следует брать верхнее значение частоты вращения и наоборот.

Температура t_1 также зависит от этапа полёта – от числа работающих потребителей. Эти данные берутся из результатов лётных испытаний. Поскольку зависимость давления от t_1 и t_{oc} обратно пропорциональная, для получения максимального значения давления на данном этапе нужно взять минимальные значения t_1 и t_{oc} , а для получения минимального – максимальные.

Кроме этого, для учёта уменьшения вязкости жидкости с увеличением наработки для получения минимального значения давления рекомендуется ввести коэффициент 0,65.

Заключение

Во время контроля сначала определяется работоспособность ФП: выходные параметры какой-либо ФП не должны выходить за поле допуска. После этого необходимо произвести поиск неисправностей замером внутреннего замеряемого параметра – давления. Для достоверности контроля замеры следует проводить у каждого элемента ФП.

В работе решением уравнения движения с теплообменом получена зависимость температуры жидкости в трубопроводе от температуры жидкости на выходе из блока питания, температуры окружающей среды и скорости движения жидкости.

Давление зависит также от коэффициента кинематической вязкости жидкости. По экспериментальным данным с помощью метода аппроксимации для него получены выражения, отражающие его зависимость от температуры.

Из этих выражений найдена зависимость давления в системе от скорости движения жидкости, её температуры на выходе из блока питания, температуры окружающей среды, длины трубы от насоса до точки замера и его диаметра. Коэффициент кинематической вязкости, а, следовательно, и давление уменьшается с увеличением наработки. По экспериментальным данным получен коэффициент 0,65, на который следует умножить максимальное значение давления, чтобы получить минимальную его величину.

Давление зависит от скорости движения жидкости, а она в свою очередь определяется подачей насоса, то есть частотой вращения ротора двигателя и, следовательно, этапом полёта.

Зависимость для давления является алгоритмом, необходимым для определения его эксплуатационного поля допуска подстановкой граничных значений параметров, входящих в это выражение.

Библиографический список

Бобрин М. А. Интеллектуальная система автоматического контроля в полёте гидравлической системы летательного аппарата / М. А. Бобрин, Л. Г. Клёмина, И. Н. Шестаков // Пятьдесят восьмые научные чтения, посвящённые разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, г. Калуга, 19-21 сентября 2023 года. Калуга: ИП Стрельцов И.А., 2023а. С. 342-344.

Бобрин М. А. Контроль гидравлических систем с помощью бортового вычислительного комплекса самолёта / М. А. Бобрин, И. Н. Шестаков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023б. № 3(40). С. 120-127.

Бодрова И. Е. Специализированные программные системы технической поддержки эксплуатации воздушных судов / И. Е. Бодрова, А. В. Гостев // 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. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 244-245. EDN ERGVSS.

Воронцев В. А. Информационное обеспечение эксплуатации и ремонта, как залог надёжности и повышения уровня исправности авиационной техники / В. А. Воронцев, В. П. Кирич // 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. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 286-287. EDN XJMDNV.

Имитационное моделирование оперативного технического обслуживания воздушных судов / А. А. Ицкович, Г. Д. Файнбург, Н. В. Жаров, Н. Н. Басых // Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н. Е. Жуковского: материалы XVII научно-технической конференции, Москва, 15 октября 2020 года / Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского. М.: Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского (г. Москва), 2020. С. 105-110. EDN USBBND.

Кирпичев И. Г. Совершенствование процедур и технологий разработки программ технического обслуживания воздушных судов / И. Г. Кирпичев, Л. А. Филатова // 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. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 255-257. EDN SZDNPS.

Кулик А. А. Исследование взаимодействия системы управления безопасностью полета с комплексом бортового оборудования воздушного судна // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 28-36. DOI 10.24143/2072-9502-2019-4-28-36. EDN CYYLFU.

Лебедев А. М. Разработка методов повышения достоверности и автоматизации наземного контроля бортовых систем и комплексов воздушного судна для обеспечения безопасности полётов: специальность 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Лебедев Алексей Михайлович. М., 2009. 303 с. EDN QEKSCST.

Применение нейросетевой модели для контроля технического состояния воздушного судна / М. Д. Булгаков, В. В. Чевалков, Д. Г. Никулин, А. А. Крылов // 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. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 246-247. EDN YUAELG.

Чинючин Ю. М. К вопросу прогнозного метода формирования оптимальных режимов технического обслуживания функциональных систем воздушных судов / Ю. М. Чинючин, А. Д. Грузд // 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. М.: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. С. 293-295. EDN OKAIFS.

Чунтул А. В. Искусственный интеллект в авиации // Идеи Циолковского в теориях освоения космоса: Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 19–21 сентября 2023 года. Калуга: ИП Стрельцов И.А., 2023. С. 345-346. EDN QBZBQQ.

Bishop F. E. IMACS cost savings estimator a trade-off analysis for a built-in monitoring system // US Dep. Commer. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ. 1981. pp. 195-219.

Getting to grips with Flight Operations Monitoring FOM. France: Airframer Airbus, 2003. 106 p.

Heathcote A. J. Some Recent Advances in non – destructive testing applied to Aircraft in Service // Spring Conv., Longlife Aircraft Struct. London, 1980.

Southeastern Aviation Safety Management System (SMS) Manual. With Emergency Response Plan (ERP). Southeastern Aviation Sciences Institute. Southeastern Oklahoma State University: Durant, OK 74701. Revised 3/03/2022. 56 p.

References

Bishop F. E. (1981). IMACS cost savings estimator a trade-off analysis for a built-in monitoring system. *US Dep. Commer. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ.* 195-219.

Bobrin M. A., Klyomina L. G., Shestakov I. N. (2023a). Intellectual system of automatic control in flight of the aircraft hydraulic system. *Fifty-eighth Scientific Readings devoted to the development of scientific heritage and ideas of K. E. Tsiolkovsky*. Kaluga, 19-21 September 2023. 342-344. (in Russian)

Bobrin M. A., Shestakov I. N. (2023b). Control of hydraulic systems with the help of onboard computer complex of the aircraft. *Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 3(40): 120-127. (in Russian)

Bodrova I. E., Gostev A. V. (2023). Specialised software systems for technical support of aircraft operation. *International Scientific and Technical Conference dedicated to 100 years of domestic civil aviation: Collection of abstracts of reports 100 years of domestic civil aviation*. Moscow: MSTU GA, 244-245. (in Russian)

Bulgakov M. D., Chevalkov V. V., Nikulin D. G., Krylov A. A. (2023). Application of neural network model for aircraft technical condition control. *International Scientific and Technical Conference dedicated to 100 years of domestic civil aviation: Collection of abstracts of reports 100 years of domestic civil aviation*. Moscow: MSTU GA. 246-247. (in Russian)

Chinyuchin Yu. M., Gruzd A. D. (2023). To the question of the forecast method of formation of optimal modes of maintenance of aircraft functional systems. *International Scientific and Technical Conference dedicated to 100 years of domestic civil aviation: Collection of abstracts of reports 100 years of domestic civil aviation*. Moscow: MSTU GA. 293-295. (in Russian)

Chuntul A. V. (2023). Artificial intelligence in aviation. *Fifty-eighth scientific readings devoted to the development of scientific heritage and ideas of K. E. Tsiolkovsky*. Kaluga, 19-21 September 2023. 345-346. (in Russian)

Getting to grips with Flight Operations Monitoring FOM. France: Airframer Airbus, September 2003. 106 p.

- Heathcote A. J. (1980). Some Recent Advances in non – destructive testing applied to Aircraft in Service. *Spring Conv., Longlife Aircraft Struct.* London, 1980.
- Itskovich A. A., Feinburg G. D., Zharov N. V., Basykh N. N. (2020). Simulation modelling of operational aircraft maintenance. *Scientific readings on aviation, dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky: Collection of reports XVII Scientific – technical conference.* Moscow, 2020. 105-110. (in Russian)
- Kirpichev I. G., Filatova L. A. (2023). Improvement of procedures and technologies of aircraft maintenance programmes development. *International Scientific and Technical Conference on 100 years of domestic civil aviation: Collection of abstracts 100 years of domestic civil aviation.* Moscow: MSTU GA. 255-257. (in Russian)
- Kulik A. A. (2019). Research of interaction between the flight safety management system and the aircraft onboard equipment complex. *Vestnik of ASTU. Ser.: Management, Computer Science and Informatics.* 4: 28-36. (in Russian)
- Lebedev A. M. (2009). Development of methods for increasing the reliability and automation of ground control of on-board systems and complexes of aircraft to ensure flight safety. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow: MSTU GA, 2009. 303 p. (in Russian)
- Southeastern Aviation Safety Management System (SMS) Manual. With Emergency Response Plan (ERP). Southeastern Aviation Sciences Institute. Southeastern Oklahoma State University: Durant, OK 74701. Revised 3/03/2022. 56 p.
- Vorontsev V. A., Kirin V. P. (2023). Information support of operation and repair as a guarantee of reliability and increase of aviation equipment serviceability level. *International Scientific and Technical Conference dedicated to 100 years of domestic civil aviation: Collection of abstracts of reports 100 years of domestic civil aviation.* Moscow: MSTU GA. 286-287. (in Russian)

УДК 629.7.036.34
DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК НА МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВЕ INCONEL 738LC

Олег Александрович Ратенко,
orcid.org/0009-0002-4401-4853,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
ratenko.oleg@yandex.ru

Елизавета Васильевна Самойленко,
orcid.org/0009-0006-3964-7225,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
e.samoilenko@mstuca.aero

*Юрий Владимирович Петров,
orcid.org/0009-0000-8446-9591,
доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
yu.petrov@mstuca.aero*

Аннотация. В современных экономических условиях одной из важных задач является перевод как можно большего количества элементов конструкции авиационных двигателей на эксплуатацию по состоянию при одновременном соблюдении баланса экономического эффекта и уровня безопасности полетов. Подобные меры в значительной степени позволят эксплуатантам воздушных судов снизить эксплуатационные расходы. Одним из кандидатов на переход на эксплуатацию по состоянию являются лопатки турбин газотурбинных двигателей (ГТД), изготавливаемые из жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС). Микроструктура ЖНС представляет собой γ -матрицу с включенными в нее дисперсными частицами γ' - фазы, которые и являются элементами, обеспечивающими высокие прочностные свойства никелевых сплавов. Происходящие в ходе эксплуатации ГТД микроструктурные изменения в ЖНС лопаток турбин, связанные с увеличением размеров частицам γ' - фазы, а также изменением их формы и объемной доли, приводят к деградации механических свойств изделий. Учет этих изменений может явиться тем инструментом, который позволит проводить расчеты, направленные на оценку технического состояния лопаток турбин ГТД в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, лопатка турбины, жаропрочный никелевый сплав, γ' - фаза, микроструктура сплава.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ACTING LOADS ON MICROSTRUCTURAL CHANGES IN THE ALLOY INCONEL 738LC

*Oleg A. Ratenko,
orcid.org/0009-0002-4401-4853,
Candidate of Sciences in Technology
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
ratenko.oleg@yandex.ru*

*Elizaveta V. Samojlenko,
orcid.org/0009-0006-3964-7225,
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
e.samoilenko@mstuca.aero*

*Yurij V. Petrov,
orcid.org/0009-0000-8446-9591,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
yu.petrov@mstuca.aero*

Abstract. In modern economic conditions, one of the important tasks is to transfer as many structural elements of aircraft engines as possible to condition-based operation while maintaining a balance between the economic effect and the flight safety level. Such measures will significantly allow aircraft operators to reduce operating costs. One of the candidates for the transition to condition-based operation are turbine blades of gas turbine engines, made from heat-resistant nickel alloys. The microstructure of the heat-resistant nickel alloys is a γ -matrix with dispersed particles of the γ' -phase included into it, which are the elements that provide the high strength properties of nickel alloys. The microstructural changes that occur during the operation of gas turbine engines in turbine blades associated with an increase in the size and shape of the γ' -phase particles, as well as their volume fraction, lead to degradation of the mechanical properties of products. Taking into account these changes can be a tool that will allow one to carry out calculations aimed at assessing the technical condition of the blades of gas turbine engines during their operation.

Key words: gas turbine engine, turbine blade, heat-resistant nickel alloy, γ' -phase, alloy microstructure.

Введение

В материалах Управления по безопасности полетов Федерального агентства воздушного транспорта [Анализ состояния..., 2019], а также в отчетных документах международной организации гражданской авиации (ИКАО) [ICAO Safety..., 2022] представлен (рис. 1) статистический анализ типов событий, явившихся причинами авиационных происшествий с самолетами и вертолетами коммерческой авиации. Основываясь на этих данных, можно сделать однозначный вывод о том, что отказы газотурбинных двигателей являются одной из основных причин, приводящих к возникновению авиационных событий.

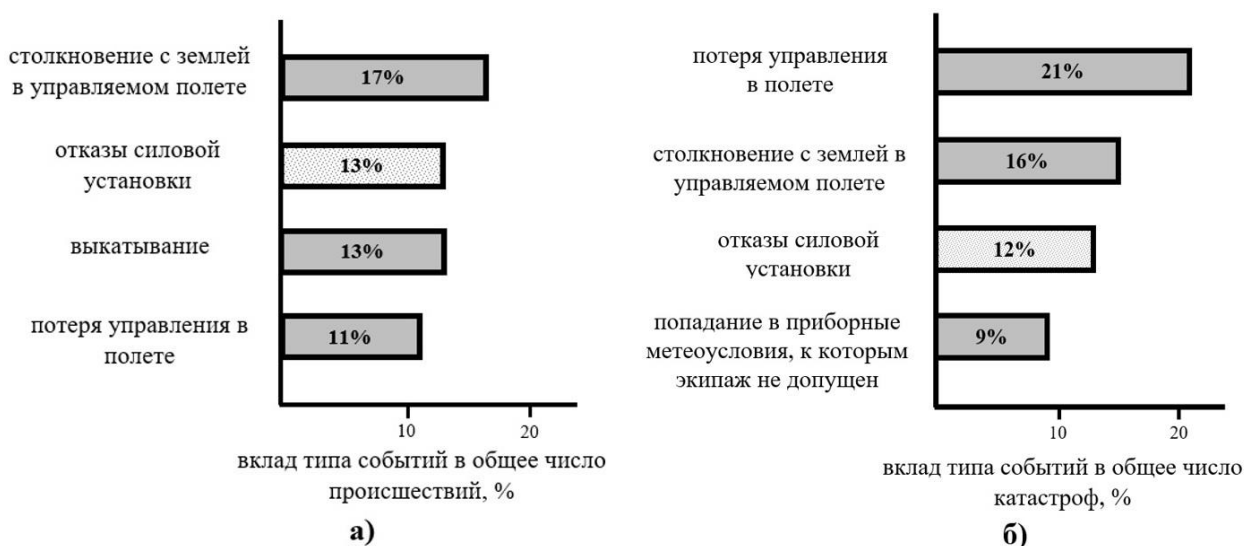


Рисунок 1 – а) – основные типы событий, приведшие к авиационным происшествиям с самолетами коммерческой авиации (период 2001 – 2018 годы); б) – основные типы событий, приведшие к катастрофам самолетов коммерческой авиации (период 2001 – 2018 годы). *Источник:* https://rostransnadzor.gov.ru/storage/img/avia/analiz_po_bezopasnosti_poletov_2018.pdf?ysclid=lovu7yj94e577965939

Роторные и статорные лопатки турбин являются наиболее ответственными и нагруженными элементами конструкции газотурбинных двигателей (ГТД). Отказы, связанные с их повреждениями и разрушениями, составляют половину всех неисправностей авиационных двигателей [Rath et al., 2023]. Помимо этого, отказы, связанные с выходом из строя лопаток турбин авиационных ГТД, являются наиболее частыми причинами досрочных съёмов и отправок двигателей в ремонт [Новиков и др., 2007; CFM Fleet..., 2016].

В этой связи особую актуальность приобретают научные исследования, направленные на разработку методов диагностирования технического состояния лопаток турбин в процессе их эксплуатации, основанных на математических расчетах и позволяющих сократить затраты на проведение экспериментальных исследований с использованием методов разрушающего контроля.

Материалы и методы

Материалы исследования: научные труды в области эксплуатации турбин ГТД и математического моделирования процессов, происходящих в ГТД в процессе их эксплуатации, опубликованных российскими и зарубежными учеными.

Методы исследования: в работе были использованы аналитические и экспериментальные методы исследования эксплуатационных свойств лопаток турбин авиационных ГТД, физического эксперимента в лабораторных условиях и натурных испытаний.

С целью проведения экспериментального исследования для определения влияния различных по абсолютному значению нагрузок на изменение микроструктуры сплава были использованы специально изготовленные образцы из сплава Inconel 738LC. Химический состав сплава представлен в таблице 1. Форма испытуемых образцов представлена на рисунке 2, толщина каждого из образцов составляла 2 мм.

Таблица 1 – Химический состав сплава Inconel 738LC

Ni	Cr	Co	W	Mo	Ti	Al	Nb	Ta
основа	15,8	8,2	2,5	1,52	3,3	3,3	0,68	1,6

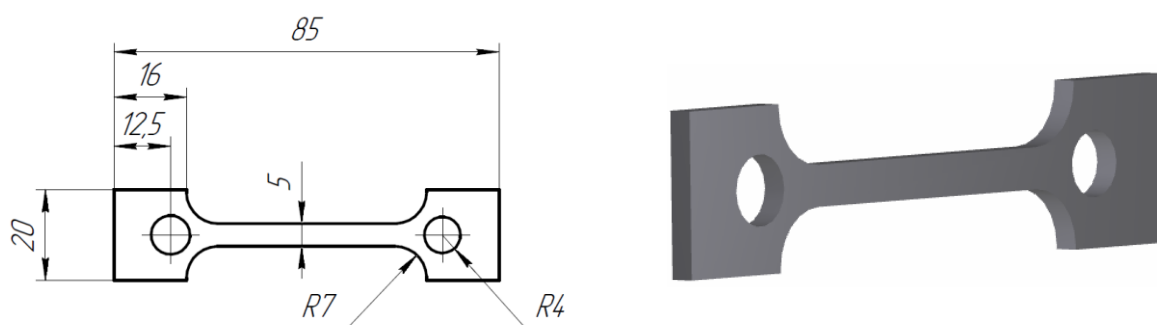
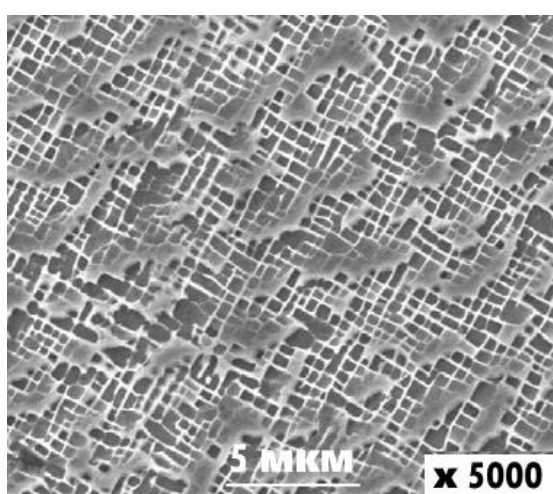
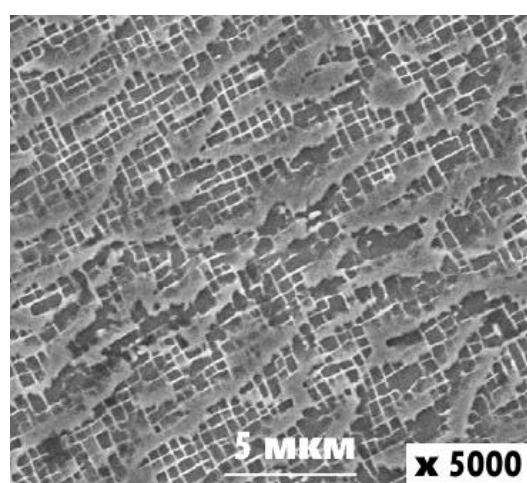


Рисунок 2 – Параметры и внешний вид образца для испытания

Проведены испытания четырех образцов при двух различных значениях приложенной нагрузки: 146 МПа и 206 МПа. Значение температуры было постоянным и составляло 980°C. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10145-81 «Металлы. Методы испытания на длительную прочность» на электромеханической машине для испытаний на ползучесть, оснащенной трехзонной печью, а также набором оборудования, позволяющим осуществлять контроль значения нагрузки с точностью до 0,5%. По истечении 100 и 300 часов нагружения (до наступления разрушения образцов) испытания останавливались. Из образцов были изготовлены шлифы. После их предварительной обработки путем полировки и травления, произведен анализ микроструктуры шлифа с использованием растрового электронного микроскопа. На рисунке 3 и 4 представлены микроструктуры сплавов образцов.

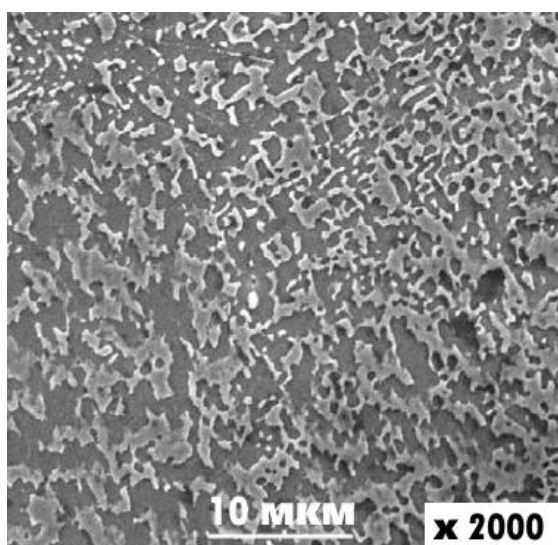


а)

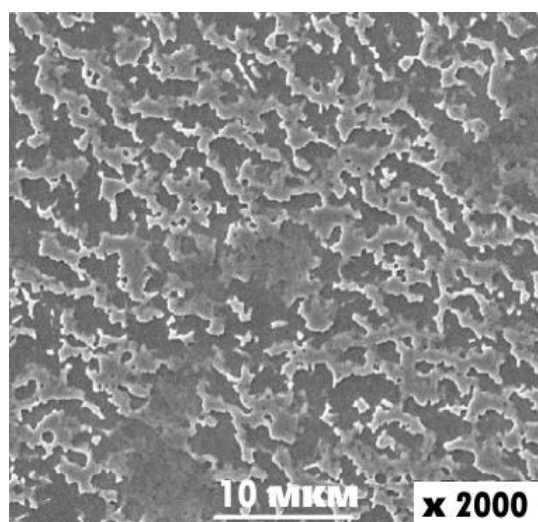


б)

Рисунок 3 – Микроструктура образцов после 100 часов испытания в результате воздействия нагрузки а) 146 МПа, б) 206 МПа



а)



б)

Рисунок 4 – Микроструктура образцов после 300 часов испытания в результате воздействия нагрузки а) 146 МПа, б) 206 МПа

Результаты

С целью проведения не только качественного, но и количественного анализа введено значение среднего размера частиц γ' - фазы, которое вычислялось на основании изображений, полученных с помощью электронного микроскопа по представленной ниже формуле:

$$d_{cp,\gamma'} = \frac{1}{n} \sum_1^n d_{\gamma'} \quad (1)$$

где $d_{cp,\gamma'}$ – средний размер частиц γ' - фазы; n – количество частиц γ' - фазы, попадающих в поле зрения, $d_{\gamma'}$ – наибольший размер ной частицы γ' - фазы.

Анализ микроструктурного состояния сплава образцов, представленных на рисунке 4, показал, что размеры частиц γ' - фазы не претерпели значительных изменений по сравнению с размерами частиц нового сплава (образец не подвергался испытаниям). Наблюдается незначительное изменение формы частиц на более округлую, тем не менее большинство частиц сохранили исходную кубическую форму. Существенных различий микроструктур сплавов, подвергнутых воздействию нагрузок равных 146 МПа и 206 МПа в течение 100 часов при температуре 980°C, не наблюдается. Размер частиц γ' - фазы колеблется в диапазоне от 0,15 до 0,78 мкм. Средний размер γ' - фазы при нагрузке 146 МПа равен 0,345 мкм, а при 206 МПа – 0,38 мкм.

Совсем иная картина микроструктурного состояния испытуемых образцов наблюдается в результате воздействия нагрузок равных 146 МПа и 206 МПа в течение 300 часов при том же значении температуры. Здесь явно наблюдается увеличение размеров частиц с одновременным их срастанием, начинает формироваться так называемая рафт-структура, при которой частицы γ' - фазы начинают вытягиваться в направлении действующей нагрузки. Кроме того, значительно изменилась и форма самих частиц: они стали более округлыми и вытянутыми. При этом средний размер частиц при 206 МПа (среднее ее значение составило 1,17 мкм) больше, чем при 146 МПа (среднее значение составило 0,86 мкм). Сводные экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментального исследования

Время испытания, час	Уровень нормальных напряжений, МПа	Средний размер частиц γ' - фазы, мкм
100	146	0,345
	206	0,380
300	146	0,860
	206	1,170

Дискуссия

Разрушения рабочих лопаток турбин могут быть вызваны рядом механизмов, возникающих вследствие работы турбины с высокими частотами

вращения при повышенной температуре окружающей среды. В общем случае отказы лопаток турбин можно разделить на три основные категории [Логунов, 2018; A physically based..., 2019]:

1. Разрушения/повреждения вследствие усталости (включающие как многоцикловую, так и малоцикловую усталость);
2. Разрушения/повреждения в результате ползучести;
3. Разрушения/повреждения, вызванные процессами окисления и высокотемпературной коррозии.

Очевидно, что при практическом применении математических методов прогнозирования остаточного ресурса лопаток турбин необходимо рассматривать все указанные причины в совокупности. Однако анализ имеющейся литературы показывает [Assessment of service ..., 2016; Failure analysis..., 2005], что до достижения поставленной цели достаточно далеко. В настоящее время идет процесс решения частных задач и накопления информации. Одной из таких задач – исследованию влияния нагруженности лопаток на их микроструктурные изменения в процессе эксплуатации и посвящена данная работа.

Лопатки турбин современных авиационных ГТД изготавливают из литых жаропрочных никелевых сплавов, что обусловлено уникальной способностью этого типа металлов выдерживать широкий спектр нагрузок, связанных с воздействием центробежных сил, знакопеременных нагрузок, сил от газового потока в условиях воздействия высоких температур [Recrystallization..., 2022]. Кроме того, жаропрочные никелевые сплавы отличаются коррозионной стойкостью и стойкостью к окислению. Высокие прочностные характеристики жаропрочных никелевых сплавов обусловлены особенностью их микроструктурного строения, основой которого является γ -матрица, сформированная на основе Ni_3Al , с включенными в нее дисперсными элементами γ' -фазы, имеющими в начальном состоянии кубическую, либо близкую к кубической форму (рис. 5) [Mechanical properties..., 2014].

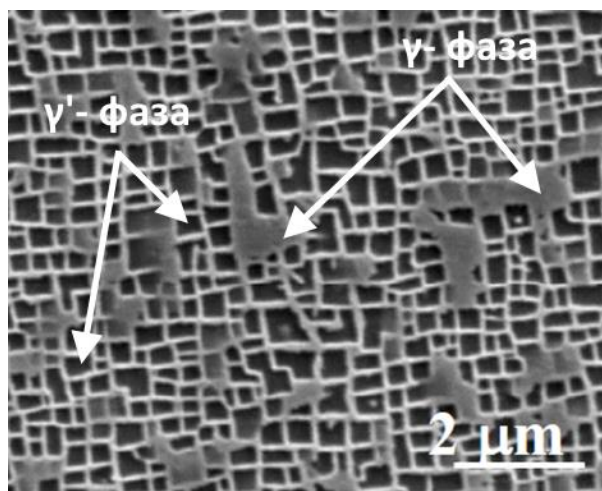


Рисунок 5 – Микроструктура жаропрочного никелевого сплава Inconel 738LC после стандартной термообработки

В результате воздействия высоких температур рабочих газов, а также различных силовых факторов, возникающих в процессе эксплуатации авиационных двигателей, микроструктура жаропрочных никелевых сплавов претерпевает значительные изменения: частицы γ' - фазы срастаются (коагулируют), увеличиваясь в размерах, изменяется их объемная доля в сплаве, а также форма – все это приводит к деградации механических свойств [Assessment of microstructure..., 2017; The effect of long-term..., 2004]. Поэтому для оценки технического состояния лопаток турбин в процессе эксплуатации весьма актуальной и важной задачей является определение того, как действующие в процессе функционирования ГТД нагрузки, а также высокие температуры рабочих газов влияют на микроструктурные изменения, происходящие в жаропрочных никелевых сплавах. Если удастся выявить соответствующие закономерности, то они могут быть положены в основу решения задачи прогнозирования остаточного ресурса лопаток в процессе эксплуатации путем анализа текущего микроструктурного состояния.

В ранее выполненном научном исследовании были проведены испытания с целью определения микроструктурных изменений элементов лопатки турбины, работавшей в условиях различного теплового воздействия при неизменном значении действующих нагрузок [Ратенко и др., 2019]. В данной же статье отражены основные результаты исследований, проводимых на образцах, работавших в условиях воздействия различных по абсолютному значению нагрузок при неизменном значении температуры.

Время до разрушения лопатки турбины при ползучести имеет степенную зависимость от действующего напряжения и реальной температуры [Effect of Microstructural..., 2023] и выражается следующим образом:

$$t_r = t_0 \sigma^{-n} e^{\left(\frac{Q}{RT}\right)} \quad (2)$$

где t_0 – константа, Q – кажущаяся энергия активации, n – показатель напряжения, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

Полагая, что температура постоянна, формула (2) расчёта времени до разрушения при ползучести примет вид:

$$t_r = A' \sigma^{-n}, \quad (3)$$

где A' – эмпирическая константа.

Представленные выше уравнения наглядно демонстрируют существование прямой зависимости времени до разрушения изделия от значения действующей нагрузки.

Здесь возникает принципиальный вопрос: реализация напряжений в конкретной лопатке конкретного двигателя в реальных условиях эксплуатации не может быть непосредственно использована при разработке моделей прогнозирования остаточного ресурса ввиду существенного влияния

значительно числа случайных факторов. Поэтому предполагается рассматривать некоторые косвенные параметры, зависящие от истории нагружения и соответственно позволяющие формировать прогноз остаточной прочности. Одной из таких характеристик может быть степень деградации микроструктурного состояния.

Известно, что действующие нагрузки приводят к изменениям микроструктурного состояния сплава и именно картина этих изменений имеет особый интерес с точки зрения оценки технического состояния лопаток турбин в процессе их эксплуатации.

Заключение

В результате проведенного экспериментального исследования подтверждено наличие корреляции между действующими нагрузками и деградацией микроструктуры жаропрочного никелевого сплава Inconel 738LC, характеризующейся увеличением среднего размера частиц основной упрочняющей γ' - фазы, с одновременным изменением первоначальной кубической формы. Кроме того, подтвержден тот факт, что значение среднего размера частиц упрочняющей γ' - фазы ($d_{\text{ср.}\gamma'}$) наиболее чувствительно к значению действующего напряжения.

Для практической реализации полученных выводов необходимо провести более масштабные исследования на ползучесть при различном значении действующих напряжений и получить устойчивые зависимости между размером частиц основной упрочняющей γ' - фазы и остаточной прочностью образцов. В этом случае по результатам выборочного (2...3 лопатки) экспериментального контроля микроструктурного состояния образцов можно будет судить об их остаточной эксплуатационной прочности.

Библиографический список

- Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2018 году // [Электронный ресурс]. 2019. – URL: https://rostransnadzor.gov.ru/storage/img/avia/analiz_po_bezopasnosti_poletov_2018.pdf?ysclid=lovu7yj94e577965939 (дата обращения: 12.11.2023).
- Логунов А. В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков турбин. М.: Московские учебники, 2018. 590 с.
- Новиков А. С. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей / А. С. Никонов, А. Г. Пайкин, Н. Н. Сиротин. М.: Наука, 2007. 469 с.
- Ратенко О. А. Влияние высокотемпературной выдержки на микроструктуру и механические свойства никелевого сплава IN738LC / О. А. Ратенко, И. А. Нагорная // Сборник тезисов докладов XLV Международной молодежной научной конференции Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2019. С. 134-135. EDN TYRLHP.
- A physically based model for correlating the microstructural degradation and residual creep lifetime of a polycrystalline Ni-based superalloy / S. Li, B. Wang, D. Shi [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. 2019. V. 783. P. 565-573.
- Assessment of microstructure and property of a service exposed turbine blade made of K417 superalloy / B. Wang, Ch. Wang, D. Shi [et al.] // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2017. V. 231. № 1. P. 012084.

Assessment of service induced degradation of microstructure and properties in turbine blades made of GH4037 alloy / J. Tong, X. Ding, M. Wang [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Vol. 657. P. 777-786.

CFM Fleet Highlites // [Электронный ресурс]. 2016. – URL: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi8ouiH8qz0AhXRmIsKHbOQCt0QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fpdf4pro.com%2Fcdn%2Fcfm-fleet-highlites-atlantic-airways-4264c4.pdf&usg=AOvVaw2-BAWT3bAe_AeEq9fhddK8 (дата обращения: 12.11.2023).

Effect of Microstructural Evolution on Creep and Rupture Behavior of Inconel 617 Alloy / S. Bagui, B. P. Sahu, B. Mahato [et al.] // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2023. V. 32. P. 1292-1309. DOI 10.1007/s11665-022-07162-z.

Failure analysis of gas turbine blade made of Inconel 738LC alloy / Z. Mazur, A. Luna-Ramírez, J. A. Juárez-Islas, A. Campos-Amezcuca // *Engineering Failure Analysis*. 2005. Vol. 12 (3). P. 474-486.

ICAO Safety Reports // [Электронный ресурс]. 2022. – URL: <https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx> (дата обращения: 12.11.2023).

Mechanical properties and development of supersolvus heat treated new nickel base superalloy AD730 TM / A. Devaux, L. Berglin, L. Thebaud [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. 2014. V. 14. P. 01004. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20141401004>.

Rath N. Investigation of Performance Degradation in a Mixed Flow Low Bypass Turbofan Engine / N. Rath, R. K. Mishra, A. J. Kushari // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2023. V. 23. P. 378–388. <https://doi.org/10.1007/s11668-023-01590-2>.

Recrystallization mechanisms and associated microstructure evolution during billet conversion of a gamma-gamma' nickel based superalloy / A. Coyne-Grell, J. Blaizot, S. Rahimi [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2022. V. 916. P. 165465. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165465>.

The effect of long-term thermal exposures on the microstructure and properties of CMSX-10 single crystal Ni-base superalloys / M. V. Acharya, G. E. Fuchs // *Material Science and Engineering*. 2004. V. A381. P. 143-153.

References

Analysis of the state of flight safety in civil aviation of the Russian Federation in 2018. Available at:

https://rostransnadzor.gov.ru/storage/img/avia/analiz_po_bezopasnosti_poletov_2018.pdf?ysclid=lovu7yj94e577965939 (accessed 12 November 2023) (in Russian)

Acharya M. V., Fuchs G. E. (2004). The effect of long-term thermal exposures on the microstructure and properties of CMSX-10 single crystal Ni-base superalloys. *Material Science and Engineering*. A381: 143-153.

Bagui S., Sahu B. P., Mahato B. [et al.]. (2023). Effect of Microstructural Evolution on Creep and Rupture Behavior of Inconel 617 Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 32: 1292-1309. DOI 10.1007/s11665-022-07162-z.

CFM Fleet Highlites. (2016). Available at: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi8ouiH8qz0AhXRmIsKHbOQCt0QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fpdf4pro.com%2Fcdn%2Fcfm-fleet-highlites-atlantic-airways-4264c4.pdf&usg=AOvVaw2-BAWT3bAe_AeEq9fhddK8 (accessed 12 November 2023).

Coyne-Grell A., Blaizot J., Rahimi S. [et al.]. (2022). Recrystallization mechanisms and associated microstructure evolution during billet conversion of a gamma-gamma' nickel based superalloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 916: 165465. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165465>.

Devaux A., Berglin L., Thebaud L. [et al.]. (2014). Mechanical properties and development of supersolvus heat treated new nickel base superalloy AD730 TM. *MATEC Web of Conferences*. 14: 01004. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20141401004>.

- ICAO Safety Reports. (2022). Available at: <https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx> (accessed 12 November 2023).
- Li S., Wang B., Shi D. [et al.]. (2009). A physically based model for correlating the microstructural degradation and residual creep lifetime of a polycrystalline Ni-based superalloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 783: 565-573.
- Logunov A. V. (2018). Heat-resistant nickel alloys for turbine blades and disks. M.: Moscow textbooks, 2018. 590 p. (in Russian)
- Mazur Z., Luna-Ramírez A., Juárez-Islas J. A., Campos-Amezcuca A. (2005). Failure analysis of gas turbine blade made of Inconel 738LC alloy. *Engineering Failure Analysis*. 12(3): 474-486.
- Novikov A. S., Paikin A. G., Sirotin N. N. (2007). Monitoring and diagnostics of the technical condition of gas turbine engines. M.: Science, 2007. 469 p. (in Russian)
- Ratenko O. A., Nagornaya I. A. (2019). The influence of high-temperature exposure on the microstructure and mechanical properties of nickel alloy IN738LC. *Collection of abstracts of the XLV International Youth Scientific Conference Moscow Aviation Institute (National Research University)*. 134-135. (in Russian)
- Rath N., Mishra R. K., Kushari A. J. (2023). Investigation of Performance Degradation in a Mixed Flow Low Bypass Turbofan Engine. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 23: 378–388. <https://doi.org/10.1007/s11668-023-01590-2>.
- Tong J., Ding X., Wang M. [et al.]. (2016). Assessment of service induced degradation of microstructure and properties in turbine blades made of GH4037 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 657: 777-786.
- Wang B., Wang Ch., Shi D. [et al.]. (2017). Assessment of microstructure and property of a service exposed turbine blade made of K417 superalloy. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 231(1): 012084.

УДК 535.8/004.89

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_61

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ОСТЕКЛЕНИЯ КАБИН САМОЛЕТОВ

Павел Владимирович Павлов,
orcid.org/0000-0001-5655-3649,
кандидат технических наук, доцент
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, д. 54а
Воронеж, 394064, Россия
pavlov.pave@yandex.ru

Даниил Игоревич Тюрнев,
orcid.org/0009-0004-9184-5267,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, д. 54а
Воронеж, 394064, Россия
33dd44dd55ddd@gmail.com

*Никита Владимирович Сухачев,
orcid.org/0009-0009-3768-5246,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, д. 54а
Воронеж, 394064, Россия
n-suhachev@mail.ru*

Аннотация. Оценка технического состояния элементов остекления кабин самолетов оперативно-тактической авиации по-прежнему остается наиболее важной задачей в обеспечении безопасности полетов. Для повышения оперативности операций по неразрушающему контролю элементов остекления с использованием метода спекл-структур оптического излучения предлагается использовать нейросетевые технологии для автоматического определения контролируемых участков на кабине самолета. Для реализации данной задачи были использованы технологии искусственного интеллекта, основанные на алгоритмах семантической сегментации, классификации и обнаружения контролируемых участков по установленным маркерам на кабине за счет применения сверточной нейросети на архитектуре YOLOv8. Применение технологий машинного зрения позволило в реальном масштабе времени осуществлять измерение величины выхода остекления из заделки при создании избыточного давления внутри кабины и тем самым сократить время на оценку технического состояния не менее чем в 10 раз. Установлена причина расхождения результатов применения метода спекл-структур оптического излучения при определении величины выхода остекления из заделки с «ленточным» методом, выработаны рекомендации для снижения погрешностей измерений.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, оптико-электронные системы, спекл, семантическая сегментация, сверточная нейросеть, YOLO, остекление.

NEURAL NETWORK SYSTEM FOR LASER DIAGNOSTICS OF AIRCRAFT CABIN GLAZING ELEMENTS

*Pavel V. Pavlov,
orcid.org/0000-0001-5655-3649,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Military Training and Research Center of the Air Force
"Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin",
54A, Starykh Bolshevikov street
Voronezh, 394064, Russia
pavlov.pave@yandex.ru*

*Daniil I. Tyurnev
orcid.org/0009-0004-9184-5267,
Military Training and Research Center of the Air Force
"Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin",
54A, Starykh Bolshevikov street
Voronezh, 394064, Russia*

*Nikita V. Sukhachev
orcid.org/0009-0009-3768-5246,
Military Training and Research Center of the Air Force
"Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin",
54A, Starykh Bolshevikov street
Voronezh, 394064, Russia
n-suhachev@mail.ru*

Abstract. Assessing the technical condition of glazing elements in the cockpits of operational-tactical aircraft still remains the most important task in ensuring flight safety. To increase the efficiency of operations for non-destructive testing of glazing elements using the speckle structure method of optical radiation, the authors propose to use neural network technologies to automatically identify controlled areas in the cockpit. Artificial intelligence technologies have been used to realise this task. They are based on algorithms of semantic segmentation, classification and detection of monitored areas according to the established markers on the cabin due to the application of convolutional neural network on YOLOv8. The application of machine vision technology have made it possible real-time measurement of the glazing exit from the termination when overpressure has been created inside the cabin. This reduces the time for technical condition assessment by at least 10 times. The use of machine vision technologies have made it possible to measure the value of the glazing outlet from the sealing in real time when creating excessive pressure inside the cabin and thereby reduce the time to assess the technical condition by at least 10 times. The authors have established the reason for the discrepancy between the results of using the speckle-structure method of optical radiation in determining the value of glazing yield from the termination and the "tape" method and developed recommendations to reduce measurement errors.

Keywords: non-destructive testing, optical-electronic systems, speckle, semantic segmentation, convolutional neural network, YOLO, glazing.

Введение

В зависимости от материалов, конструктивных особенностей, климатических факторов, в элементах остекления образуются дефекты, приводящие к снижению их прочности. Кроме этого, на техническое состояние элементов остекления оказывает влияние прочность клеевого соединения, герметика, удерживающего остекление в корпусе кабины. Существующие методы и устройства неразрушающего контроля, используемые для определения целостности клеевого соединения в заделке остекления, имеют низкую достоверность результатов измерений. В интересах решения этой проблемы на основе использования лазерных и нейросетевых технологий предлагается использовать оптико-электронную систему, которая позволяет в режиме реального времени определять величину выхода остекления из заделки и производить оценку степени опасности обнаруженного дефекта.

1. Существующие методы и устройства обнаружения внутренних дефектов в заделке остекления с корпусом кабины воздушного судна

В настоящее время для обнаружения дефектов в заделке остекления в процессе эксплуатации используется метод, основанный на измерении величины смещения бумажных индикаторов (рис. 1, а), устанавливаемых на участках ($T_1 - T_{12}$) (рис. 1, б) при создании избыточного давления внутри кабины от 0 до 0,4 кгс/см² [Степанов и др., 2023].



1 – липкая лента, 2 – бумажная полоска, 3 – каркас фонаря; $T_1 - T_{12}$ – места установки бумажных индикаторов

Рисунок 1 – Оценка технического состояния остекления «ленточным методом»

Основными недостатками данного метода являются:

- низкая чувствительность на начальном этапе создания давления, так как измерение величины смещения бумажных индикаторов осуществляется при создании давления внутри кабины от $0,2 \text{ кгс/см}^2$ до $0,4 \text{ кгс/см}^2$;
- присутствие субъективной человеческой составляющей, оказывающей воздействие на результат контроля;
- большая продолжительность диагностики, обусловленная ручным измерением величины выхода остекления из заделки по смещению 12 контрольных бумажных индикаторов на каждом этапе создания избыточного давления внутри кабины.

Для повышения достоверности результатов дефектоскопического контроля элементов остекления [Степанов и др., 2023] кабин самолетов разработаны и протестированы экспериментальные образцы аппаратно-программных комплексов (АПК) неразрушающего контроля, принцип работы которых основан на использовании методов акустической эмиссии (АЭ) [Новые способы ..., 2022; Попов, 2018] и спекл-структур оптического излучения [Оценка усталостных ..., 2019; Спекл-диагностика ..., 2021].

Применение метода акустической эмиссии позволяет выявлять нарушение прочности клеевого соединения по изменению параметров акустических сигналов при создании избыточного давления внутри кабины, но он не способен определить величину выхода остекления из заделки.



а)



б)

а) – подготовка АПК АЭ к работе; б) – размещение датчиков АЭ на кабине
Рисунок 2 – Аппаратно-программный комплекс акустико-эмиссионной диагностики

В ходе испытаний метода спекл-структур оптического излучения установлено, что значение коэффициента корреляции η (1) регистрируемых спекл-полей от участков остекления при создании избыточного давления может использоваться в качестве критерия для определения величины выхода остекления из заделки [Степанов и др., 2023]. Однако при испытаниях у разработанного АПК выявлено ряд недостатков:

- длительное время подготовки, калибровки оптико-электронной системы на кабине воздушного судна;
- операторный (ручной) способ определения места положения бумажных индикаторов на участках $T_1 - T_{12}$ кабины самолета;
- отсутствие возможности одновременного измерения величины выхода остекления из заделки на всех контролируемых участках кабины.



а)



б)

а) – подготовка АПК к работе; б) – регистрация спекл-полей от остекления кабины

Рисунок 3 – Аппаратно-программный комплекс спекл-лазерной диагностики

Таким образом, установлено, что «ленточный» метод остается более простым и удобным в эксплуатации, а АПК неразрушающего контроля, основанный на использовании метода спекл-структур оптического излучения, требует доработки [Степанов и др., 2023].

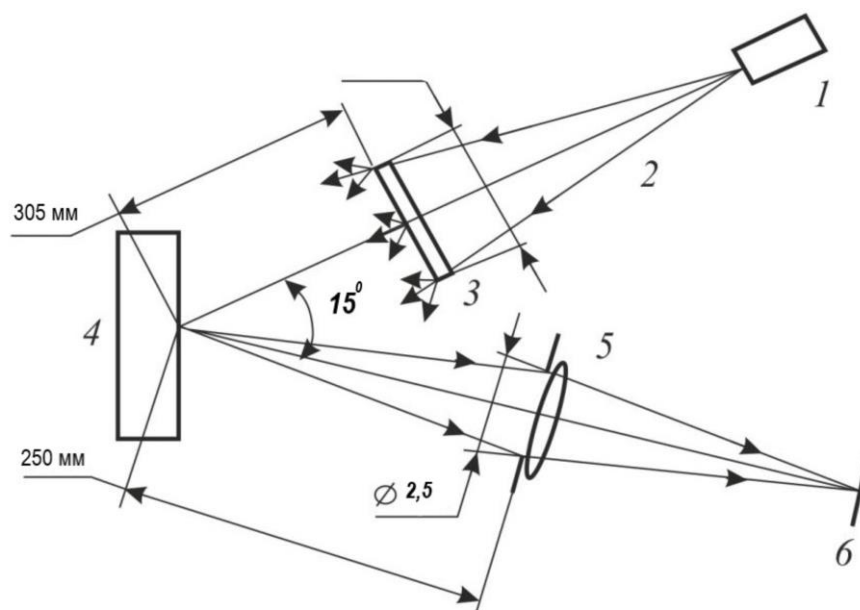
Для сокращения времени диагностики и повышения достоверности результатов измерений величины выхода остекления из заделки методом спекл-структур оптического излучения необходимо, чтобы процесс определения места положения и степени опасности обнаруженного дефекта в заделке остекления осуществлялся в реальном масштабе времени при плавном создании избыточного давления внутри кабины воздушного судна от 0 до 0,4 кгс/см² [Степанов и др., 2023].

2. Метод исследования параметров дефектов в заделке остекления кабины воздушного судна с использованием лазерных и нейросетевых технологий

Сущность исследования параметров дефектов в заделке остекления по анализу параметров регистрируемых спекл-полей от участков остекления при создании избыточного давления [Степанов и др., 2023] внутри кабины заключается в том, что на первоначальном этапе на поверхности остекления кабины, как показано на рис. 1 б, на заданных участках остекления ($T_1 - T_{12}$) (рис. 1, б) наносят контрольные маркеры, далее с помощью оптико-электронной системы (см. рис. 4) облучают остекление кабины 4 спекл-полем, сформированным за счет прохождения когерентного излучения 2 через матовое стекло 3, регистрируют прошедшее через диафрагму 5 спекл-поле на ПЗС-матрице 6 видеокамеры, повышают избыточное давление внутри кабины и повторно регистрируют спекл-изображения, производят расчет величины перемещения установленных индикаторов u_x с учетом определения величины коэффициента корреляции η :

$$\eta = \frac{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (A_{ij} - \bar{A})(B_{ij} - \bar{B})}{\left(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (A_{ij} - \bar{A})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (B_{ij} - \bar{B})^2 \right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где i, j – номера пикселей строки и столбца ПЗС-матрицы, n, m – число пикселей строки и столбца ПЗС-матрицы, A_{ij} – числовое значение интенсивности пикселя (от 0 до 256) с номерами i и j при t_1 (до создания избыточного давления внутри кабины), B_{ij} – числовое значение интенсивности этого же пикселя в момент времени t_2 (после увеличения избыточного давления внутри кабины), $\bar{A}$ – среднеарифметическая величина интенсивности элементов матрицы в момент времени t_1 , $\bar{B}$ – среднеарифметическая величина интенсивности элементов матрицы в момент времени t_2 [Степанов и др., 2023].



1 – лазер; 2 – освещающее излучение; 3 – матовый рассеиватель;
4 – остекление кабины; 5 – объектив с диафрагмой; ПЗС-матрица

Рисунок 4 – Схема записи спекл-полей от остекления кабины

Величину перемещения контрольных индикаторов определяют по формуле (2):

$$u_x = 2x_s (1 - \eta), \quad (2)$$

где x_s – размер диафрагмы видеокамеры.

Для того, чтобы оптическая система самостоятельно определяла контролируемые участки остекления с заранее установленными маркерами, предлагается использовать технологию искусственного интеллекта, позволяющую автоматизировать процесс нахождения и захвата оптической системой установленных маркеров в местах кабины на участках $T_1 - T_{12}$ кабины самолета, что позволит сократить время на обработку результатов измерений.

В настоящее время нейронные сети стали универсальным средством решения сложных задач в современных технологиях, особенно в области обработки систем технического зрения и распознавания образов [Михалев, 2022, с. 119]. Они могут быть использованы для выполнения различных задач, включая поиск и идентификацию определенных объектов на изображениях.

3. Использование искусственного интеллекта при контроле технического состояния элементов остекления кабин самолетов

Для исключения ошибок, связанных с неправильным выбором оператором контролируемых участков на кабине, обусловленных появлением на поверхности стекла бликов от внешних или внутренних осветительных

приборов, небесных светил, изменением освещенности, необходимо, чтобы в программном модуле были реализованы алгоритмы обработки изображений, позволяющие исключить влияние внешних факторов на правильный выбор оператором контролируемой области остекления, с которой будет производиться расчет выхода остекления из заделки.

Анализ научной литературы показал, что для реализации технологий искусственного интеллекта при распознавании сложных образов и структуры на изображениях широко применяются сверточные нейронные сети (СНС), что делает их идеальным выбором для конкретной задачи [Ариничев и др., 2023; Беликов, 2023; Гаврилов, 2021].

Для реализации технического зрения нами была выбрана за прототип архитектура нейронной сети YOLOv8 [Terven и др., 2023]. Выбор этой архитектуры был сделан по нескольким причинам:

1. Скорость: YOLOv8 известна своей скоростью обработки, что может быть полезно для приложений в реальном времени на слабых вычислительных мощностях.

2. Высокая точность обнаружения объектов: YOLOv8 может обнаруживать и классифицировать различные объекты на изображении в различных условиях и в различном качестве.

3. Распространенность: YOLO является одной из самых известных моделей для обнаружения объектов, и она широко используется во многих приложениях, что позволяет создать высокий потенциал для модернизации и совершенствования [Половинкин и др., 2023; Преснецов и др., 2023; Прокопенко, 2023; Филичкин и др., 2023].

Обучение нейросети осуществлялось по 20000 различным изображениям контрольных меток, нанесенных вручную меловым маркером на поверхности остекления кабины самолета под различным ракурсом, с разной мощностью облучения лазера и различной внешней фоновой обстановкой (рис. 5). Данные изображения были использованы как обучающая выборка данных.

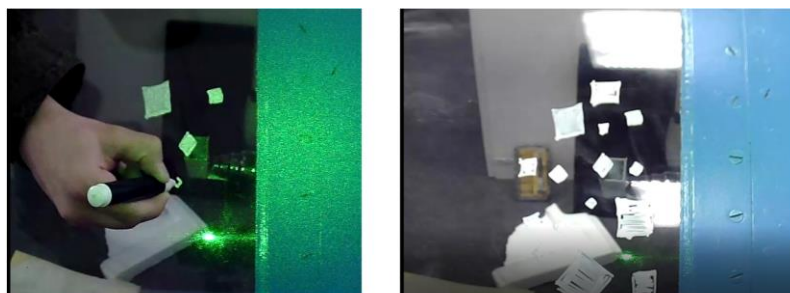


Рисунок 5 – Изображения контрольных меток для обучения нейросети

Для решения этой задачи был реализован процесс семантической сегментации. Семантическая сегментация – это процесс деления изображения на сегменты, где каждый сегмент представляет собой набор пикселей, принадлежащих одному и тому же классу объектов. В нашем случае

на изображении с видеокамеры семантическая сегментация может разделить изображение на области, такие как «маркер», «блик», «надпись» и «обшивка».

После обучения нейронная сеть стала способна автоматически распознавать контрольные маркеры на поверхности остекления кабины с учетом внешних помех и особенностей ракурса съемки, как показано на рис. 6.



Рисунок 6 – Принцип обработки изображений контрольных маркеров на поверхности остекления нейросетью

Для разработки был использован фреймворк PyTorch в среде разработки Visual Studio Code. PyTorch – это библиотека машинного обучения, которая предоставляет высокоуровневый интерфейс для создания и обучения нейросетей. Visual Studio Code – это легковесная и мощная среда разработки, которая поддерживает множество языков программирования, включая Python.

Использование PyTorch в Visual Studio Code для разработки нейросети было полезным, так как это позволило реализовать возможности автодополнения кода, отладки, интеграции с системами контроля версий и многое другое.

После того как нейронная сеть была обучена, она может быть использована для анализа новых изображений на остеклении самолета. Сеть позволяет сканировать изображения и искать области, которые соответствуют обученным образам квадратных белых маркеров, как показано на рис. 7.

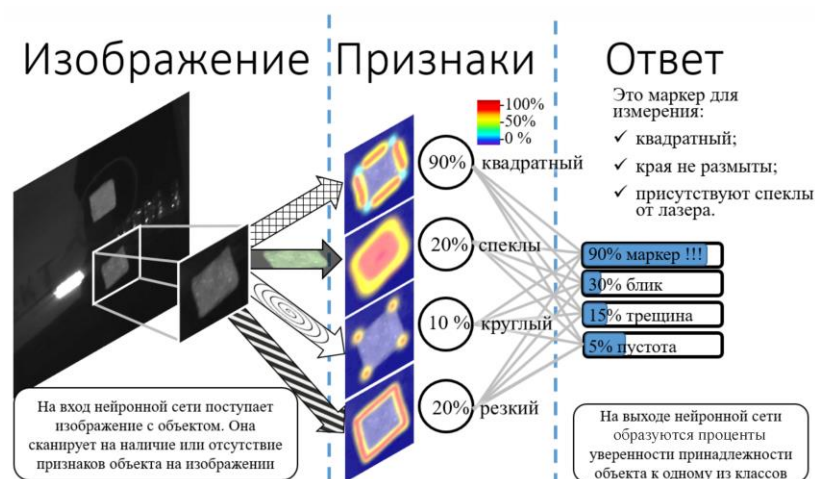
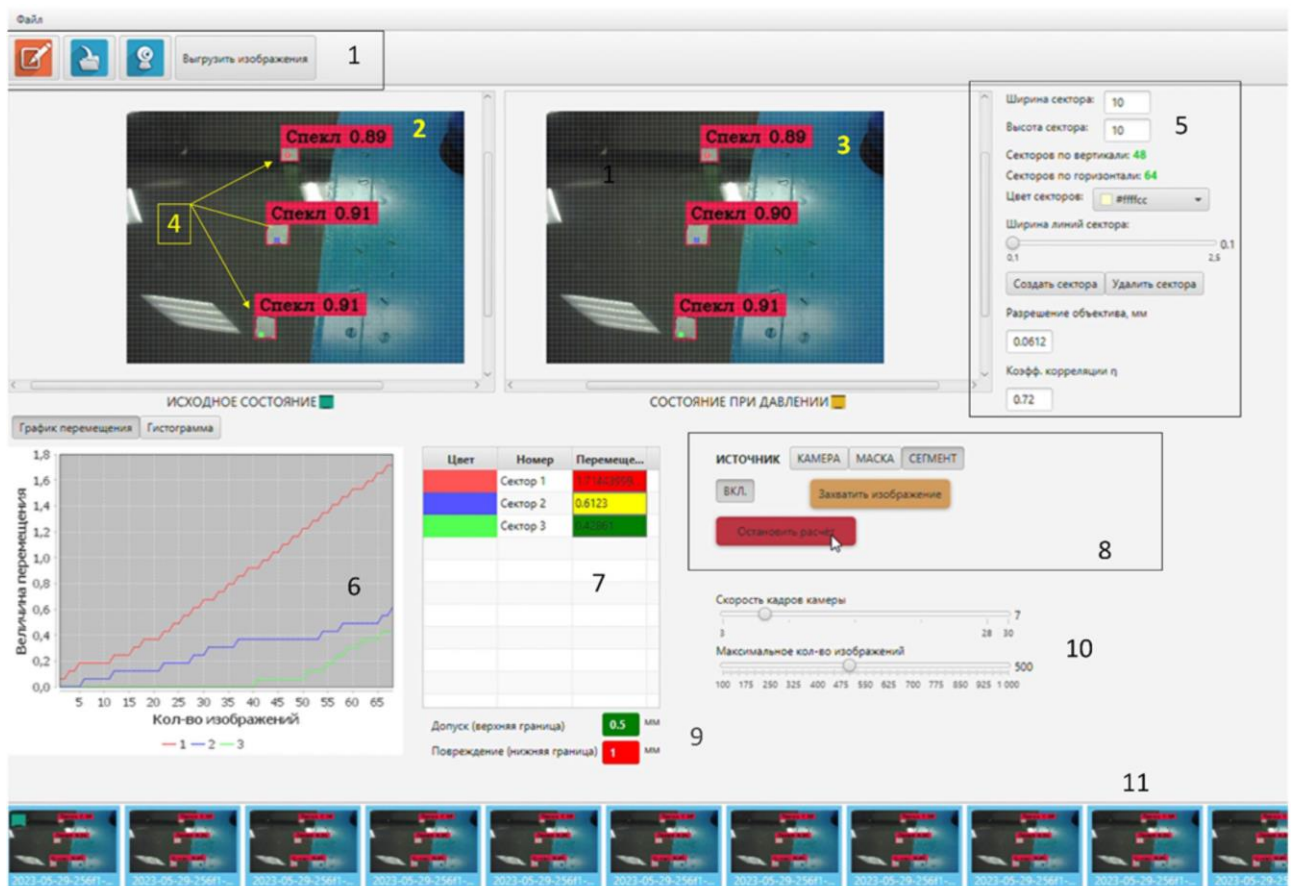


Рисунок 7 – Процесс распознавания контрольных квадратных маркеров

Использование нейронных сетей для автоматического поиска места положения установленных маркеров на остеклении кабины самолета – это эффективный способ дистанционного определения контролируемых участков остекления для оценки степени опасности и расположения обнаруженного дефекта в заделке. Правильно обученная и реализованная нейросеть значительно упрощает и ускоряет процесс оценки технического состояния элементов остекления кабин самолетов с использованием метода спекл-структур оптического излучения [Степанов и др., 2023].

На рис. 8 изображен интерфейс программного модуля спекл-лазерного контроля, который позволяет оператору автоматически в режиме реального времени определять области контролируемых участков остекления, настраивать и устанавливать параметры оптической системы, управлять и следить за процессом определения величины выхода остекления из заделки при создании избыточного давления внутри кабины.



1 – панель управления; 2 – окно загрузки исходного изображения; 3 – окно загрузки повторного изображения; 4 – сектора контрольных маркеров, установленных на остеклении кабины; 5 – поле установки параметров спекл-полей; 6 – график изменения величины перемещения маркера при создании избыточного давления; 7 – таблица с результатами измерения величины выхода остекления из заделки; 8 – панель управления режимами работы системы; 9 – предельные значения величины выходов остекления; 10 – панель управления режимов работы видекамеры; 11 – поле зарегистрированных спекл-полей от участков остекления

Рисунок 8 – Интерфейс программного модуля обработки спекл-полей

4. Результаты натурных испытаний нейросетевой системы лазерной диагностики элементов остекления кабин самолетов

Тестирование разработанного программного модуля проводилось на ноутбуке MSI Stealth 15M (A11Sek-206XRU) со следующими характеристиками:

- процессор Intel Core i7-118G7 3ГГц;
- оперативная память DDR4, объем 16 ГБ;
- видеокарта GeForce RTX 2060, тип памяти GDDR6, объем 6 ГБ.

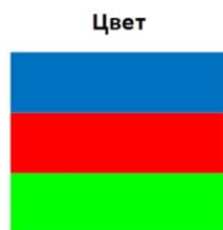
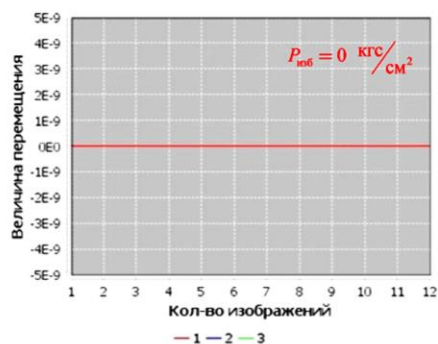
Алгоритм испытаний программного модуля [Свидетельство..., 2023] проходил по аналогии с методикой определения величины выходов остекления из заделки согласно регламенту технического обслуживания самолета Т-10В, кн. 4/8, ТК № 13 «ленточным методом». Для проведения испытаний из состава авиапарка полка согласно данным «Журнала учета контроля технического состояния элементов остекления кабин самолетов»

было выбрано воздушное судно, у которого было зафиксировано значение выхода остекления из заделки больше 1 мм. Поэтому в качестве контрольных участков остекления были выбраны участки остекления кабины самолета с величиной выхода остекления 0 мм, 0,5 мм и 1,2 мм. С помощью мелового маркера на данных участках кабины были нанесены контрольные маркеры, как показано на рис. 9 а. Далее на кабину была установлена оптико-электронная система комплекса таким образом, чтобы все контрольные маркеры попадали в поле зрения объектива видеокамеры. В процессе юстировки оптической системы установлена диафрагма объектива из расчета, чтобы средний размер спекла на изображении был чуть больше размера пикселя ПЗС-матрицы 8,3 мкм. Далее контролируемая область остекления облучалась спекл-полем, при наличии всех необходимых признаков (см. рис. 7) для контрольных маркеров с требуемой вероятностью программный модуль производит захват контролируемых участков (см. рис. 9 а) с последующей фильтрацией и выделением для анализа только области контролируемых участков остекления (см. рис. 9 б).



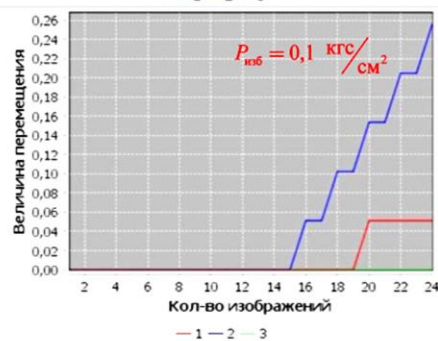
Рисунок 9 – Нейросетевая обработка установленных маркеров на остеклении кабины самолета

Далее оператором на трех контролируемых участках остекления выбирался любой сектор, находящийся на поверхности захваченного маркера, при этом каждый сектор соответствует определенному цвету: 1-ый – «зеленый», 2-ой – «красный» и 3-ий – «синий» (см. рис. 9 б).



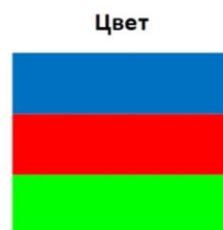
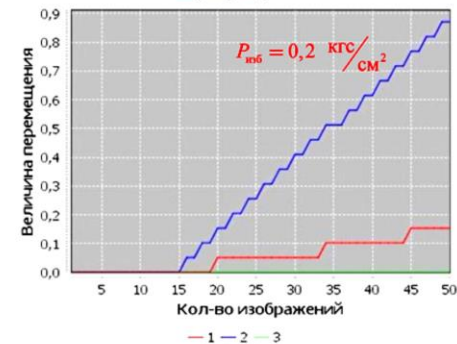
Номер
Сектор 3
Сектор 2
Сектор 1

Перемещение
0.0
0.0
0.0



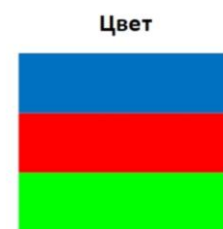
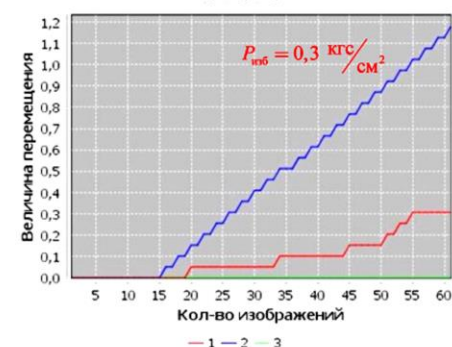
Номер
Сектор 3
Сектор 2
Сектор 1

Перемещение
0.25615
0.05123
0.00128



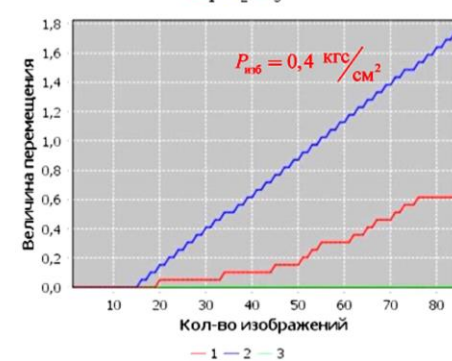
Номер
Сектор 3
Сектор 2
Сектор 1

Перемещение
0.87091
0.15369
0.02671



Номер
Сектор 3
Сектор 2
Сектор 1

Перемещение
1.17826
0.30737
0.02951



Номер
Сектор 3
Сектор 2
Сектор 1

Перемещение
1.50139
0.61476
0.04823

а)

б)

Рисунок 10 – Результаты измерений величины выхода остекления из заделки в графическом – а) и численном виде – б)

По команде оператора одновременно с повышением избыточного давления внутри кабины до $0,4 \text{ кгс/см}^2$ происходит регистрация спекл-полей и расчет величины выхода остекления из заделки. При этом одновременно на секторе 6 и панели 7 отображается информация о расчете величины выхода остекления на трех контролируемых участках как в графическом, так и в числовом значении (см. рис. 10), кроме этого, поле, в котором отображается числовое значение величины выхода остекления из заделки, подкрашивается соответствующим цветом: «зеленый» – норма; «желтый» – опасно; «красный» – критически опасно (недопустимо). Верификация результатов испытаний разработанного программного модуля с результатами, полученными в ходе оценки технического состояния кабины «ленточным» методом, показало, что погрешность полученных результатов на 20% больше, чем у «ленточного».

Эти расхождения связаны со вкладом в изменение регистрируемого спекл-поля эффектов поворота стекла за счет изменения давления в кабине самолета [Степанов и др., 2023].

Для того, чтобы рассчитать перемещение стекла в трех проекциях, необходимо доработать структуру оптической системы путем изменения угла регистрации отраженного спекл-поля, что будет учтено при выполнении дальнейших исследований.

Заключение

Таким образом, в ходе испытания разработанной нейросетевой системы лазерной диагностики установлено, что реализация алгоритмов семантической сегментации и распознавания установленных контрольных маркеров на участках $T_1 - T_{12}$ позволяет автоматизировать процесс определения величины выходов остекления из заделки по анализу параметров регистрируемых спекл-полей [Степанов и др., 2023] в ходе увеличения избыточного давления внутри кабины. Применение сверточной нейросетевой системы диагностики на архитектуре YOLOv8 позволит сократить время на проведение операций по оценке технического состояния элементов остекления кабины самолетов не менее чем в 10 раз за счет одновременного измерения величины выхода остекления из заделки на участках $T_1 - T_{12}$ (рис. 1 б).

В перспективе доработанный программно-аппаратный комплекс может использоваться в ходе:

- оперативного контроля технического состояния элементов остекления кабин самолетов при расследовании серьезных авиационных происшествий и инцидентов;
- оценки качества выполненных работ после замены элементов остекления кабины самолетов представителями предприятия-изготовителя на базовых аэродромах;
- при проведении операций по дефектоскопическому контролю элементов остекления кабин самолетов на авиационных заводах и авиаремонтных предприятиях.

Библиографический список

- Ариничев И. В. Семантическая сегментация ржавчин и пятнистостей пшеницы / И. В. Ариничев, С. В. Полянских, И. В. Ариничева // Компьютерная оптика. 2023. Том 47. № 1. С. 118-125. DOI 10.18287/2412-6179-CO-1130.
- Беликов А. А. EFFICIENTUDET – новая архитектура для семантической сегментации изображения / Наукосфера. 2023. № 4(2). С. 191-198. EDN CSTXOL.
- Гаврилов Д. А. Исследование применимости сверточной нейронной сети U-Net к задаче сегментации изображений авиационной техники // Компьютерная оптика. 2021. Том 45. № 4. С. 575-579. DOI 10.18287/2412-6179-CO-804.
- Михалев О. Н. Машинное зрение и распознавание объектов с помощью нейронных сетей // О. Н. Михалев, А. С. Янющкин // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. Т. 10. № 2. С. 113-120. DOI 10.31776/RTCJ.10204.
- Новые способы акустической диагностики воздушных судов / А. В. Попов [и др.] // Инженер и промышленник сегодня. 2022. № 3(57). С. 48-53.
- Оценка усталостных повреждений в органическом стекле оптическими методами / А. П. Владимиров, И. С. Каманцев, Н. А. Друкаренко [и др.] / Оптика и спектроскопия. 2019. № 5. С. 870-880. DOI 10.21883/OS.2019.11.48530.165-19.
- Половинкин А. Е. Управляющая система порогового распознавания объектов с применением искусственного интеллекта на основе нейронной сети YOLO / А. Е. Половинкин, В. В. Белозерских // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2023. Т. 7. № 1. С. 97-105. EDN LCSZRK.
- Попов А. В. Система оценки прочности конструкций авиационной и ракетно-космической техники на основе метода акустической эмиссии / А. В. Попов, Д. Н. Тесля, А. Б. Комлев // Контроль. Диагностика. 2018. № 8. С. 34-39. DOI 10.14489/td.2018.08. pp.034-039.
- Преснецов А. М. Разработка программно-аппаратного комплекса для мониторинга производственной деятельности с использованием нейросети YOLOv8 / А. М. Преснецов, А. П. Тюрин // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21. № 2. С. 140-151. DOI 10.22213/2410-9304-2023-2-140-151.
- Прокопенко В. В. Применения нейросетевой модели YOLO в рамках задачи детектирования эмоций // Наукосфера. 2023. № 5-2. С. 305-311. EDN JCRBWE.
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617647 Российская Федерация. Программный модуль определения величины перемещения диффузных объектов по анализу параметров цифровой спекл-фотографии: № 2023616464: заявл. 04.04.2023; опубл. 12.04.2023 / П. В. Павлов, И. С. Лагошный, А. П. Владимиров [и др.]. EDN UBNZVD.
- Спекл-диагностика элементов остекления кабин воздушных судов из органического стекла / А. П. Владимиров, И. С. Каманцев, Н. А. Друкаренко [и др.] // Авиационная промышленность. 2021. №3-4. С. 97-103. EDN BIRSXH.
- Степанов А. Р. Аппаратно-программный комплекс спекл-лазерной диагностики элементов остекления кабин самолетов / А. Р. Степанов, П. В. Павлов, А. П. Владимиров // Труды МАИ. 2023. № 129 // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://trudymai.ru/upload/iblock/23a/ee6elfeedmlwnbvz9rfxl6h92e7dpg3/23_Stepanov_Pavlov_Vladimirov.pdf?lang=ru&issue=129. DOI 10.34759/trd-2023-129-23 (дата обращения: 27.11.2023).
- Филичкин С. А. Сравнение эффективности алгоритмов YOLOv5 и YOLOv8 для обнаружения средств индивидуальной защиты человека / С. А. Филичкин, С. В. Вологдин // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21. № 3. С. 124-131. DOI 10.22213/2410-9304-2023-3-124-131.
- Terven J. R. A comprehensive review of yolo: from yolov1 to YOLOv8 and beyond. [официальный репозиторий YOLOv8] / J. R. Terven, D. M. Cordova-Esparaza // Under review in ACM Computing Surveys. April 4, 2023 // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://arxiv.org/pdf/2304.00501v1.pdf> (дата обращения: 27 ноября 2023).

References

- Arinichev I. V., Polyanskikh S. V., Arinicheva I. V. (2023). Semantic segmentation of rusts and spots of wheat *Computer Optics*. 47(1): 118-125. (in Russian)
- Belikov A. A. (2023). EFFICIENTUDET - a new architecture for semantic image segmentation. *Scienceosphere*. 4(2): 191-198. (in Russian)
- Filichkin S. A., Vologdin S. V. (2023). Comparison of the effectiveness of the YOLOv5 and YOLOv8 algorithms for detecting personal protective equipment. *Intelligent systems in production*. 21(3): 124-131. (in Russian)
- Gavrilov D. A. (2021). Study of the applicability of the U-Net convolutional neural network to the problem of segmentation of images of aviation equipment. *Computer Optics*. 45(4): 575-579. (in Russian)
- Mikhalev O. N., Yanyushkin A. S. (2022). Machine vision and object recognition using neural networks. *Robotics and technical cybernetics*. 10(2): 113-120. (in Russian)
- Pavlov P. V., Lagoshny I. S., Vladimirov A. P., Tyurnev D. I., Evsin A. O., Onoshko A. M. Software module for determining the amount of movement of diffuse objects by analyzing the parameters of digital speckle photography. *Certificate of registration of the computer program RU 2023617647*, 04.12.2023. Application № 2023616464 dated 04.04.2023. (in Russian)
- Polovinkin A. E., Belozerskikh V. V. (2023). Control system for threshold object recognition using artificial intelligence based on the YOLO neural network. *High-performance computing systems and technologies*. 7(1): 97-105. (in Russian)
- Popov A. V., Teslya D. N., Komlev A. B. (2018). System for assessing the strength of structures of aviation and rocket and space technology based on the acoustic emission method. *Control. Diagnostics*. (8): 34-39. (in Russian)
- Popov A. V., Voloshina V. Yu., Zhuravsky K. A., Labina M. A. (2022). New methods of acoustic diagnostics of aircraft. *Engineer and industrialist today*. 3 (57): 48-53. (in Russian)
- Presnetsov A. M., Tyurin A. P. (2023). Development of a software and hardware complex for monitoring production activities using the YOLOv8 neural network. *Intelligent systems in production*. (21)2: 140-151. (in Russian)
- Prokopenko V. V. (2023). Applications of the YOLO neural network model within the framework of the emotion detection task. *Naukosfera*. 5-2: 305-311. (in Russian)
- Stepanov A. R., Pavlov P. V., Vladimirov A. P. (2023). Hardware-software complex for speckle-laser diagnostics of aircraft cabin glazing elements. *Proceedings of MAI*. (129). Available at: https://trudymai.ru/upload/iblock/23a/ee6elfeedmlwwnbvz9rfxl6h92e7dpg3/23_Stepanov_Pavlov_Vladimirov.pdf?lang=ru&issue=129 (accessed 27 November 2023). (in Russian)
- Terven J. R., Cordova-Esparaza D. M. (2023). A comprehensive review of yolo: from yolov1 to YOLOv8 and beyond. официальный репозиторий YOLOv8. *Under review in ACM Computing Surveys* (2023). Available at: <https://arxiv.org/pdf/2304.00501v1.pdf> (accessed 27 November 2023).
- Vladimirov A. P., Drukarenko N. A., Kamantsev I. S., Pavlov P. V., Evsin A. O. (2021). Speckle diagnostics of glazing elements of aircraft cabins made of organic glass. *Aviation industry*. (3-4): 97-103. (in Russian)
- Vladimirov A. P., Kamantsev I. S., Drukarenko N. A., Trishin N. V., Akashen L. A., Druzhinin A. V. (2019). Assessment of fatigue damage in organic glass by optical methods. *Optics and spectroscopy*. (5): 870-880. (in Russian)

АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ, ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 351.814.331

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_77

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И РАЗРЕШЕНИЯ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЧЕТЫРЕХМЕРНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА

*Нгуен Тхи Линь Фьонг^{1,2},
orcid.org/0000-0001-8932-6821,*

¹аспирант

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

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

²преподаватель-исследователь

²Вьетнамская Авиационная Академия,

104 ул. Нгуен Ван Чой, квартал 8, район Фу Нюан

Хошимин, Вьетнам

phuongntlp@vaa.edu.vn

Евгений Сергеевич Неретин,

orcid.org/0000-0003-0174-8929,

кандидат технических наук, доцент

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет),

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

neretines@mai.ru

Нгуен Ныы Ман,

orcid.org/0000-0003-4176-101X

кандидат технических наук,

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет),

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

nguenntm@mai.ru

Аннотация. Обнаружение и разрешение конфликтов являются одной из ключевых задач в обеспечении безопасности и эффективности эксплуатации воздушного транспорта. В операциях на основе траекторий (от англ. ТВО – Trajectory based operation) воздушным судам (ВС) предоставляется большая гибкость в планировании траекторий на маршруте и большая ответственность за самоэшелонирование друг от друга, при котором пилоту потребуется помощь для безопасного и эффективного выполнения задачи децентрализованного разрешения конфликтов в полете по маршруту. В настоящей работе

разрабатывается методика идентификации и разрешения конфликтных ситуаций в крейсерском режиме полета на основе четырехмерных узлов сетки (4D-сетка) и алгоритма поиска кратчайшего пути A-star (далее – A*) для формирования оптимальной четырехмерной траектории (4D-траектория) обхода. Данный новый подход помогает избегать ложных предупреждений о потенциальных конфликтных ситуациях (ПКС) в воздухе из-за возможности своевременного их обнаружения и точного определения расстояния от рассматриваемого ВС до зон опасного сближения (ОС) с запретными для полетов зонами, зонами ограничения полетов, зонами сложных метеоусловий (СМУ) и другими ВС, что и позволяет автономно сформировать временно-пространственную траекторию их обхода. Для демонстрации эффективности предлагаемой методики идентификации и разрешения конфликтов при оперативном планировании 4D-траектории полета с использованием 4D-сетки и алгоритма поиска кратчайшего пути A-star (далее – A*) по заданным критериям оптимизации проведем три эксперимента в различных условиях воздушного пространства (при наличии зон опасного сближения и без них). Результаты проведенных экспериментов доказывают, что потенциальные опасные сближения ВС в полете эффективно идентифицированы и разрешены при применении предлагаемой методики.

Ключевые слова: обнаружение и разрешение конфликтов, самоэшелонирование, четырехмерная траектория, 4D-сетка, алгоритм A*.

DEVELOPMENT OF A CONFLICT DETECTION AND RESOLUTION METHODOLOGY USED IN THE OPERATIONAL FLIGHT 4D- TRAJECTORY PLANNING

*Nguyen Thi Linh Phuong^{1,2},
orcid.org/0000-0001-8932-6821,*

¹Ph. D. Student

*¹Moscow Aviation Institute (National Research University),
4, Volokolamskoe shosse
Moscow, 125993, Russia*

²teacher-researcher

*²Vietnam Aviation Institute,
104 Nguyen Van Troi, Ward 8, Phu Nhuan District
Ho Chi Minh City, Vietnam
phuongntlp@vaa.edu.vn*

*Evgeny S. Neretin,
orcid.org/0000-0003-0174-8929,*

*Candidate of Technical Sciences, Associated Professor
Moscow Aviation Institute (National Research University),
4, Volokolamskoe shosse
Moscow, 125993, Russia
neretines@mai.ru*

*Nguyen Nhu Man,
orcid.org/0000-0003-4176-101X,
Candidate of Technical Sciences*

*Moscow Aviation Institute (National Research University),
4, Volokolamskoe shosse
Moscow, 125993, Russia
nguennm@mai.ru*

Abstract. Conflict detection and resolution is one of the key tasks in ensuring the safety and efficiency of air transport. In Trajectory Based Operation (TBO), aircraft are given greater flexibility in planning trajectories along the route and greater responsibility for self-separation from each other, so the pilot will need assistance to safely and efficiently perform the task of decentralized conflict resolution during the en-route flight. In this work, we develop a method for identifying and resolving conflict situations in cruising phase based on four-dimensional grid nodes (4D-grid) and the A-star shortest path search algorithm (A* for short) to form an optimal four-dimensional trajectory (4D-trajectory) bypass all airspace obstacles. This new approach helps to avoid false warnings about potential conflicts due to the ability to early detect them and accurately determine the distance from aircraft to areas of dangerous proximity (prohibited zones (PZ), zones of bad weather, other aircraft) and then autonomously form a time-spatial trajectory to bypass them. In order to demonstrate the effectiveness of the proposed method, we conduct three experiments in different airspace conditions (with and without the areas of dangerous proximity). The results of the experiments prove that potential dangerous proximities of aircraft in flight are effectively identified and resolved using the proposed methodology.

Keywords: Conflict detection and resolution, self-separation, 4D trajectory, 4D-grid, algorithm A*.

Введение

В современном воздушном пространстве значительно растущий объем движения вызывает серьезные проблемы с ограничениями пропускной способности и безопасности авиационных перевозок. Одной из наиболее инновационных и многообещающих парадигм в организации воздушного движения (ОрВД) является передача ответственности за соблюдение эшелонирования с опасными материальными объектами в воздушном пространстве (ВП) от секторных авиадиспетчеров летному экипажу. Такая полная передача ответственности за эшелонирование называется самоэшелонированием в воздухе или свободным полетом. Рассматриваемая усовершенствованная концепция полетов с самоэшелонированием относится к типу операций, основанных на траекториях, в том смысле, что каждое ВС управляет бесконфликтной 4D-траекторией и сообщает об этом другим ВС. Однако, поскольку в таком случае задача эшелонирования передается от авиадиспетчера к экипажу, то ожидается, что пилоту потребуется помощь для безопасного и эффективного выполнения задачи идентификации и децентрализованного разрешения конфликтов при оперативном планировании 4D-траектории полета по маршруту.

Существуют различные подходы к решению задачи идентификации и децентрализованного разрешения конфликтов, включающие вероятностные оценки различных факторов полета [Hernández-Romero et al., 2019; Short-term conflict..., 2017; Wanke et al., 2007], использование фильтров Калмана [Gong et al., 2013], методы, основанные на сетках [Петров, 2014; A 4D grid-based approach..., 2019; Jardin, 2005] и др., для обнаружения конфликтов и ряд методов для разрешения конфликтов: полуопределенного программирования, смешанно-целочисленного нелинейного программирования, нейронных сетей, генетические методы, геометрические методы, методы потенциальных полей и др. [Дегтярев и др., 2010; Исаев и др., 2009; Кумков и др., 2013; Alonso-Ayuso et al., 2016; Architecture..., 1996; Bilimoria, 2000; Comparison..., 2000; Eby, 1994; Henk A. P. Blom et al., 2015; Hoekstra et al., 1998; Kuchar et al., 2000;

Mondoloni et al., 2001; Nogami et al., 1998; Resolution.... 2001; Wallace et al., 2000; Zeghal, 1998].

Среди вышеперечисленных подходов метод, основанный на узлах сетки, применен в работе [Петров, 2014] и показал высокую эффективность в решении задачи децентрализованного разрешения недопустимых сближений между ВС с другими опасными областями как стационарными, так и перемещающимися. Однако в работе лишь рассмотрено движение ВС с постоянной скоростью по двумерной сетке в горизонтальной плоскости на постоянном эшелоне полета. А по предложенному подходу в работах [A 4D grid-based approach..., 2019; Jardin, 2005] все точки в каждой ячейке сетки рассматриваются как одна – центральная точка этой ячейки, что приводит к двум ситуациям: ложному предупреждению о недопустимом сближении ВС с опасными объектами в пределах одной ячейки, но фактическое расстояние между ними не нарушает правила эшелонирования; невыявлению потенциальной конфликтной ситуации, когда ВС пролетает близко к конфликтной ячейке на расстоянии менее указанных норм эшелонирования, а не заходя в нее.

В настоящей работе предлагается методика идентификации и разрешения конфликтных ситуаций в крейсерском режиме полета на основе узлов четырехмерной сетки и алгоритма поиска кратчайшего пути A-star (далее – A*). Применение данного нового подхода позволяет избежать ложные предупреждения о потенциальных конфликтах путем обеспечения своевременного их обнаружения и точного расчета расстояния от рассматриваемого ВС до зон ОС, что и позволяет автономно сформировать временно-пространственную траекторию их обхода с минимальным отклонением от запланированной 4D-траектории (ЗТ).

Постановка задачи

Под потенциальной конфликтной ситуацией в полете ВС понимается недопустимое его сближение с запрещенными зонами – ЗЗ (зоны, запретные для полетов и зоны СМУ) и с другими ВС (встречный курс, попутное сокращение дистанции, пересечение траекторий).

Постановка задачи предлагаемой методики идентификации и децентрализованного разрешения конфликтных ситуаций для ВС на крейсерском участке полета формулируется следующим образом: необходимо выработать идентификации об опасных сближениях ВС с другими ВС, с запрещенными зонами ВП и сформировать оптимальную 4D-траекторию обхода по узлам сетки пространства (рис. 1) с минимальным отклонением от запланированной траектории.

В качестве примерной задачи предполагается, что ВС и зоны СМУ перемещаются в трехмерной координатной сетке размером 2222 на 2222 на 22 точки, покрывающей пространство между параллелями 10° и 25° северной широты, меридианами 100° и 120° восточной долготы и эшелонами полета от FL180 до FL400. Информация о воздушном движении и метеорологическая информация могут быть получены от других ВС, радиолокационных станций,

средств автоматического зависимого наблюдения (АЗН), бортового метеолокатора и т.д.

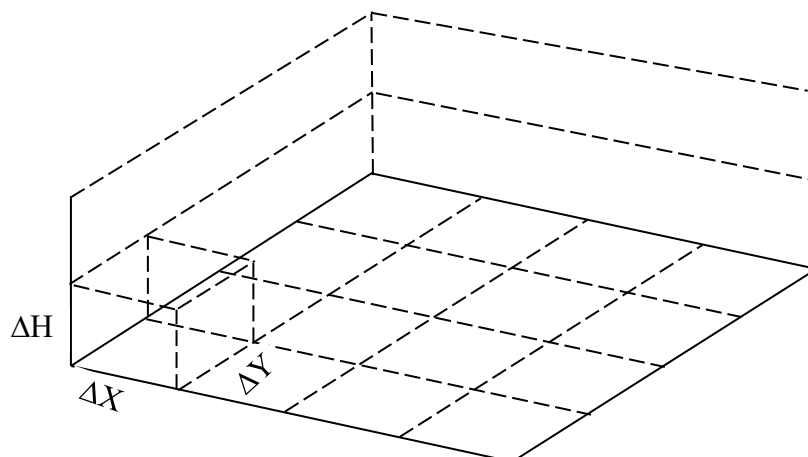


Рисунок 1 – Фрагмент координатной сетки с шагами разделения

Определение правила декомпозиции пространства является важной частью всей рассматриваемой задачи, необходимо определить шаги сетки по горизонтали и вертикали. Правильность определения шага сетки напрямую влияет на качество и корректность формирования оптимальной 4D-траектории обхода.

В качестве требований по точности в рассматриваемом вопросе следует учитывать нормы эшелонирования и также необходимо принимать во внимание летно-технические характеристики ВС и его динамические особенности при определении шага сетки.

По рекомендации ИКАО [ICAO..., 2016; ICAO..., 2012] в воздушном пространстве устанавливаются минимальные интервалы вертикального эшелонирования – 300 м (1000 футов) между ВС до эшелона полета FL290 и между ВС с применением сокращенных интервалов вертикального эшелонирования (RVSM) от эшелона полета FL290 до эшелона полета FL410. Минимум горизонтального эшелонирования при использовании системы наблюдения обслуживания воздушного движения (радар, АЗН-В или MLAT), предписанный документом ИКАО Doc. 4444, составляет 5 морских миль на крейсерском участке полета.

В соответствии с летно-техническими характеристиками ВС и его динамическими особенностями при выполнении маневрирования в вертикальной плоскости устанавливается допустимый угол наклона траектории на крейсерском участке полета для ВС гражданской авиации не более 8° . При движении ВС по узлам предлагаемой сетки пространства, в которой каждая ячейка имеет размеры $\Delta X = \Delta Y = 5$ морских миль и $\Delta H = 1000$ футов, угол наклона траектории равен 0 или θ_{max} в случае отключения перпендикулярного движения ВС (т.е. запрещается движение ВС к узлу над и под текущим узлом).

$$\theta_{max} = \arctan\left(\frac{1000 \text{ ft}}{\sqrt{(5NM)^2 + (5NM)^2}}\right) = 2.665^\circ < \theta_{don} = 8^\circ \quad (1)$$

Таким образом, для решения рассматриваемой задачи достаточно выбрать шаги сетки, равные $\Delta H = 1000$ футов по вертикали и $\Delta X = \Delta Y = 5$ морских миль по горизонтали плоскости, которые удовлетворяют требованиям по точности результатов траекторных вычислений и безопасности выполнения полетов.

Методика идентификации и разрешения опасных сближений

Для решения поставленной задачи по предлагаемой методике необходимо решить следующие подзадачи:

- преобразовать координаты между геодезической и прямоугольной системами координат;
- интегрировать прогнозируемые координаты запретных зон, зон СМУ и ВС-нарушителей в 4D-сетку;
- идентифицировать запретные узлы в 4D-сетку;
- вписывать найденные запретные узлы в список CLOSELIST нерассмотренных узлов сетки;
- сформировать оптимальную 4D-траекторию обхода с помощью алгоритма A^* .

Формулы преобразования между геодезической и прямоугольной системами координат [ICAO..., 2002]

Для целей аэронавигации в гражданской авиации введена система координат WGS-84 с точностью публикации, соответствующей положениям Приложений 4 и 15 ИКАО.

Преобразование из геодезической системы координат в прямоугольную:

$$\begin{aligned}
 (\varphi, \lambda, h)_{WGS84} &\rightarrow (X, Y, Z)_{WGS84} \\
 \begin{cases} X_i = [N(\varphi_i) + h_i] \cdot \cos \varphi_i \cdot \cos \lambda_i \\ Y_i = [N(\varphi_i) + h_i] \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \lambda_i \\ Z_i = [(1 - e^2)N(\varphi_i) + h_i] \cdot \sin \varphi_i \end{cases} & \quad (2)
 \end{aligned}$$

где, φ_i – широта ($^\circ$); λ_i – долгота ($^\circ$); h_i – высота (м)

Преобразование из прямоугольной системы координат в геодезическую:

$$\begin{aligned}
 (X, Y, Z)_{WGS84} &\rightarrow (\varphi, \lambda, h)_{WGS84} \\
 \begin{cases} \varphi_i = \arctan \frac{Z_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}} (1 - e^2 \frac{N(\varphi_i)}{N(\varphi_i) + h_i})^{-1} \\ \lambda_i = \arctan \frac{Y_i}{X_i} \\ h_i = \frac{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}{\cos \varphi_i} - N(\varphi_i) \end{cases} & \quad (3)
 \end{aligned}$$

где $e^2 = 0,006694379990141$; $N(\varphi_i) = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 \varphi_i}}$ – радиус кривизны

первого вертикала системы WGS-84 в точке с широтой φ_i ; $a = 6\,378\,137$ м – большая полуось Земли.

На рисунке 2 изображены начало координат и оси системы координат WGS-84, которые также служат геометрическим центром и осями X, Y и Z эллипсоида WGS-84.

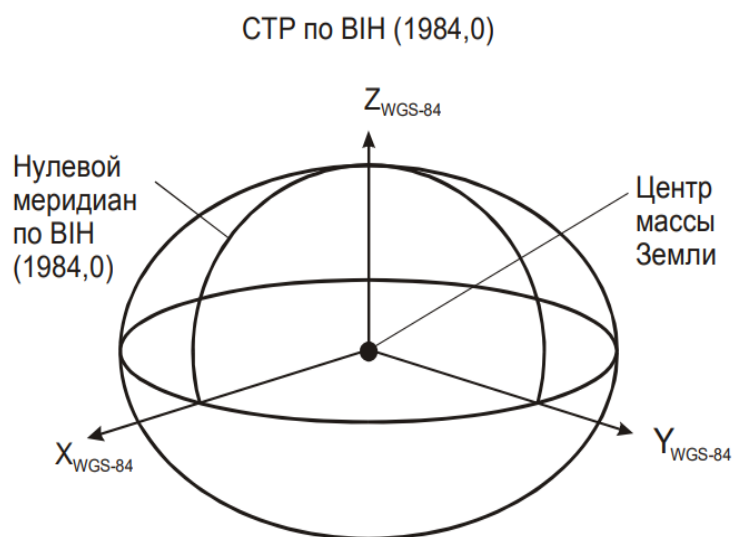


Рисунок 2 – Система координат WGS-84

Интегрирование запретных зон, зон СМУ и ВС-нарушителей в 4D-сетку

Координаты запретных зон получены из сборника аэронавигационной информации АИП (от англ. AIP – aeronautical information publication) государств, воздушное пространство которых входит в рассматриваемые сетки. Координаты зон СМУ получены из источников, выдающих прогнозируемые авиационные метеорологические данные. Координаты ВС-нарушителей (далее – ВС2) получены от них и/или от органов УВД через средства передачи данных как АНЗ, CPDLC.

Все координаты ВС2, запретных зон и зон СМУ располагаются в сетке пространства по их фактическим значениям.

Идентификация запретных узлов зон опасного сближения в 4D-сетке

Запретными узлами называются узлы сетки, попадающие (красные точки на рисунке 3) в запрещенные зоны (запретные для полетов зоны, зоны СМУ) и окружающие узлы (красные точки на рисунке 3), ближайшие к границам этих зон, и также узлы (синие точки на рисунке 3) в некотором заданном диапазоне $D_{\text{доп}}$ допустимой области безопасности. Далее эти запретные узлы будут добавлены в список CLOSELIST и не будут

рассматриваться алгоритмом A^* при формировании оптимальной траектории обхода.

Запретные узлы зон ОС с другими ВС2 определяются в зависимости от мест взаиморасположения ВС2 и 24 соседних рассматриваемых алгоритмом A^* узлов в каждом текущем шаге его работы. Запретным (желтые точки на рисунке 3) является рассматриваемый узел, который одновременно нарушает нормы горизонтального и вертикального эшелонирования к ВС2, т.е. разница широт и долгот ВС2 и того узла менее 5 морских миль, и разница их высот менее 1000 футов.

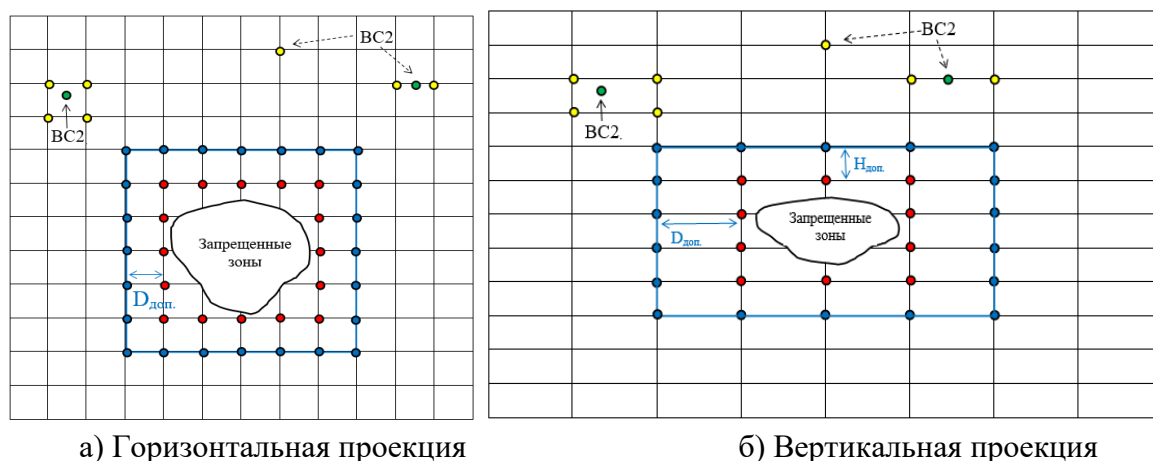


Рисунок 3 – Идентификация запретных узлов

В таблице 1 представлен общий результат идентификации запретных узлов зон потенциального ОС с другими ВС.

Таблица 1 – Запретные узлы зон потенциального ОС с другими ВС

Местоположения	Запретные узлы
ВС2 находится в анализируемом узле	Анализируемый узел
ВС2 находится в плоскости 2 анализируемых узлов	2 анализируемых узла
ВС2 находится в отрезке 4 анализируемых узлов	4 анализируемых узла
ВС2 находится внутри ячейки 8 анализируемых узлов	8 анализируемых узлов

После идентификации запретных узлов или обнаружения опасных сближений (конфликтов), варианты ее разрешения автоматически рассчитываются по процедуре алгоритма A^* , в результате работы которого получена оптимальная 4D-траектория обхода.

Формирование оптимальной четырехмерной траектории обхода

Алгоритм A^* выбирает узлы сетки, удовлетворяющие заданным критериям оптимизации (минимизация длины траектории обхода и минимизация отклонения от ЗТ). $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{N-1}, s_N\}$ представляет собой

набор узлов от пункта отправления S_0 до пункта назначения S_N на 4D-сетки. Каждый узел S_i характеризуется тремя географическими координатами (x_i, y_i, z_i) и временем (t_i) .

В процессе решения задачи поиска оптимального пути от S_0 до S_N , в каждом известном узле S_{i-1} алгоритм A^* выбирает соседний узел S_i , удовлетворяющий минимуму целевой функции (функции стоимости) f :

$$J = \sum_{i=1}^N f_{S_i} = \sum_{i=1}^N g_{S_{i-1}S_i} + \sum_{i=1}^N h_{S_iS_N} \rightarrow \min \quad (4)$$

$$g_{S_{i-1}S_i} = k_{FPL} \Delta_{FPL_i} = k_{FPL} \sqrt{(x_i - x_{FPL_j})^2 + (y_i - y_{FPL_j})^2 + (z_i - z_{FPL_j})^2} \quad (4.1)$$

$$h_{S_iS_N} = k_{FPL} \Delta_{FPL_N} = k_{FPL} \sqrt{(x_i - x_N)^2 + (y_i - y_N)^2 + (z_i - z_N)^2} \quad (4.2)$$

где, $i = 1..N$ – количество найденных алгоритмом A^* узлов; $j = 1..M$ – количество точек ЗТ; $\sum_{i=1}^N g_{S_{i-1}S_i}$ – стоимость пути от S_0 до S_i ; $\sum_{i=1}^N h_{S_iS_N}$ – оценочная (эвристическая) стоимость пути от S_i до конечного узла S_N ; Δ_{FPL_i} – расстояние от S_i до точек ЗТ, расположенных в сторону узла S_N ; Δ_{FPL_N} – расстояние от S_i до S_N ; $k_{FPL} \geq 0$ – штрафной коэффициент, пропорциональный близости к ЗТ.

По логике работы алгоритма A^* очевидно, что большое значение штрафного коэффициента k_{FPL} приводит к выбору меньших значений расстояний Δ_{FPL_i} и Δ_{FPL_N} , чтобы обеспечить минимум целевой функции, то есть сформулированная алгоритмом A^* траектория более близка к ЗТ при большом значении k_{FPL} . Таким образом, алгоритм A^* сформулирует кратчайшую траекторию обхода вперед в сторону пункта назначения с наименьшим отклонением от ЗТ.

В процессе работы алгоритма A^* узлы сетки будут разделены на известные узлы и полностью оцененные узлы. Известные узлы – это узлы, для которых известен путь от S_0 до них (т.е. определены значения функций g и h), при этом пройденный путь может не быть оптимальным. Все эти узлы вместе с их атрибутами запоминаются в открытом списке, называемом OPENLIST. В начале поиска этот список содержит только начальный узел S_0 . Полностью оцененные узлы – это узлы, в которых определен наиболее оптимальный путь от S_0 до них. Эти узлы и все их атрибуты хранятся в закрытом списке, называемом CLOSELIST, чтобы избежать повторения поиска наилучшего пути к ним. После добавления в CLOSELIST эти узлы больше не будут рассматриваться алгоритмом A^* . В начальный момент CLOSELIST является

пустым списком, если на сетке нет запрещенных зон, или содержит все ранее идентификационные запретные узлы зон (если они есть).

К атрибутам узла относятся значения функций g , h , f и информация о предшествующем узле в списке узлов на определенном пути от S_0 до него. Узел, предшествующий рассматриваемому, называется родителем этого узла. На основе этой информации возможен переход обратно от рассматриваемого узла к узлу пункта отправления для определения всех узлов на найденном оптимальном пути. Как только узел будет полностью оценен, он будет добавлен в список CLOSELIST, а его соседние узлы, не входящие в CLOSELIST, будут добавлены в список OPENLIST. Соседние узлы в списке OPENLIST будут рассматриваться по очереди. В случае, если будет найден более оптимальный путь от S_0 до этих узлов (т. е. новая функция g_{new} меньше, чем сохраненное значение функции g), то их атрибуты будут обновлены.

Поиск завершится, когда узел S_N будет добавлен в список CLOSELIST. Список узлов наиболее оптимального пути из S_0 в S_N (черная жирная линия на рисунке 4) будет создан на основе их родительской информации, начиная с узла S_N и работая в обратном направлении до узла S_0 .

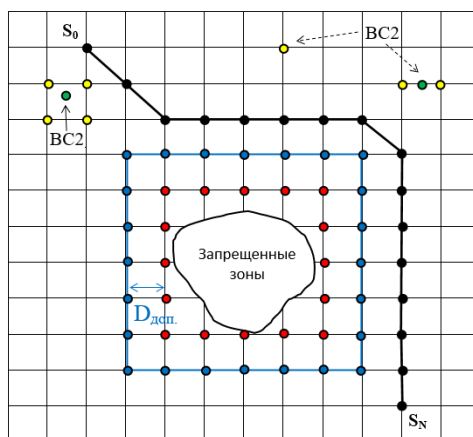


Рисунок 4 – Сформированная алгоритмом A* оптимальная траектория обхода

Результативный оптимальный путь, найденный алгоритмом A*, является решением в задаче децентрализованного разрешения конфликтов и формирования оптимальной 4D-траектории обхода.

Сформированная алгоритмом A* траектория представляет собой ломаную линию, допускающую прямые и диагональные переходы между соседними узлами, по которым должно осуществляться движение ВС. Следовательно, на маршруте существуют переходы между участками маршрута с поворотом в 90 градусов, по которым осуществление движения ВС будет невозможным. Принимая во внимание летно-технические характеристики ВС, следует отметить, что движение ВС в таких поворотных пунктах можно осуществлять с радиусом, равным:

$$R_i = \frac{GS_i^2}{g \cdot \tan \gamma} \quad (5)$$

где, R_i – радиус поворота, м; GS_i – средняя путевая скорость ВС по i -ому участку, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\gamma = 5^\circ$ – угол крена (для поворота на больших высотах).

Точность результатов планирования траектории обеспечена учетом нижеуказанной по формулам (5), (7), (8) корректировки дистанции крейсерского этапа, ввиду спрямления поворотных участков для траектории, сформированной алгоритмом А*.

Дистанция рассматриваемого фрагмента (L) от А до D равняется сумме дистанций участков АВ и ВС в соответствии с формулой:

$$L = AB + BC + CD \quad (6)$$

Дистанции участков движения по дугам окружностей рассчитываются по формуле Гюйгенса:

$$L_i = \frac{\pi R_i \beta_i}{180^\circ} \quad \text{и} \quad L_j = \frac{\pi R_j \beta_j}{180^\circ}, \quad (7)$$

где L_i, L_j – длина дуги окружности с радиусом R_i, R_j соответственно, м; β – центральный угол, градусов.

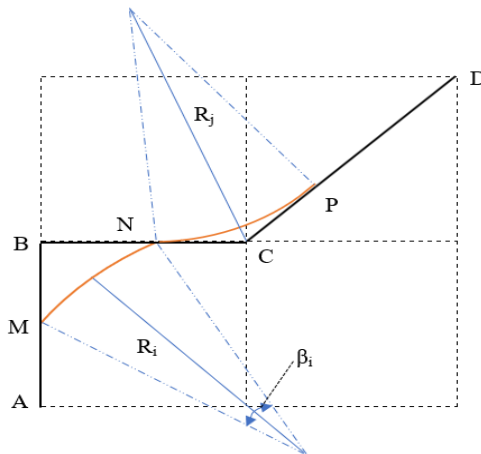


Рисунок 5 – Фрагмент поворотных участков траектории и их спрямление

Дистанции фрагментов спрямленных участков (L') от А до D должны вычисляться по формуле:

$$L' = AM + MN + NP + PD = AM + L_i + L_j + PD < L \quad (8)$$

Результаты и обсуждения

Для того, чтобы продемонстрировать эффективность предлагаемой методики идентификации и разрешения конфликтов при оперативном планировании 4D-траектории полета с помощью 4D-сетки и алгоритма поиска кратчайшего пути по критериям оптимизации, проведем три эксперимента в различных условиях воздушного пространства (с перемещающимися запрещенными зонами и без них).

Входными данными для экспериментов являются координаты пунктов отправления $s_0 = (15.6043, 108.2995, 18000, 0)$ и назначения $s_N = (11.4235, 107.5833, 18000, 2092)$, крейсерская скорость воздушного судна (например, для Боинг 747-400, $M = 0.855-0.88$), а также рассчитанная ЗТ на базе перспективной системы автоматического планирования полетов при внедрении операций, основанных на 4D-траекториях. В качестве ЗТ в данной работе используется предпочитаемая пользователем 4D-траектория (ППТ), полученная посредством предложенного в работе [Neretin et al., 2022] метода машинного обучения с помощью набора данных реализованных полетов по соответствующему маршруту.

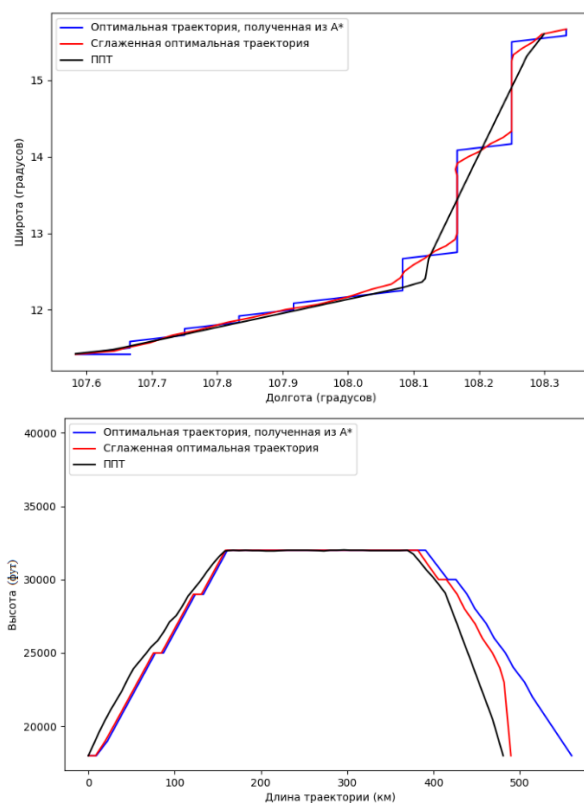
Чтобы использовать алгоритм A^* при поиске оптимальных траекторий по узлам координатной сетки, сначала необходимо преобразовать данные из геодезической системы в прямоугольную систему координат. Полученные в проведенных экспериментах координаты точек оптимальных 4D-траекторий (Рис. 5) также надо преобразовать обратно в геодезическую систему координат для использования в системах, которые взаимодействуют с графическими объектами.

lat	long	alt	time	dgc
15.58333	108.33333	18000.0	0	0.0
15.48333	108.27056	19000.0	50.92447	12.99529
15.41667	108.26722	20000.0	79.978	20.41685
15.33333	108.25056	21000.0	116.91797	29.85382
15.25	108.24722	22000.0	153.2116	39.12696
15.16667	108.25	23000.0	189.49867	48.39799
15.08333	108.25	24000.0	225.76811	57.66424
15.0	108.25	25000.0	262.03902	66.93048
14.91667	108.25	25000.0	298.29035	76.19672
14.83333	108.25	26000.0	334.56248	85.46297
14.75	108.25	27000.0	370.83608	94.72921
14.66667	108.25	28000.0	407.11116	103.99546
14.58333	108.25	29000.0	443.38772	113.2617
14.5	108.25	29000.0	479.64472	122.52794
14.41667	108.25	30000.0	515.92251	131.79419
14.33333	108.24667	31000.0	552.22916	141.06739
14.25	108.23278	32000.0	588.98481	150.45371
14.18333	108.21611	32000.0	618.84387	158.08124
14.08333	108.19944	32000.0	662.92896	169.34587
14.0	108.18278	32000.0	699.87441	178.78411
13.91667	108.16944	32000.0	736.57488	188.1614
13.83333	108.16667	32000.0	772.85431	197.43249
13.75	108.16667	32000.0	809.11428	206.69874
13.66667	108.16667	32000.0	845.37401	215.96498
13.58333	108.16667	32000.0	881.63349	225.23122
13.5	108.16667	32000.0	917.89273	234.49747
13.41667	108.16667	32000.0	954.15173	243.76371
13.33333	108.16667	32000.0	990.41049	253.02996
13.25	108.16667	32000.0	1026.66901	262.2962
13.16667	108.16667	32000.0	1062.9273	271.56244
13.08333	108.16667	32000.0	1099.18535	280.82869
13.0	108.16667	32000.0	1135.44317	290.09493

Рисунок 6 – Пример файла данных об оптимальной сглаженной 4D-траектории

Для того, чтобы наглядно проследить за правдоподобием полученных 4D-траекторий и способностью их обхода зон ОС при решении задач идентификации и разрешении ПКС, были построены графики 4D-траекторий на плоскости широта – долгота и вертикальных профилей высоты полета по его дистанции в различных условиях ВП (рисунки 6-8).

Эксперимент № 1: Сформировать оптимальную траекторию полета при отсутствии опасных сближений.



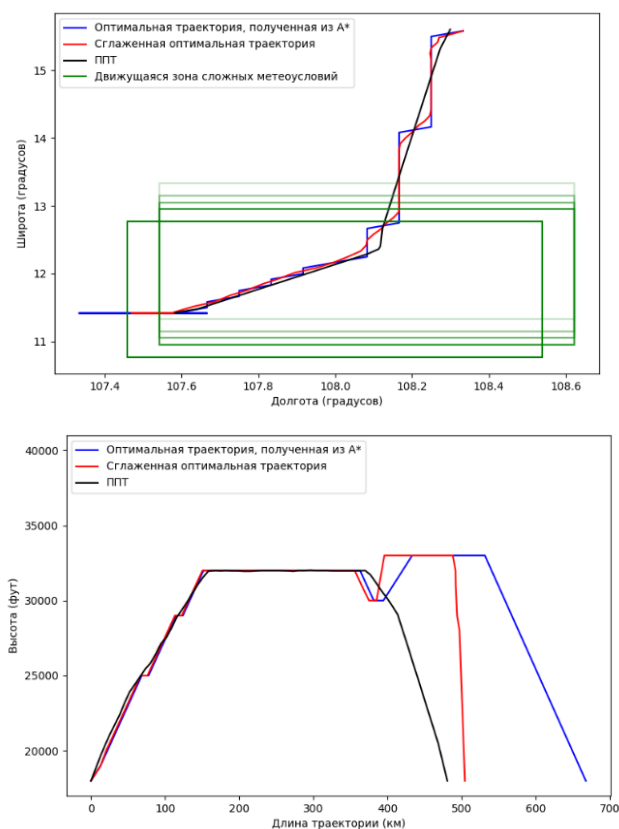
а) траектории на плоскости широта – долгота траекторий

б) вертикальный профиль

Рисунок 7 – 4D-траектории при отсутствии опасных сближений

Эксперимент № 2: Идентифицировать зоны опасного сближения ВС с перемещающейся зоной СМУ и сформировать оптимальные 4D-траектории обхода.

Пусть в ВП во время планирования 4D-траектории полета, зона СМУ в форме прямоугольного параллелепипеда с размером 222 км x 111 км x 2000 футов (от FL310 до FL330) перемещается вниз по высоте и по уменьшению долготы в течение 5 циклов работы алгоритма A* (начиная с 39-ого цикла).



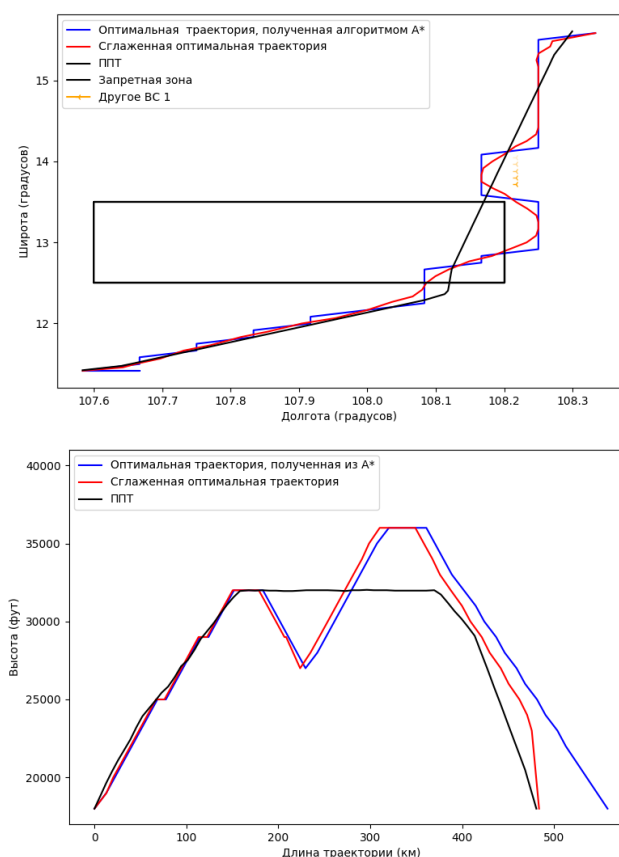
а) траектории на плоскости широта – долгота
траекторий

б) вертикальный профиль траекторий

Рисунок 8 – 4D-траектории при наличии перемещающей зоны СМУ

Эксперимент № 3: Идентифицировать зоны опасного сближения ВС с перемещающимся ВС2 с запретной зоной и сформировать оптимальные 4D-траектории обхода.

Пусть в ВП во время планирования 4D-траектории полета, по ормодромии между s_0 и s_n находится запретная зона в форме прямоугольного параллелепипеда с размером 111 км x 66.6 км x 35000 футов и появляется ВС, перемещающееся внизу по высоте в течение 3 циклов работы алгоритма A* (начиная с 19-ого цикла).



а) траектории на плоскости широта – долгота
траекторий

б) вертикальный профиль

Рисунок 9– 4D-траектории при наличии запретной зоны и перемещающегося ВС2

Результаты экспериментов, представленные на рисунках 5-7, доказывают, что потенциальные опасные сближения ВС со стационарными и перемещающимися материальными объектами в ВП эффективно идентифицированы и разрешены с помощью предложенной в настоящей работе методики. Результативная оптимальная 4D-траектория помогает пилотам улучшить ситуационную осведомленность и поддерживать их в принятии важных решений в полете по маршруту.

В таблице 2 представлены параметры согласованной 4D-траектории и рассчитанные параметры сглаженной оптимальной 4D-траектории обхода различных зон опасного сближения в ВП.

Таблица 2 – Параметры траекторий

Запланированная 4D-траектория		Наличие опасного сближения	Сглаженная 4D-траектория обхода		Отклонение по длине (км)	Отклонение по времени (с)
Длина (км)	Время полета (с)		Длина (км)	Время полета (с)		
481	1904	НЕТ	483	1893	+ 2	- 11
		Перемещающаяся зона СМУ	504	1979	+ 23	+ 75
		Запретная зона и перемещающееся ВС2	484	1923	+ 3	+ 19

Заключение

В работе предложена методика идентификации и разрешения конфликтных ситуаций в крейсерском режиме полета на основе узлов четырехмерной сетки и алгоритма поиска кратчайшего пути A^* , применение которой позволяет избежать ложные предупреждения о потенциальных конфликтах путем обеспечения расчета расстояния от рассматриваемого ВС до зон опасного сближения и автономно сформировать временно-пространственную траекторию их обхода с минимальным отклонением от запланированной 4D-траектории (т.е. позволяет выдержать запланированную 4D-траекторию при возникновении незапланированных конфликтных ситуаций в процессе полета).

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод об адекватности применения предлагаемой методики для формирования 4D-траектории обхода при оперативном планировании в процессе полета на маршруте и возможности ее применения в бортовых и наземных системах проектирования и управления 4D-траекториями полета.

Библиографический список

- Дегтярев О. В. Разработка бортовых алгоритмов обнаружения и децентрализованного разрешения опасных сближений в воздухе, основанных на методе потенциальных полей / О. В. Дегтярев, В. С. Орлов, Б. В. Пучков // Теория и системы управления. 2010. № 5. С. 93.
- Исаев В. К. Некоторые задачи 2D-маневрирования самолета с целью обеспечения вихревой безопасности / В. К. Исаев, В. В. Золотухин // Вестник МАИ. 2009. Том 16, № 7. С. 1. EDN LASYGP.
- Кумков С. И. Задача обнаружения и разрешения конфликтных ситуаций в автоматизированной системе управления воздушным движением / С. И. Кумков, С. Г. Пятко // Научный вестник «НИИ Аэронавигации». 2013. № 12. С. 35-46.
- Петров Н. А. Разработка универсального алгоритма разрешения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве при полете магистрального самолета // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 205. С. 129-136.
- A 4D grid-based approach for efficient conflict detection in large-scale multi-UAV scenarios / J. J. Acevedo, Á. R. Castaño, J. L. Andrade-Pineda, A. Ollero // 2019 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED UAS). Cranfield, UK, 2019. pp. 18-23. doi: 10.1109/REDUAS47371.2019.8999724.

Alonso-Ayuso A. Multiobjective optimization for aircraft conflict resolution: A metaheuristic approach / A. Alonso-Ayuso, L. F. Escudero, F. J. Martin-Campo // *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 248(2). pp. 691-702.

Architecture of National Airspace System (NAS). Concepts for Future NAS Operations. Department of Transportation, FAA, USA. 1996.

Bilimoria K. D. A Geometric Optimization Approach to Aircraft Conflict Resolution // *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Denver, 2000.

Comparison of centralized and decentralized conflict resolution strategies for multiple-aircraft problems / K. D. Bilimoria, H. Q. Lee, Z. H. Mao [et al] // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Denver, 2000.

Eby M. S. A Self-Organizational Approach for Resolving Air Traffic Conflicts // *The Lincoln Laboratory Journal*. 1994. Vol. 7, № 2. P. 239-254.

Gong H. Flight short-term collision detection based on control tower simulation system / H. Gong, X. Zhou // *Computer. Technology and Development*. 2013. Vol. 23, № 4. pp. 151-154.

Henk A. P. Blom. Safety evaluation of advanced self-separation under very high en route traffic demand / A. P. Blom Henk, G. J. Bakker // *Journal of Aerospace Information Systems*. 2015. Vol. 12, № 6. pp. 413-427.

Hernández-Romero E. A probabilistic approach to measure aircraft conflict severity considering wind forecast uncertainty / E. Hernández-Romero, A. Valenzuela, D. Rivas // *Aerospace Science and Technology*. 2019. Vol. 86. pp. 401–414. doi: 10.1016/j.ast.2019.01.024.

Hoekstra J. M. M. Conceptual Design of Free Flight with Airborne Separation Assurance / J. M. M. Hoekstra, M. Gent, M. Ruigrok // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Boston, 1998.

ICAO 2002. Doc 9674 – World Geodetic System — 1984 (WGS-84) Manual. Second edition. 2002.

ICAO 2012. Doc 9574 – Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive. Third edition. 2012.

ICAO 2016. Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services/Air Traffic Management (PANS/ATM). 16th Edition. 2016.

Jardin M. Grid-Based Strategic Air Traffic Conflict Detection // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. 2005. doi:10.2514/6.2005-5826.

Kuchar J. K. A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods / J. K. Kuchar, L. C. Yang // *IEEE Trans, on Intelligent Transportation Systems*. 2000. Vol. 1, № 4. pp. 179-189.

Mondoloni S. An Airborne Conflict Resolution Approach Using a Genetic Algorithm / S. Mondoloni, S. Conway // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Montreal, 2001.

Neretin E. S. An Analysis of Human Interaction and Weather Effects on Aircraft Trajectory Prediction via Artificial Intelligence / E. S. Neretin, N. T. L. Phuong, N. N. H. Quan // *2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh)*. Moscow, 2022. pp. 85-89. doi: 10.1109/TSCZh55469.2022.9802458.

Nogami J. Real-time Decision Support for Air Traffic Management, Utilizing Concept Learning / J. Nogami, S. Nakasuka, K. Hori // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Boston, 1998.

Resolution of Conflicts Involving Many Aircraft via Semi-definite Programming / E. Frazzoli, Z. H. Mao, J. H. Oh [at al.] // *Journal Guidance, Control and Dynamics*. 2001. Vol. 24, № 1. P. 79-86. DOI 10.2514/2.4678.

Short-term conflict detection algorithm for free flight in low-altitude airspace / Y. Liu, J. Xiang, Z. Luo, W. Jin // *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*. 2017. Vol. 43, № 9. pp. 1873-1881. DOI 10.13700/j.bh.1001-5965.2016.0687.

Wallace E. Advances in Force Field Conflicts Resolution Algorithms / E. Wallace, I. Kelly // *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Denver, 2000.

Wanke C. Incremental, Probabilistic Decision Making for En Route Traffic Management / C. Wanke, D. Greenbaum // *Air Traffic Control Quarterly*. 2007. № 15(4). pp. 299-319.

Zeghal K. A Review of Different Approaches based on Force Fields for Airborne Conflict Resolution // *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Boston, 1998.

References

- Acevedo J. J., Castaño Á. R., Andrade-Pineda J. L., Ollero A. (2019). A 4D grid-based approach for efficient conflict detection in large-scale multi-UAV scenarios. *2019 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED UAS)*. Cranfield, UK, 2019. pp. 18-23. doi: 10.1109/REDUAS47371.2019.8999724.
- Alonso-Ayuso A., Escudero L. F., Martín-Campo F. J. (2016). Multiobjective optimization for aircraft conflict resolution: A metaheuristic approach. *European Journal of Operational Research*. 248(2): 691-702.
- Architecture of National Airspace System (NAS). Concepts for Future NAS Operations. Department of Transportation, FAA, USA. 1996.
- Bilimoria K. D. (2000). A Geometric Optimization Approach to Aircraft Conflict Resolution. *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Denver, 2000.
- Bilimoria K. D., Lee H. Q., Mao Z. H. [et al.]. (2000). Comparison of centralized and decentralized conflict resolution strategies for multiple-aircraft problems. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Denver, 2000.
- Degtyarev O. V., Orlov V. S., Puchkov B. V. (2010). Development of on-board algorithms for detection and decentralized resolution of dangerous approaches in the air based on the method of potential fields. *Theory and control Systems*. 5: 93. (in Russian)
- Eby M. S. (1994). A Self-Organizational Approach for Resolving Air Traffic Conflicts. *The Lincoln Laboratory Journal*. 7(2): 239-254.
- Frazzoli E., Mao Z. H., Oh J. H. [at al.]. (2001). Resolution of Conflicts Involving Many Aircraft via Semi-definite Programming. *Journal Guidance, Control and Dynamics*. 24(1): 79-86. DOI 10.2514/2.4678.
- Gong H., Zhou X. (2013). Flight short-term collision detection based on control tower simulation system. *Computer. Technology and Development*. 23(4): 151-154.
- Henk A. P. Blom, Bakker G. J. (2015). Safety evaluation of advanced self-separation under very high en route traffic demand. *Journal of Aerospace Information Systems*. 12(6): 413-427.
- Hernández-Romero E., Valenzuela A., Rivas D. (2019). A probabilistic approach to measure aircraft conflict severity considering wind forecast uncertainty. *Aerospace Science and Technology*. 86: 401–414. doi: 10.1016/j.ast.2019.01.024.
- Hoekstra J. M. M., Gent M., Ruigrok M. (1998). Conceptual Design of Free Flight with Airborne Separation Assurance. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Boston, 1998.
- ICAO 2002. Doc 9674 – World Geodetic System — 1984 (WGS-84) Manual. Second edition. 2002.
- ICAO 2012. Doc 9574 – Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive. Third edition. 2012.
- ICAO 2016. Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services/Air Traffic Management (PANS/ATM). 16th Edition. 2016.
- Isaev V. K., Zolotukhin V. V. (2009). Some tasks of 2D aircraft maneuvering in order to ensure vortex safety. *Bulletin of MAI*. 16(7): 1. (in Russian)
- Jardin M. (2005). Grid-Based Strategic Air Traffic Conflict Detection. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. 2005. doi:10.2514/6.2005-5826.
- Kuchar J. K., Yang L. C. (2000). A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods. *IEEE Trans, on Intelligent Transportation Systems*. 1(4): 179-189.
- Kumkov S. I., Pyatko S. G. (2013). The task of detecting and resolving conflict situations in an automated air traffic control system. *Scientific Bulletin of the Research Institute of Aeronautics*. 12: 35-46. (in Russian)
- Liu Y., Xiang J., Luo Z., Jin W. (2017). Short-term conflict detection algorithm for free flight in low-altitude airspace. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*. 43(9): 1873-1881. DOI 10.13700/j.bh.1001-5965.2016.0687.
- Mondoloni S., Conway S. (2001). An Airborne Conflict Resolution Approach Using a Genetic Algorithm. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Montreal, 2001.
- Neretin E. S., Phuong N. T. L., Quan N. N. H. (2022). An Analysis of Human Interaction and Weather Effects on Aircraft Trajectory Prediction via Artificial Intellegence. *2022 XIX Technical*

- Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh)*. Moscow, 2022. pp. 85-89. doi: 10.1109/TSCZh55469.2022.9802458.
- Nogami J., Nakasuka S., Hori K. (1998). Real-time Decision Support for Air Traffic Management, Utilizing Concept Learning. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.* Boston, 1998.
- Petrov N. A. (2014). Development of a universal algorithm for resolving conflict situations in airspace during the flight of a mainline aircraft. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. 205: 129-136. (in Russian)
- Wallace E., Kelly I. (2000). Advances in Force Field Conflicts Resolution Algorithms. *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Denver, 2000.
- Wanke C., Greenbaum D. (2007). Incremental, Probabilistic Decision Making for En Route Traffic Management. *Air Traffic Control Quarterly*. 15(4): 299-319.
- Zeghal K. (1998). A Review of Different Approaches based on Force Fields for Airborne Conflict Resolution. *AIAA Guidance, Navigation and Control Conf.* Boston, 1998.

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

УДК 621.396.96

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_96

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАБЛЮДЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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»,

ул. Бородина, 57

Иркутск, 664056, Россия

urbdim.ru@gmail.com

Аннотация. Организация воздушного движения (ОрВД) в региональных центрах управления воздушным движением определяется наличием средств наблюдения, использующих радиолокационный принцип определения координат воздушных судов (ВС). Размеры областей пространства зон ответственности составляют обширные территории, на которых размещение радиолокационных средств наблюдения, образующих единое поле контроля, экономически нецелесообразно. Наличие локальных областей пространства, в которых наблюдение за воздушным движением не выполняется, существенно снижает безопасность, регулярность и эффективность полетов. Внедрение новых технологий, требующих значительно меньших экономических затрат, требует оценки возможности их применения в соответствующих региональных центрах ОрВД. Поэтому актуальной научной задачей является исследование возможности применения многопозиционных систем наблюдения (МПСН) в виде оценки точностных характеристик и мест размещения элементов системы. Полученные результаты исследований можно

применить при размещении наземных станций МПСН для достижения высоких показателей эффективности функционирования системы наблюдения и организации воздушного движения в целом.

Ключевые слова: многопозиционная система наблюдения, мультилатерация, приемная станция, рабочая зона, местоположение.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY TO IMPLEMENT THE SURVEILLANCE PROCESS IN THE REGIONAL CENTERS OF THE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM OF THE RUSSIAN FEDERATION

*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. Air traffic management (ATM) in regional air traffic control centers is determined by the availability of surveillance equipment that uses the radar principle of determining the coordinates of aircraft. The responsibility zones of the airspace are vast territories where the placement of radar surveillance equipment forming a single control field is not economically feasible. The presence of local areas of space with no air traffic surveillance significantly reduces the safety, regularity and efficiency of flights. The introduction of new technologies that require significantly lower economic costs needs an assessment of the possibility to use them in the relevant regional ATM centers. Therefore, an urgent scientific task is to study the possibility of using multi-position surveillance systems (MPSS) as an assessment of the accuracy characteristics and locations of system elements. The obtained research results can be applied when placing MPSS ground stations to achieve high performance indicators of the surveillance system and air traffic management as a whole.

Keywords: multi-position surveillance system, multilateration, receiving station, working area, location.

Введение

Российская Федерация является самым большим в мире государством, занимающим шестую часть площади всей территории земного шара, и поэтому нуждается в реализации на своей территории всех возможных транспортных потоков, обеспечивающих экономическое благосостояние граждан государства. Потребности страны могут быть в полной мере обеспечены развитием и функционированием единой транспортной системы, связывающей все регионы нашего большого государства. Важная роль в формировании транспортной системы отведена гражданской авиации, выполняющей функцию оперативного и качественного связующего звена экономического и материального составляющего элемента страны. Организация процесса самолетовождения требует создания приемлемой среды, выполняющей функцию безопасного, регулярного и эффективного сервиса, направленного на выполнение задач обеспечения экономического благополучия граждан Российской Федерации [Логвин и др., 2009].

Система организации воздушного пространства для полетов ВС на территории Российской Федерации требует исполнения определенных норм и правил, согласно руководящим документам, применяемым при обслуживании воздушного движения в гражданской авиации⁹. Согласно структуре авиационной транспортной системы, ее частью является аэронавигационное обслуживание полетов, выполняющее функцию построения комплексов, обеспечивающих визуализацию процесса управления перемещением воздушных объектов. Реализацией этих процессов занимается служба эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС) региональных центров единой системы организации воздушного движения [Проект Стратегии..., 2021]. Ввиду того, что территория РФ занимает обширную площадь, построение перспективных систем наблюдения требует избирательного подхода при формировании методов и принципов организации этого процесса. Главным фактором, влияющим на структуру построения системы наблюдения, является географическое расположение областей воздушного пространства. Оптимальные траектории движения ВС иногда не совпадают с проложенными и сертифицированными воздушными трассами, а в районах Сибири и Дальнего Востока часто просто не являются желаемыми маршрутами.

Цель работы – обоснование необходимости применения и возможности реализации перспективных средств наблюдения, рекомендованных для использования в региональных центрах ОрВД в удаленных районах Российской Федерации: Сибири и Дальнего Востока.

Постановка задачи

Любое наблюдение за удаленным в пространстве объектом связано с решением классических радиолокационных задач: обнаружения и измерения координат объекта наблюдения с целью определения его местоположения.

⁹ Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138.

Существующие средства в виде обзорных диспетчерских радиолокаторов решают эти задачи, однако требуют значительных энергетических, эксплуатационных и временных затрат, приводящих к большим экономическим расходам. Альтернативой для решения задач наблюдения являются рекомендованные для внедрения государственной программой РФ многопозиционные системы наблюдения (МПСН) [Борисов и др., 2022]. Успех применения их в европейской части страны обусловлен наличием развитой инфраструктуры и обеспечением существующей системой обмена данными на основе существующих технологий радиосвязи [Патрикеев, 2016; Скрыпник, 2014]. Однако, применение этой технологии в районах Сибири и Дальнего Востока не позволяет реализовать всех возможностей этих систем, ввиду слабого освоения территорий и отсутствия элементарных энергетических сетей.

В связи с этим стоит оценить необходимость применения МПСН для построения новых оптимальных маршрутов и воздушных трасс, где реализуется функция наблюдения, для сокращения интервалов движения и повышения качества управления воздушным движением. Реализуемый службой движения лозунг «Слышу, Вижу, Управляю» содержит составляющую, требующую необходимости визуализации пространственного положения ВС, находящихся под управлением, на рабочем месте диспетчера, в реальном времени и во всей зоне ответственности регионального центра. В данной работе анализу были подвергнуты три области пространства, в которых выполняются полеты по приборам (по воздушным трассам), имеющие особый интерес с точки зрения оптимального построения траекторий и имеющие большую географическую площадь. Такими областями явились: Иркутский, Нерюнгринский и Магаданский региональные центры ОрВД.

Анализ объекта исследований

На территории Иркутской области располагаются девять радиолокационных позиций, реализующих непрерывное наблюдение за пространственным положением объектов управления.

На схеме расположения средств наблюдения, в виде позиционирования радиолокаторов разного назначения¹⁰ и прохождения воздушных трасс (рис. 1), есть области воздушного пространства на границе секторов 5 и 7, где отсутствует радиолокационное наблюдение (рис. 2.а), отображенные на географической карте (рис. 2.б), это обусловлено гористым ландшафтом местности (отсутствием прямой видимости), что свойственно классическим радиолокационным системам [Определение местоположения ..., 2021].

В данной области пространства, из-за сложности рельефа местности, радиолокационные средства наблюдения имеют «слепые» зоны, а управление ВС осуществляется путем получения информации от экипажей ВС о пролете контрольных ориентиров, расположенных по траектории следования. При

¹⁰ Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации», от 20 октября 2014 г. № 297.

такой организации воздушного пространства существенно снижаются пропускная способность и необходимость использования заведомо больших значений интервалов движения ВС. Это обстоятельство существенно влияет на качество обслуживания воздушного движения ВС гражданской авиации в воздушном пространстве Российской Федерации.

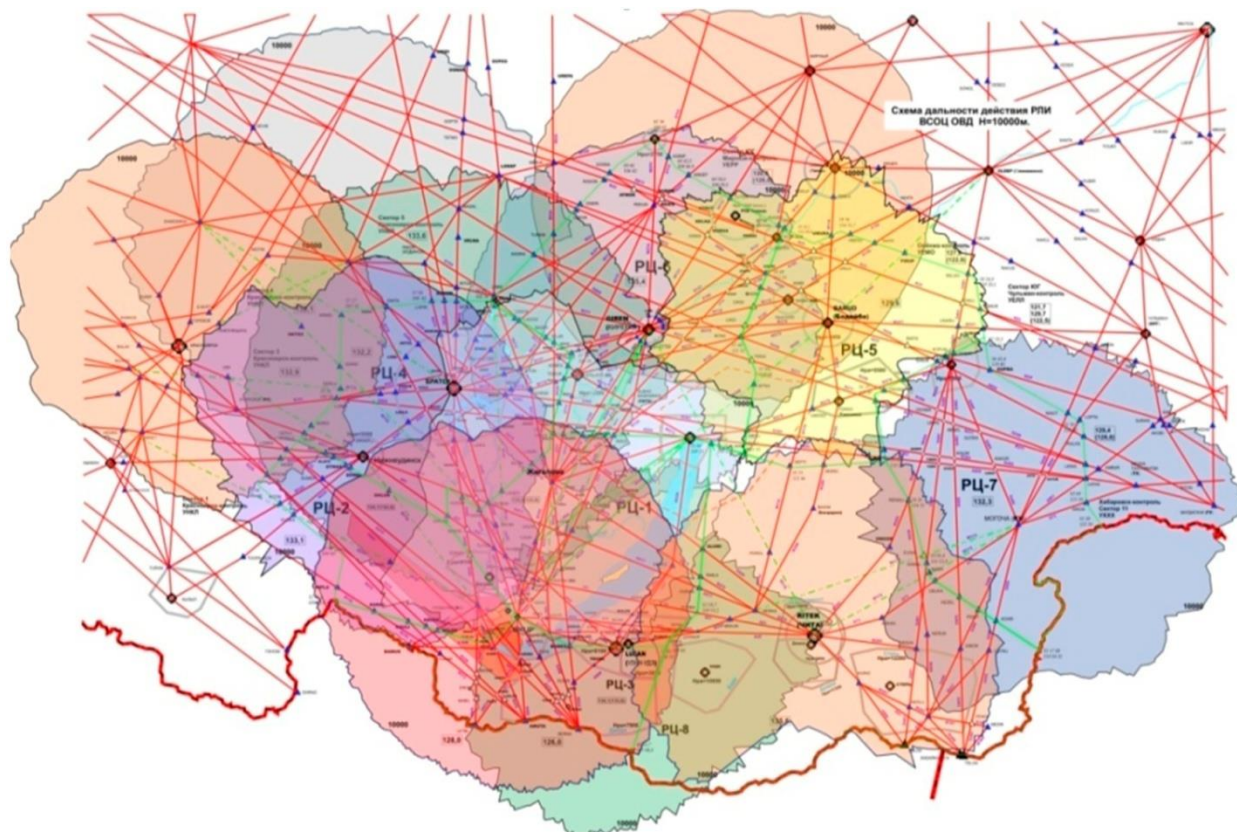
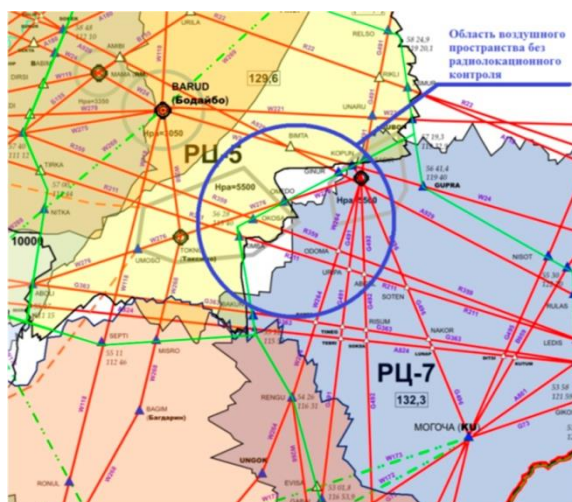
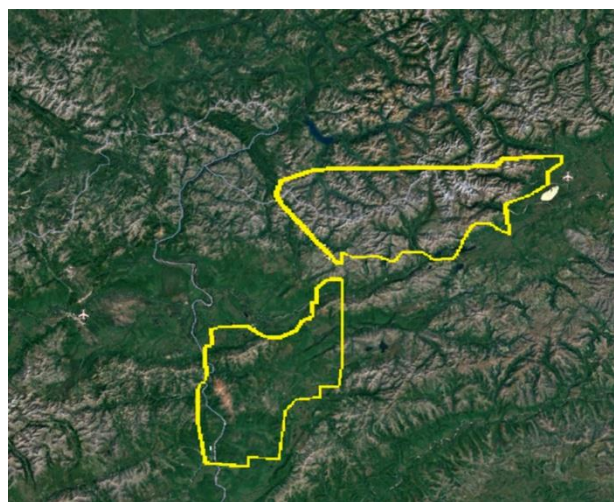


Рисунок 1 – Схема расположения средств наблюдения региона



а)



б)

Рисунок 2 – Области воздушного пространства, где отсутствует радиолокационное наблюдение: а) навигационная карта; б) географическая карта

В связи с тем, что в зоне ответственности Иркутского центра ОрВД имеется наличие зон с отсутствием радиолокационного контроля, а установка радиолокаторов экономически и географически не выгодна, то возможно применение МПСН, требующей значительно меньших экономических затрат при выполнении полной функции наблюдения.

Нерюнгринский центр ОрВД обеспечивает аэронавигационное обслуживание от Хабаровского края Амурской области и до Читинской и Иркутской областей, а также на всей территории Южной Якутии.

Общая протяженность территории с Севера на Юг 620 км, а с Запада на Восток 720 км. Общее количество воздушных трасс порядка 25. Из них 19 международных и 6 внутренних.

Зона ответственности разделена на районный центр (РЦ) «Север» и РЦ «ЮГ». Граница зон ответственности представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Зона ответственности Нерюнгринского центра ОрВД

Основным источником информации о местоположении ВС на воздушных трассах в Нерюнгринском центре ОрВД является моноимпульсный вторичный радиолокатор (МВРЛ) «Крона». МВРЛ «Крона» обеспечивает максимальную дальность обнаружения 400 км при условии обеспечения зоны действия при нулевых углах закрытия. В Нерюнгринском районе рельеф местности горный, представляющий собой систему из плоскогорий, отделённых друг от друга среднегорными хребтами и межгорными впадинами. Высота горных хребтов и отдельных возвышенностей достигает более 2000 м. Данные условия местности в значительной мере влияют на характеристики МВРЛ «Крона». Согласно летным проверкам при вводе радиолокатора, диаграмма зоны видимости имеет вид, представленный на рис. 4.

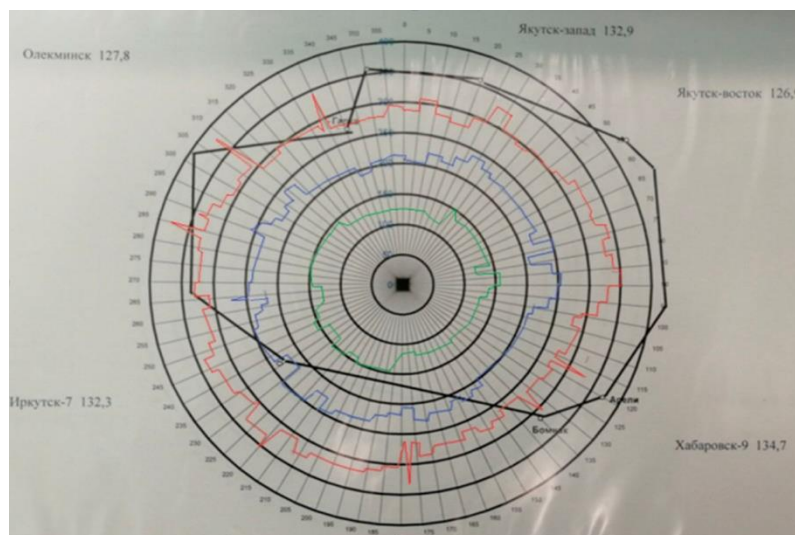


Рисунок 4 – Зона видимости МВРЛ «Крона»

Черными линиями на окружности обозначена зона ответственности Нерюнгринского центра. Зеленым, синим, красным цветами обозначена зона видимости в зависимости от высоты полета ВС. Как видно из схемы зоны видимости, из-за больших углов закрытия МВРЛ «Крона» не покрывает зону ответственности центра. А именно районный центр Север от 30^0 до 130^0 на дальностях от 300 км при высоте полета 10 км полностью не перекрыт радиолокационным полем, а если высота полета составляет менее 10 км, то дальность обнаружения уменьшается в разы. В связи с этим присутствуют проблемы с обнаружением ВС, пролетающих по трассам, проходящим по проблемным участкам. На этом участке расположены воздушные трассы: Б-153 «Натом-Одана», Б-148 «Селда-Одана», Г494 «Одана-Огтин», В-708 «Селда-Обади», на рисунке 5 изображены красным цветом участки трасс.

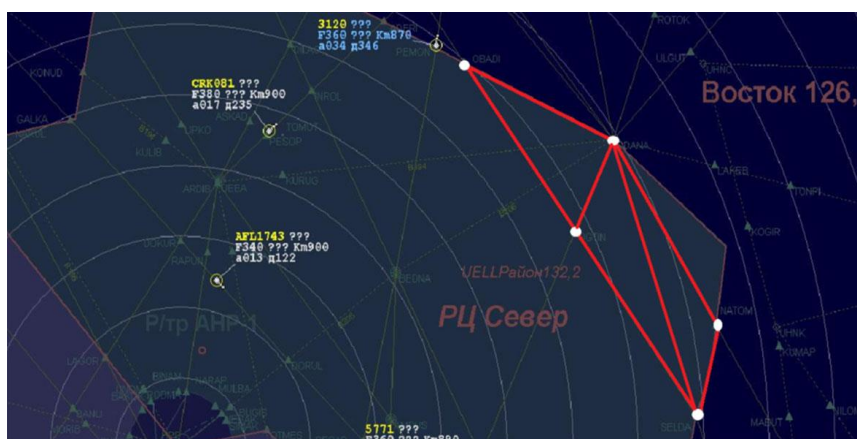


Рисунок 5 – Участки трасс «Селда-Одана», «Одана-Огтин», «Натом-Одана», «Селда-Обади»

Так на участке трассы Б-153 «Натом-Одана», при следовании ВС в сектор Якутска «Запад», ВС входит с Хабаровской зоны над точкой «Натом» на эшелонах FL 300 FL-320, при этом координаты не могут быть определены,

и соответственно наблюдение за ВС вплоть до выхода из зоны ответственности над точкой «Одана» отсутствует. Это расстояние от точки «Натом» до точки «Одана» составляет 153 км. В связи с этим на данном участке ВС следуют без наблюдения службой движения, используя временное регулирование с интервалом 10 минут, что существенно снижает оптимальное использование воздушного пространства.

Решение данной проблемы заключается в установке дополнительного средства наблюдения, обеспечивающего выполнения условия перекрытия невидимых зон на ответственном участке Нерюнгринского центра, проблема может быть решена развертыванием МПСН в условиях горной местности.

Основным источником информации о местоположении ВС на воздушных трассах Магаданского центра ОВД является МВРЛ «Крона», расположенная в п. Чайбуха. МВРЛ «Крона» обеспечивает максимальную дальность обнаружения 400 км при условии обеспечения зоны действия при нулевых углах закрытия.

В Магаданском районе рельеф местности тоже горно-равнинный, со значительными перепадами высот. Высота горных возвышенностей достигает более 1500 м. Данные условия местности в значительной мере влияют на характеристики МВРЛ «Крона». Согласно летным проверкам, проводимым при вводе в строй радиолокатора, диаграмма зоны видимости имеет вид, представленный на рис. 6.

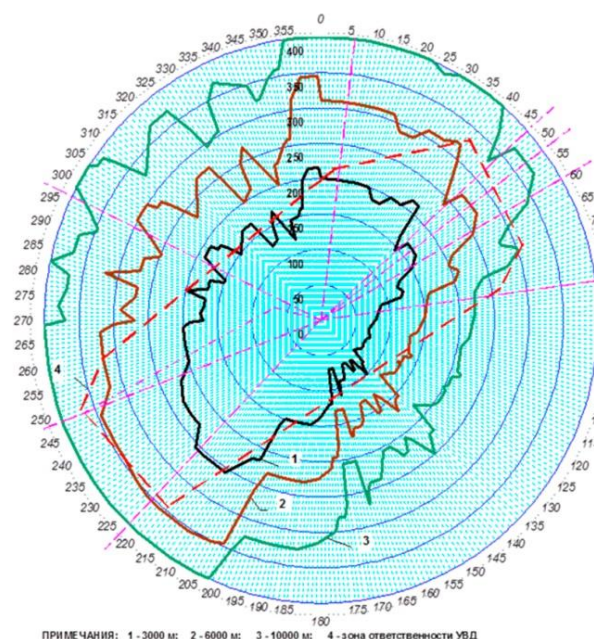


Рисунок 6 – Зона видимости МВРЛ «Крона» Магаданского центра

Красными пунктирными линиями на окружности обозначена зона ответственности ОВД. Зеленым, красным, черным цветами обозначена зона видимости в зависимости от высоты полета ВС. Из графика видно, что средства наблюдения, установленные на позиции п. Чайбуха, вполне

обеспечивают полное радиолокационное перекрытие зоны ответственности УВД.

На данное время, несмотря на проведенную в начале 2000-ых годов глубокую модернизацию МВРЛ «Крона», существует ряд серьезных недостатков, один из которых заключается в том, что аэронавигационная точка изменения направления полета ВС наиболее загруженных трасс совпадает с местом расположения радиолокатора, в связи с этим у диспетчера УВД отсутствует наблюдение за маневром воздушного судна из-за «слепой зоны» – «воронки» над РЛС, обусловленной технологией построения вторичных радиолокаторов, к тому же не имеющей резерва, а также отсутствием стационарного электроснабжения и необходимостью обеспечения обслуживания штатным инженерно-техническим персоналом, доставляемым на объект чартерными рейсами малой авиации, полеты которой зависят от погодных условий (рис. 7) [Болелов, 2021; Лежанкин и др., 2019]. При такой организации технической эксплуатации объекта службы ЭРТОС, реализованной вахтовым методом, отсутствует возможность оперативной доставки на объект вышедших из строя узлов, необходимого запаса топлива для обеспечения бесперебойной работы средства наблюдения.

Проведенный анализ условий эксплуатации и возможностей реализации функций наблюдения для выполнения процедуры организации воздушного движения показал, что в рассматриваемом центре имеется острая необходимость в установке дополнительного средства наблюдения. Таким средством может являться МПСН, реализующая возможность решения проблемных вопросов в условиях горно-равнинной местности Магаданского центра по управлению воздушным движением.

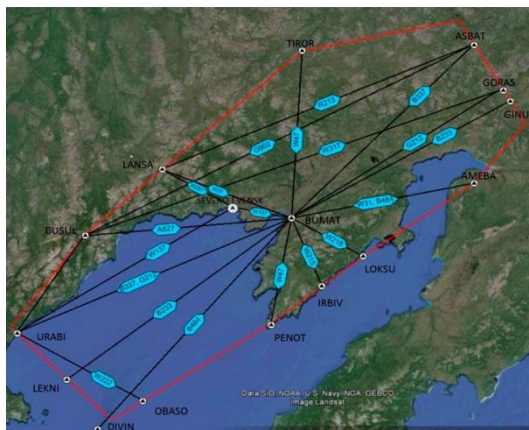


Рисунок 7 – Зона ответственности МВРЛ «Крона» п. Чайбуха

Материалы и методы

Многопозиционная система наблюдения – это реализация технологии наблюдения за воздушным пространством, основанная на позиционировании объектов наблюдения путем развертывания сети НЗ, с заданной геометрией.

Определение местоположения ВС осуществляется на основе разностно-дальномерного метода. Координаты определяются путем расчета на основе

временных задержек прихода сигнала, излученного самолетным ответчиком с борта ВС на НЗ, разнесенные в пространстве.

В МПСН (рис. 8) измеряются значения моментов прихода сигнала на НЗ, прошедшие по разным траекториям, и далее вычисляются разности времени $\Delta\tau_{01}, \Delta\tau_{02}$ распространения сигналов от ВС (цели Ц) до опорного НЗ₀ пункта через распределенные НЗ (НЗ₁, НЗ₂).

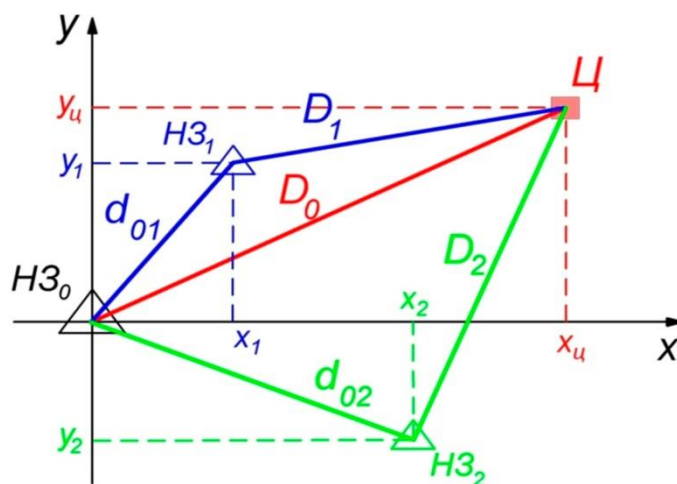


Рисунок 8 – Принцип действия МПСН

Вычисление местоположения объекта наблюдения (Ц) осуществляется на основе определения координат x_c, y_c , при плоскостной задаче, а для позиционирования в пространстве добавляется еще одна координата. Начальными условиями для расчетов выступают известные координаты наземных станций (НЗ₁ и НЗ₂) x_1, y_1 и x_2, y_2 , а также разность дальностей ΔR_i на независимых базах d_{01}, d_{02} . Координаты НЗ_i (x_i, y_i) заранее известны с геодезической точностью.

Определение разностей дальностей осуществляется путем фиксации момента прихода сигналов, прошедших по различным траекториям, причем измерения необходимо выполнять для пар НЗ.

Увеличивая количество станций, а именно количество попарных измерений, появляется возможность увеличить точность позиционирования ВС (Ц). Прямые уравнения связи измеренных временных сдвигов сигналов $\Delta\tau_{0i}$ с разностями дальностей ΔR_i имеют вид [Измерение координат..., 2014]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\tau_{01} = \frac{\Delta R_1}{c} = \left(\frac{D_1 + d_{01} - D_0}{c} \right); \\ \Delta\tau_{02} = \frac{\Delta R_2}{c} = \left(\frac{D_2 + d_{02} - D_0}{c} \right); \\ \Delta\tau_{03} = \frac{\Delta R_3}{c} = \left(\frac{D_3 + d_{03} - D_0}{c} \right); \\ \dots \\ \Delta\tau_{0i} = \frac{\Delta R_i}{c} = \left(\frac{D_i + d_{0i} - D_0}{c} \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

где D_i – расстояние между ВС и пунктом приема; $i=1, (M-1)$; $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения сигнала; $D_0 = \sqrt{x_{\text{ц}}^2 + y_{\text{ц}}^2}$ – расстояние от ВС до опорной станции.

Для двух приемных пунктов зависимость разности между временами прихода сигналов описывается гиперболой. Каждая такая гипербола описывает возможные положения объекта для одной конкретной разницы времени задержки, то есть, располагая информацией только об одном значении такой разницы, можно заключить, что точка расположения объекта находится где-то на соответствующей гиперболе.

Измерение разницы времени поступления сигнала от объекта в других парах приемных пунктов дает возможность построить гиперболы возможных положений ВС относительно пары НЗ.

Позиционирование ВС, применяя метод гипербол, позволяет получить местоположение объекта наблюдения (Ц), как точки пересечения гипербол, фокусы которых лежат в месте установки НЗ (рис. 9).

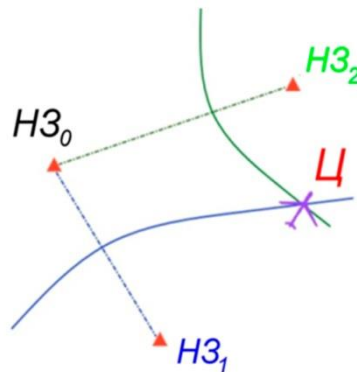


Рисунок 9 – Система МПСН в виде пересечения гиперболических линий положения

В соответствии с этим, система нелинейных уравнений, связывающих координаты ВС, координаты i -ой станции и разности расстояний, имеет вид [Монаков, 2018; Измерение координат..., 2014]:

$$D_i^2 = (x_{\text{ц}} - x_i)^2 + (y_{\text{ц}} - y_i)^2 = (\Delta R_i + D_0)^2, \quad (2)$$

где $x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$ – координаты ВС; x_i, y_i – координаты пункта приема.

На основании системы уравнений (1), разности расстояний ΔR_i по независимым базам определяются следующими соотношениями [Измерение координат..., 2014]:

$$\begin{cases} \Delta R_1 = D_1 - D_0 = (\Delta \tau_{01} \cdot c) - d_{01}; \\ \Delta R_2 = D_2 - D_0 = (\Delta \tau_{02} \cdot c) - d_{02}; \\ \Delta R_3 = D_3 - D_0 = (\Delta \tau_{03} \cdot c) - d_{03} \\ \dots \\ \Delta R_i = D_i - D_0 = (\Delta \tau_{0i} \cdot c) - d_{0i}, \end{cases} \quad (3)$$

В результате преобразования выражения (2) с учетом (1) и (3) получим линейную систему уравнений:

$$\begin{cases} x_{\text{ц}} \cdot x_1 + y_{\text{ц}} \cdot y_1 + \Delta R_1 \cdot D_0 = 0.5 \cdot a_1; \\ x_{\text{ц}} \cdot x_2 + y_{\text{ц}} \cdot y_2 + \Delta R_2 \cdot D_0 = 0.5 \cdot a_2; \\ x_{\text{ц}} \cdot x_3 + y_{\text{ц}} \cdot y_3 + \Delta R_3 \cdot D_0 = 0.5 \cdot a_3; \\ \dots \\ x_{\text{ц}} \cdot x_{M-1} + y_{\text{ц}} \cdot y_{M-1} + \Delta R_{M-1} \cdot D_0 = 0.5 \cdot a_{M-1}, \end{cases} \quad (4)$$

$$a_i = x_i^2 + y_i^2 - \Delta R_i^2.$$

Полученную систему уравнений (4) целесообразно представить в матричной форме:

$$A \times P = 0.5 \times a; \quad (5)$$

где A – матрица размерностью $(M - 1) \times L$; L – число измеряемых координат ВС; P – вектор размерностью $M \times L$; a – вектор размерностью $(M - 1) \times L$.

$$A = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & \Delta R_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{M-1} & y_{M-1} & \Delta R_{M-1} \end{vmatrix}$$

$$P = \begin{vmatrix} x_{\text{ц}} & y_{\text{ц}} & D_0 \end{vmatrix};$$

$$a = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 - \Delta R_1^2 \\ \dots \\ x_{M-1}^2 + y_{M-1}^2 - \Delta R_{M-1}^2 \end{bmatrix}.$$

Определению в матричном уравнении (5) подлежит вектор P , содержащий в общем случае плоскостные прямоугольные координаты $x_{ц}, y_{ц}$ и полярную координату дальности D_0 :

$$P = 0.5 \times (A^T \times A)^{-1} \times A^T \times a.$$

При реализации алгоритма функционирования в аппаратуре МПСН, упрощенная структура системы представлена на рисунке 10. Самолётный ответчик ВС формирует сигнал, который приходит на позиции с разными временными задержками (t_1, t_2, t_3). ПРМ 1030/1090 выполняет стандартные процедуры: избирательности, преобразования частоты, усиления принятых сигналов. Блок измерения (БИ) – фиксирует момент прихода сигнала относительно единого времени, установленного на НЗ. Эти сигналы проходят первичную обработку и передаются на сервер-вычислитель, где происходит определение местоположения ВС. Данные о местоположении ВС поступают в центр организации воздушного движения, диспетчерский пункт (ДП) и отображаются на индикаторе.

Для реализации МПСН необходима сеть наземных приёмных станций, принимающих сигналы от самолетного ответчика (рис. 10). Помимо собственных измерений приёмные станции позволяют получать непосредственное содержание принятых сообщений.

Достоинством МПСН, по сравнению со вторичными радиолокаторами, является дешевизна конструкции, которая не связана с построением «монументальных» антенных систем, характеризующихся большой апертурой, и силовых агрегатов их привода.

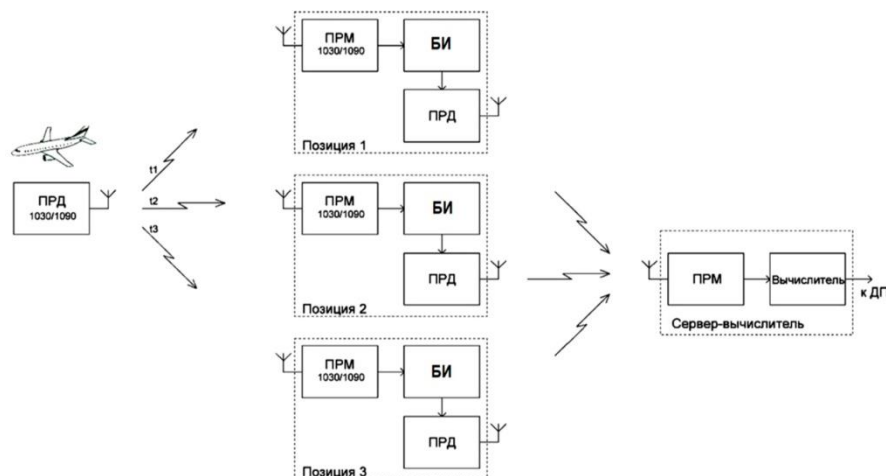


Рисунок 10 – Упрощенная схема принципа действия МПСН

Недостатком МПСН, в сравнении с ВРЛ [Туринцев и др., 2022], является потребность в обеспечении приема и обработки сигнала от ВС достаточным количеством станций и особенностями их геометрического расположения. Наличие большого количества приёмных станций, разнесённых в пространстве, приводит к формированию сложной конфигурации рабочей зоны (РЗ) системы – области пространства, в которой система обеспечивает требуемую точность измерений. Исследование параметров рабочей зоны возможно путем проведения натурных испытаний – облетов, а также путем математического моделирования, с привязкой к конкретному центру ОрВД.

Алгоритмы проводимых исследований

В разностно-дальномерных системах место ВС определяется как точка М пересечения двух линий положения Δr_{ab} и Δr_{ac} , имеющих форму гипербол (рис. 11) [Системы наблюдения..., 2023; Синтез многопозиционных..., 2022].

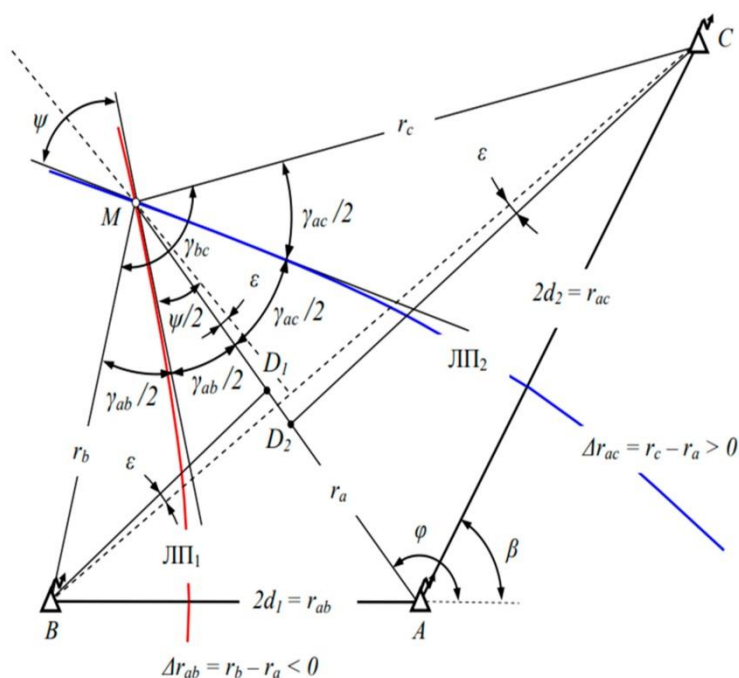


Рисунок 11 – Определение местоположения воздушного судна в разностно-дальномерной системе с совмещенными базами

Базы r_{ab} и r_{ac} каждой из пар радиомаяков «видны» из точки местоположения самолета под углами γ_{ab} и γ_{ac} (называемыми также углами визирования или далее базовые углы). При этом касательные в точке пересечения линий положения, задаваемых каждой парой станций, являются биссектрисами базовых углов γ_{ab} и γ_{ac} . Поэтому угол пересечения линий положения ЛП1 и ЛП2:

$$\psi = 0.5(\gamma_{ab} + \gamma_{ac}) = 0.5\gamma_{bc}. \quad (6)$$

Углы визирования γ_{ab} и γ_{ac} могут быть определены из прямоугольных треугольников BMD1 и CMD2 в следующем виде:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_{ab} &= \frac{r_{ab} \sin(180^\circ - \varphi)}{r_a - r_{ab} \cos(180^\circ - \varphi)} = \frac{r_{ab} \sin \varphi}{r_a + r_{ab} \cos \varphi}; \\ \operatorname{tg} \gamma_{ac} &= \frac{r_{ac} \sin(\varphi - \beta)}{r_a + r_{ac} \cos(\varphi - \beta)}, \end{aligned} \quad (7)$$

где γ_{ab} , γ_{ac} – базовые углы частных баз разностно-дальномерной системы; γ_{bc} – угол визирования общей базы; r_{ab} , r_{ac} – длины частных баз; r_a – расстояние от ведущей станции А до точки пересечения ЛП; φ – полярный угол на точку пересечения линий положения; β – угол пересечения частных баз разностно-дальномерной системы.

Существует понятие нормированного расстояния $\xi = \frac{r_a}{r_{ab}}$ и коэффициента симметричности частных баз $\mu = \frac{r_{ab}}{r_{ac}}$ разностно-дальномерной системы [Системы наблюдения..., 2023].

При определении углов визирования в соответствии с (7) необходимо учитывать, что при достижении углом γ_{ab} или γ_{ac} значения 90° тангенс имеет разрыв и меняет знак, в то время как геометрически углы визирования продолжают увеличиваться и превышают 90° .

С учетом этого базовые углы будут равны:

$$\begin{aligned} \gamma_{ab} &= \left| \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \varphi}{\xi + \cos \varphi} \right) \right| & \gamma_{ab} &= \begin{cases} \gamma_{ab} & \text{для } \xi \geq -\cos \varphi \\ 180^\circ - |\gamma_{ab}| & \text{для } \xi < -\cos \varphi \end{cases} \\ \gamma_{ac} &= \left| \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin(\varphi - \beta)}{\mu \xi - \cos(\varphi - \beta)} \right) \right| & \gamma_{ac} &= \begin{cases} \gamma_{ac} & \text{для } \mu \xi \geq -\cos(\varphi - \beta) \\ 180^\circ - |\gamma_{ac}| & \text{для } \mu \xi < -\cos(\varphi - \beta) \end{cases} \\ \gamma_{bc} &= \begin{cases} 0.5(\gamma_{ab} + \gamma_{ac}) & \text{для } \varphi > \beta \text{ или } \varphi < 0 \\ 0.5(\gamma_{ab} - \gamma_{ac}) & \text{для } 0 < \varphi \leq \beta \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

В общем случае, зная параметры ξ , μ и β разностно-дальномерной системы, можно определить по (8) углы визирования γ_{ab} и γ_{ac} для произвольной точки М пересечения ЛП, задаваемой полярными параметрами r_a и φ . Для этой же точки М пересечения линий положения из треугольника АМВ (рис. 11) по теореме синусов следует [Системы наблюдения..., 2023]:

$$\frac{r_a}{\sin(\varphi - \gamma_{ab})} = \frac{2d_1}{\sin \gamma_{ab}} = \frac{r_b}{\sin(180^\circ - \varphi)}.$$

Отсюда определится разность расстояний от точки М до станций А и В:

$$\Delta r_{ab} = r_b - r_a = \frac{2d_1}{\sin \gamma_{ab}} [\sin(\varphi - \gamma_{ab}) - \sin \varphi] = 2d_1 \frac{\cos\left(\varphi - \frac{\gamma_{ab}}{2}\right)}{\cos \frac{\gamma_{ab}}{2}}. \quad (9)$$

Аналогично из треугольника АМС (рис. 12) следует:

$$\frac{r_c}{\sin(\varphi - \beta)} = \frac{2d_2}{\sin \gamma_{ac}} = \frac{r_a}{\sin(180^\circ - \varphi + \beta - \gamma_{ac})}.$$

Тогда разность расстояний от точки М до станций А и С

$$\Delta r_{ac} = r_c - r_a = \frac{2d_2}{\sin \gamma_{ac}} [\sin(\varphi - \beta) - \sin(\varphi - \beta + \gamma_{ac})] = -2d_2 \frac{\cos(\varphi - \beta + \gamma_{ac})}{\cos \frac{\gamma_{ac}}{2}}. \quad (10)$$

Рабочей областью (зоной) МПСН является область земной поверхности, в пределах которой обеспечивается определение места ВС с заданной вероятностью по сигналам с радиальной ошибкой σ_r , не превышающей заданного (допустимого) значения $\sigma_{\text{доп}}$, где

$$\sigma_r \leq \sigma_{\text{доп}}. \quad (11)$$

Для сравнительно небольших расстояний и тем более с целью ориентировочного построения рабочих зон МПСН на карте целесообразно ограничиться рассмотрением гипербол как плоских кривых.

При решении навигационных задач для оценки точности используют среднеквадратическую радиальную ошибку σ_r , которая для двух линий положения определяется как [Системы наблюдения..., 2023]:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{ЛП-1}}^2 + \sigma_{\text{ЛП-2}}^2 + 2\rho_{12}\sigma_{\text{ЛП-1}}\sigma_{\text{ЛП-2}}\cos\alpha_M}}{\sin\alpha_M}, \quad (12)$$

где $\rho_{12} = \sum_{i=1}^n (\Delta\text{ЛП}_{1i}\Delta\text{ЛП}_{2i}) / n\sigma_{\text{ЛП-1}}\sigma_{\text{ЛП-2}}$ – коэффициент корреляции

между ошибками определения ЛП (измерения коэффициента корреляции отсчета для системы, имеющего значение $\rho_{12}=0.309$); $\sigma_{\text{ЛП-1}}$ и $\sigma_{\text{ЛП-2}}$ – среднеквадратические ошибки определения линий положения ЛП-1 и ЛП-2. Для независимых ошибок измерений линий положения $\rho_{12}=0$, тогда

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{ЛП-1}}^2 + \sigma_{\text{ЛП-2}}^2}}{\sin \alpha_M}, \quad (13)$$

где α_M – угол пересечения линий положения в точке местоположения ВС М; Ψ_1 и Ψ_2 – углы, под которыми видны базы системы (базовые углы). Приведенная формула для σ_r является общей для всех навигационных систем, использующих две ЛП [Системы наблюдения..., 2023].

Если в формулу (13) подставить значения ошибок $\sigma_{\text{ЛП-i}} = \sigma_{\text{НПi}} / 2 \sin \frac{\Psi_i}{2}$ для системы, то получим:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{\text{НП}} \sqrt{\sin^2 \frac{\Psi_1}{2} + \sin^2 \frac{\Psi_2}{2}}}{2 \sin \frac{\Psi_1}{2} 2 \sin \frac{\Psi_2}{2} \sin \alpha_M} = \sigma_{\text{НП}} K_r = \sigma_{\Delta\tau} c K_r, \quad (14)$$

где коэффициент

$$K_r = \frac{\sqrt{\sin^2 \frac{\Psi_1}{2} + \sin^2 \frac{\Psi_2}{2}}}{2 \sin^2 \frac{\Psi_1}{2} \sin^2 \frac{\Psi_2}{2} \sin \alpha_M}, \quad (15)$$

называется геометрическим фактором системы, $\alpha_M = \frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2}$.

Приведенная формула позволяет произвести оценку точности определения места ВС (σ_r) для любой точки рабочей области с учётом многих составляющих ошибок, в том числе и от воздействий организованных помех. Организованные помехи увеличивают величины $\sigma_{\Delta\tau}$ и $\sigma_{\text{НП}}$, а следовательно, и σ_r (при заданном K_r) или при выполнении условия (11), уменьшают $K_{\text{гдоп}}$, а следовательно, и рабочую зону МПСН.

По значениям $\sigma_{\Delta\tau}$, $K_r = f(\Psi_1, \Psi_2)$ можно построить линии равных точностей, где $\sigma_r = \text{const}$, и, в частности, можно построить рабочую область системы, ограниченную линией равной точности $\sigma_r = \sigma_{\text{гдоп}} = \text{const}$. В этом случае

при $\sigma_{\Delta\tau} = \text{const}$ имеем $K_{\text{гдоп}} = \frac{\sigma_{\text{гдоп}}}{c \sigma_{\Delta\tau}} = \text{const}$.

Оценка применимости МПСН может быть получена путем построения рабочей зоны, отражающей место расположения НЗ, между которыми организован канал связи и предусмотрено обслуживание этих объектов.

Как указано выше, рабочая зона системы МПСН определяется путём совместной оценки (выделения общей части) «рабочей области по точности», ограниченной линией, равной точности $\sigma_{\text{гдоп}} = \text{const}$, и зон (дальности) действия

наземных станций, обеспечивающих получение не менее двух ЛП [Системы наблюдения..., 2023].

В результате проводимых расчетов и составления модели функционирования, для автоматизации процесса управления воздушным движением должно выполняться условие $\sigma_r < \sigma_{\text{доп}}$, обеспечение которого позволит выполнить требования по точностным показателям и соответственно решить навигационную задачу.

Суть алгоритма построения рабочей зоны МПСН заключается в моделировании полёта ВС вокруг наземных станций с учётом влияния взаимного расположения ВС и наземных станций или так называемого геометрического фактора системы, который выражается формулой (14). Данное математическое представление алгоритма построения рабочей зоны МПСН подробно описано в [Исследование точностных характеристик..., 2023].

Результаты моделирования (исследований)

На работоспособность МПСН (точностные характеристики) существенно влияет топология размещения позиций системы, а именно геометрический фактор (места расположения НЗ) и размеры зон покрытия [Using..., 2022]. Расчет данных характеристик производился путем построения зоны видимости системы с учетом дальности установки приемников друг от друга и их количества применительно к трем областям воздушного пространства Российской Федерации, находящимся под управлением региональных центров ОрВД: Иркутским, Нерюнгринским и Магаданским.

При размещении НЗ МПСН в местах, имеющих значительное изменение высоты естественных возвышений, становится необходимостью учитывать размещение их на земной поверхности, а также учитывать возможность электропитания и обслуживания без привлечения дополнительных материальных средств.

Для реализации возможности покрытия зоны ответственности Иркутского регионального центра ОрВД, включая области пространства без радиолокационного наблюдения, выбраны пять позиций, отвечающих всем предъявленным требованиям: Таксимо (N56 21 33; E114 55 20); Нерпо (N57 28 13; E115 18 39); Чара (N56 54 27; E118 15 29); Бамбуйка (N55 46 40; E115 46 51); Куанда (N56 19 39; E116 7 14) [Лежанкин и др., 2019].

Географическое размещение НЗ позволяет обеспечить позиции требуемым электропитанием и техническим обслуживанием, а также полным контролем воздушного пространства.

Для предложенного размещения НЗ были построены линии положения, образующие рабочую зону, при начальных условиях требуемой точности: среднеквадратическое отклонение (СКО) измерения временного интервала 10^{-9} с; СКО радиальной ошибки: 5, 10, 20 метров (чёрный, красный, зелёный – линии соответственно) (рис. 12). Построенная зона для двух пар НЗ позволяет обеспечить качественный прием сигнала от ВС при использовании двух пар станций с заданным качеством ошибок позиционирования.

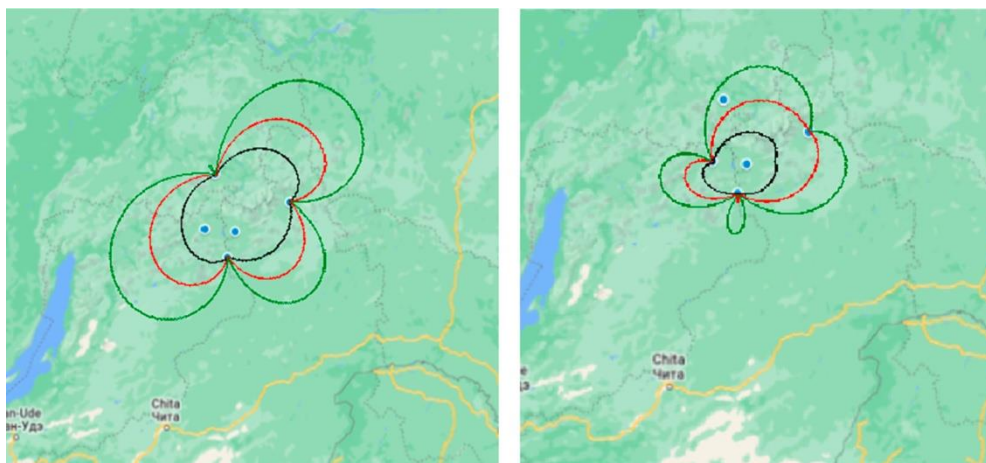


Рисунок 12 – Место установки приемников МПСН в Иркутском центре

Построенная рабочая зона МПСН полностью покрывает область пространства, где наблюдение не выполняется. Недействующие НЗ могут выступать в качестве резервных станций, однако при использовании их рабочие зоны изменяют свою конфигурацию.

Для перекрытия проблемного участка в Нерюнгринском региональном центре ОрВД потребуется четыре НЗ. Данные станции будут устанавливаться на позициях: «Эльга» (N56 11 36.1, E130 37 29.2), «Ыллымах» (N58 34 38, E126 41 46), «Кутана» (N59 01 14.6, E131 47 05.3) и «Гыным» (N57 41 55, E130 37 24). Такое размещение станций позволяет перекрыть всю зону ответственности РЦ Север Нерюнгринского центра с высокой точностью обнаружения. На рисунке 13 изображены место установки приемников и формируемые рабочие зоны, полностью перекрывающие слепую зону радиолокационного контроля с заданной точностью позиционирования, причем позиция «Гыным» может также использоваться как резервная, либо в качестве сервера-концентратора.

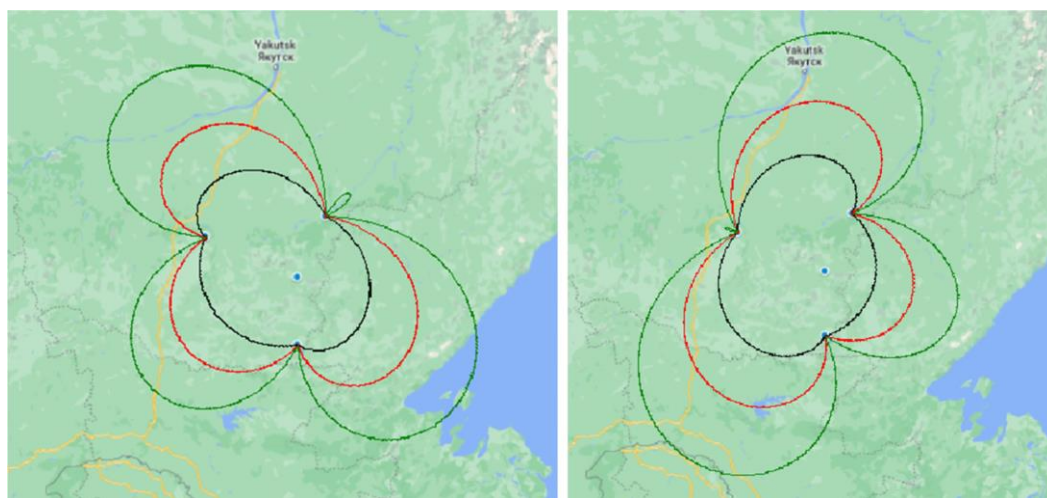


Рисунок 13 – Место установки приемников МПСН в Нерюнгринском центре

Для перекрытия проблемного участка в Магаданском региональном центре ОрВД потребуется пять НЗ. Данные станции будут устанавливаться на позициях: «Тополовка» (N61 21 57, E160 07 09), «Омсукчан» (N62 30 52, E155 46 16), «Парень» (N62 39 12, E162 22 49), «Тахтоямск» (N60 11 51, E154 40 48) и «Эвенск» (N61 55, E159 14) (сервер-вычислитель), так как она находится на допустимых расстояниях до остальных четырех приемников. Такое размещение станций позволяет перекрыть всю зону ответственности Магаданского центра с высокой точностью обнаружения. На рис. 14 изображены место установки приемников и формируемая зона видимости. Цветами обозначены зоны разной точности 5, 10, 20 метров.

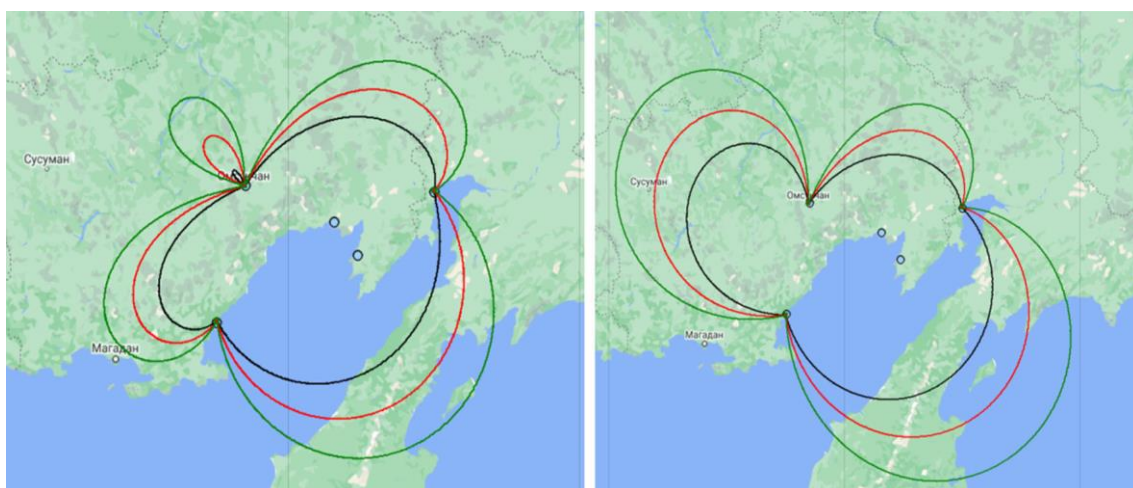


Рисунок 14 – Место установки приемников МПСН в Магаданском центре

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты оценки возможности применения МПСН в региональных центрах ОрВД Российской Федерации, путем математического моделирования построения рабочих зон, с целью обеспечения контроля за перемещением ВС по трассам и маршрутам с требуемым уровнем безопасности, регулярности и эффективности полетов позволяют сделать выводы:

- использование МПСН позволяет обеспечить самолетовождение по оптимальным траекториям во всей зоне ответственности региональных центров;
- обеспечение постоянного контроля за перемещением и управление движением ВС во всей зоне ответственности региональных центров;
- увеличение качества навигационного обеспечения полетов за счет резервирования средств наблюдения во всей зоне ответственности региональных центров;
- повышение точности и надежности определения местоположения на всем маршруте полета ВС.

Заключение

В статье представлены результаты оценки возможности реализации процесса наблюдения за пространственным положением ВС в региональных центрах ОрВД Российской Федерации для обеспечения безопасности, регулярности и эффективности полетов гражданской авиации. Исследования точностных характеристик предполагаемых МПСН, согласно топологии размещения компонентов системы, позволяют выполнить требования по реализации точностных показателей, предъявляемых к системам наблюдения согласно нормативным документам. Данные предложения возможно использовать при развертывании интегрированных МПСН в конкретных региональных центрах ОрВД. Однако представленные в статье результаты математического моделирования носят обзорный характер, применительно к конкретно выбранным региональным центрам ОрВД. В дальнейшем предполагается разработка методики формирования структуры МПСН, обеспечивающей потребности всей территории Российской Федерации по безопасному самолетовождению и реализующей потребности экономики нашего Государства.

Библиографический список

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.

Борисов Е. Г. Расчет координат источника радиоизлучения многопозиционной системой пассивной локации на основе разностно-дальномерных и энергетических определений / Е. Г. Борисов, И. Н. Шестаков // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 40. С. 41-51. EDN YTPDQB.

Измерение координат источников радиоизлучения многопозиционной пассивной разностно-дальномерной системой произвольной конфигурации / Б. В. Матвеев, В. П. Дубыкин, Д. Ю. Крюков [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10, № 5. С. 114-119. EDN SWENBV.

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 LKMFMX.

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.

Логвин А. И. Интеграция Аэронавигационной системы России в глобальную систему ОрВД / А. И. Логвин, А. А. Бабич // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2009. № 139. С. 134-135. EDN LDHMPV.

Монаков А. А. Алгоритм оценки координат объектов для систем мультилатерации // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2018. № 4. С. 38-46. DOI 10.32603/1993-8985-2018-21-4-38-46. EDN VBNQKS.

Определение местоположения воздушного судна в многопозиционной системе наблюдения на основе мультилатерационной технологии / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин,

Т. Ю. Портнова, Н. В. Поваренкин // 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. 92-105. EDN QPUUJP.

Патрикеев О. В. Подавление помех в широкополосных каналах связи // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию Университета, Москва, 18–20 мая 2016 года. М.: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2016. С. 145. EDN XBAODD.

Проект Стратегии развития Аэронавигационной системы России до 2030 года // Руководящие документы, информационные и аналитические материалы ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», 2021.

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.

Системы наблюдения на воздушном транспорте. Конкретные средства наблюдения. Многопозиционные системы наблюдения / Э. А. Болелов, Н. В. Гевак, В. В. Ерохин [и др.]. М.: ИД Академии Жуковского, 2023. 80 с. EDN UPSCGQ.

Скрыпник О. Н. Подавление помех в широкополосных радиоканалах диапазона УВЧ / О. Н. Скрыпник, О. В. Патрикеев, Н. Г. Астраханцева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 209. С. 129-135. EDN SXXTON.

Туринцев С. В. Программная реализация алгоритма кодирования и декодирования местоположения ВС в дискретно-адресном режиме вторичной радиолокации / С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // 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 YGUUUY.

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

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 Ekspluatatsiya vozdushnogo transporta: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. 2021. 421 p. EDN RAOAVI. (in Russian)

Bolelov E. A., Lezhankin 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 grazhdanskoj aviatsii*. 3(40): 89-101. EDN LKMFMX. (in Russian)

Bolelov E. A., Gevak N. V., Erokhin V. V., [et al.]. (2023). Air transport surveillance systems. Specific means of observation. Multi-position surveillance systems. Moscow: ID Akademii Zhukovskogo. 80 p. EDN UPSCGQ. (in Russian)

- Borisov E. G., Shestakov, I. N. (2022). Calculation of the coordinates of a radio emission source by a multi-position passive location system based on difference-rangefinder and energy determinations. *Nauchnyj vestnik GosNII GA*. 40: 41-51. EDN YTPDQB. (in Russian)
- Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Portnova T. Yu., Povarenkin N. V. (2021). Determining the location of an aircraft in a multi-position surveillance system based on multilateration technology. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii: sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Irkutsk, 14–15 oktyabrya 2021 goda. Tom 2. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii»*. 92-105. EDN QPUUJP. (in Russian)
- Lezhankin 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 modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami*. 1(2): 46-61. EDN ZDOOGT. (in Russian)
- Logvin A. I., Babich A. A. (2009). Integration of the Russian Air Navigation System into the global ATM system. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii*. 139: 134-135. EDN LDHMVP. (in Russian)
- Matveev B. V., Dubykin V. P., Kryukov D. Yu. [et al.]. (2014). Measuring the coordinates of radio emission sources with a multi-position passive difference-rangefinder system of arbitrary configuration. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 5: 114-119. EDN SWENBV. (in Russian)
- Monakov A. A. (2018). Localization algorithm for multilateration systems. *Journal of the Russian Universities Radioelectronics*. 4: 38-46. DOI: 10.32603/1993-8985-2018-21-4-38-46 (in Russian)
- Patrikeev O. V. (2016). Suppression of interference in broadband communication channels. *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: Sbornik tezisov dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu Universiteta, Moscow: Akademiya imeni N.E. Zhukovskogo*. 145. EDN XBAODD (in Russian)
- Proekt Strategii razvitiya Aeronavigacionnoj sistemy Rossii do 2030 goda. (2021). *Guidance documents, information and analytical material*, FGUP «Goskorporatsiya po OrVD» (in Russian)
- Skrypnik O. N., Patrikeev O. V., Astrakhantseva N. G. (2014). Suppression of interference in broadband UHF radio channels. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii*. 209: 129-135. EDN SXXTOH (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 grazhdanskoj aviacii: Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii"*. 115-121. EDN YGUUUY. (in Russian)
- 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.
- 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)

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 621.396.96

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_119

ОБНАРУЖЕНИЕ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛОВ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ МОДУЛЯЦИИ БОЛЕЕ ЕДИНИЦЫ В ЗАДАЧАХ РАДИОМОНИТОРИНГА АВИАЦИОННЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

*Муслим Амирович Межетов,
orcid.org/0000-0002-9509-6169,
кандидат физико-математических наук
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
milsumka@mail.ru*

*Алексей Александрович Шалаев,
orcid.org/0000-0002-8490-5143,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
alexsnow9999@gmail.com*

*Владислав Павлович Чурбаков,
orcid.org/0009-0008-0154-0400,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
vlad.churbakov@yandex.ru*

Аннотация. Связь между воздушным судном и землёй является основным средством, позволяющим организовать управление воздушным движением и обеспечить безопасность и регулярность воздушных перевозок. В целях поддержания работоспособности каналов радиосвязи производится радиоконтроль. В статье рассмотрен вопрос создания алгоритма радиоконтроля, позволяющего классифицировать амплитудно-модулированные сигналы по глубине модуляции, а также показана возможность детектирования перемодулированных колебаний, позволяющая восстановить исходное информационное сообщение с достаточной для его восприятия точностью.

Ключевые слова: перемодуляция, балансная модуляция, анализ сигналов, обнаружение помех, когнитивное радио, радиоконтроль.

DETECTION AND DEMODULATION OF SIGNALS WITH MODULATION INDEXES GREATER THAN ONE IN RADIO MONITORING OF AVIATION RADIO COMMUNICATION

*Muslim A. Mezhetov,
orcid.org/0000-0002-9509-6169,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
milsumka@mail.ru*

*Alexey A. Shalaev,
orcid.org/0000-0002-8490-5143,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
alexsnow9999@gmail.com*

*Vladislav P. Churbakov,
orcid.org/0009-0008-0154-0400,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664047, Russia
vlad.churbakov@yandex.ru*

Abstract. Communication between an aircraft and ground services is the main means of organizing air traffic control and providing the safety and regularity of air transportation. In order to maintain the operability of radio communication channels is to perform radio monitoring. This article considers a radio monitoring algorithm. It makes possible to classify amplitude-modulated signals by modulation depth, to show the possibility of detection of overmodulated oscillations and to restore the initial information message with sufficient accuracy for its perception.

Key words: overmodulation, double-sideband suppressed carrier modulation, signal analysis, interference detection, cognitive radio, radio monitoring.

Введение

Основные требования, предъявляемые к современным авиаперевозкам – безопасность и регулярность. Данные требования невозможно соблюсти без организации процесса управления воздушным движением (УВД), в основе которого лежит связь – обмен информацией между диспетчерской службой и воздушным судном (ВС) [Бондарай и др., 2019; Определение местоположения..., 2021]. При этом связь должна быть бесперебойной, то есть непрерывно обеспечивать возможность сторон осуществлять обмен информацией, что достигается благодаря комплексу мер, включающему в себя поддержание аппаратуры в исправном состоянии и оптимальное использование частотного ресурса [Ерохин и др., 2023; Скрыпник и др., 2014]. Одной из мер, направленных на достижение заданного уровня надёжности для

авиационных линий связи (АЛС), является радиоконтроль – процесс выявления мешающих работе систем радиосигналов. Реализуется радиоконтроль посредством радиомониторинга – оперативного анализа электромагнитного поля в данной точке на наличие в нём сигналов, а также их классификация и определение наиболее вероятного источника излучения. Наиболее информативной характеристикой радиосигналов при их классификации является тип модуляции, качественно определяющий радиотехническую систему [Липатников и др., 2018].

Целью работы является разработка алгоритма, позволяющего подразделять сигналы с изменяющейся амплитудой на амплитудномодулированные, балансномодулированные и перемодулированные, а также детектировать данные типы сигналов.

Постановка задачи

В современных радиосвязных системах широкое применение получила амплитудная модуляция. Её использование обусловлено простотой реализации модуляторов и детекторов даже в аналоговых схемах, без осуществления цифровой обработки сигналов (ЦОС). Однако, с развитием программно-определяемых радиосистем (ПОР) открываются перспективы применения более совершенной, с точки зрения энергоэффективности, балансной модуляции (БМ), ранее не применяемой ввиду сложности реализации модуляторов и детекторов для таких типов сигналов в аналоговых схемах [Туринцев и др., 2022].

В то же время остаётся актуальным вопрос детектирования сигналов с балансной модуляцией, так как схемы, построенные по принципу прямого преобразования, требуют точного восстановления частоты несущей, что не всегда возможно, особенно на подвижных объектах из-за эффекта Доплера. В отдельных случаях в информационном сигнале может присутствовать постоянная составляющая, что может приводить к перемодуляции сигнала. Это может происходить как по причине какой-либо неисправности на передающей стороне, так и из-за специфики информационного сигнала. Соответственно, при построении детекторов БМ сигналов немаловажным является возможность выявить и демодулировать перемодулированный сигнал без искажения информации.

В системах радиоконтроля автоматизация процесса определения типа модуляции исследуемого сигнала является одним из наиболее важных направлений в развитии средств радиомониторинга [Межетов и др., 2017; Патрикеев, 2016]. В совокупности с определением несущей частоты, определение типа модуляции позволяет автоматически выдвинуть гипотезу о принадлежности исследуемого сигнала к той или иной радиотехнической системе, что существенно снижает нагрузку на оператора средства радиоконтроля. Однако, конечным критерием для определения назначения источника исследуемого сигнала служит передаваемая им информация, поэтому помимо определения типа модуляции и несущей частоты для средства радиомониторинга важно также быть способным демодулировать

любые сигналы, которые возможно принять. Ввиду этого демодуляция перемодулированных и балансномодулированных сигналов, а также определение явления перемодуляции являются актуальной задачей в сфере создания систем автоматизированного радиоконтроля.

Анализ влияния перемодуляции на БМ и АМ сигналы

Эффект перемодуляции возникает тогда, когда модулирующее колебание при амплитудной модуляции меняет свой знак [Оценка эффективности..., 2012]. В этом случае происходит смена фазы высокочастотного заполнения модулированного сигнала на 180 градусов, что приводит к частичной компенсации энергетики несущего колебания и в спектре отображается как уменьшение модуля гармоник на несущей частоте. При этом, если добиться полного отсутствия постоянной составляющей в информационном сигнале, т.е.

$$\int_0^{t_k} i(t) dt = 0 \int_0^{t_k} i(t) dt = 0, \quad (1)$$

где $i(t)$ – информационный сигнал, t_k – длительность сообщения, то энергетика высокочастотного заполнения без смещения фазы будет численно равна энергетике заполнения со смещением фазы на 180°, что приведёт к полной компенсации несущего колебания в сигнале. Полученный сигнал называют балансномодулированным, и в сравнении с АМ сигналом, БМ сигнал, занимая ту же полосу частот, выигрывает с точки зрения затрачиваемой на его передачу энергии, так как передатчик не излучает не содержащую никакой информации гармонику на несущей частоте. На практике добиться выполнения условия (1) для реальных сигналов невозможно, и в балансномодулированном сигнале на несущей частоте всегда будет присутствовать малая по амплитуде гармоника, по величине которой можно косвенно судить об исправности передающей системы [Карелин, 2021].

В системах связи, основанных на балансномодулированных сигналах, явление глубокой перемодуляции является нормальным и не нарушает работу системы. Для систем, использующих амплитудную модуляцию, это явление является пагубным, так как при нём типовой амплитудный детектор не способен восстановить информационный сигнал.

С целью определения степени влияния перемодуляции на детектируемый сигнал было проведено моделирование в программной среде LabView [Сергеев, 2020]. На рисунках 1-5 приведены искажения во временной и частотной областях, получаемые при детектировании перемодулированного сигнала с различными глубинами модуляции. Тестовый сигнал – случайно сгенерированный спектр в диапазоне 300 – 700 Гц, имитирующий речевое сообщение.

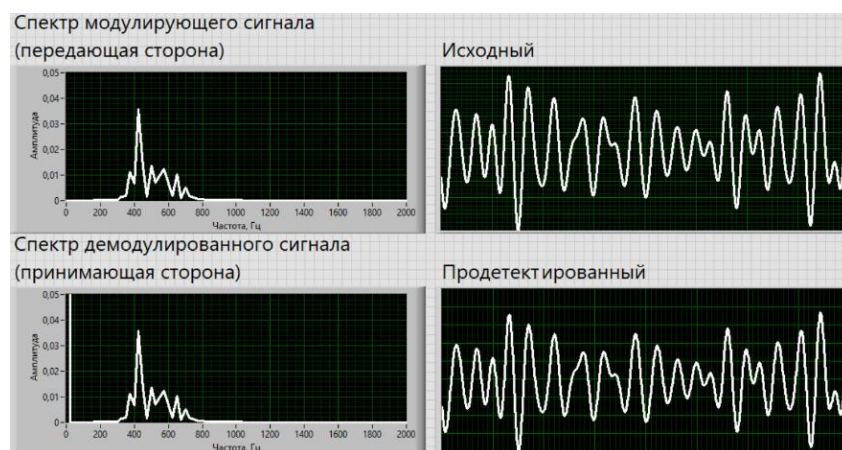


Рисунок 1 – Глубина модуляции 1, искажений нет



Рисунок 2 – Глубина модуляции 1.4, искажения незначительны, восприятие речи возможно

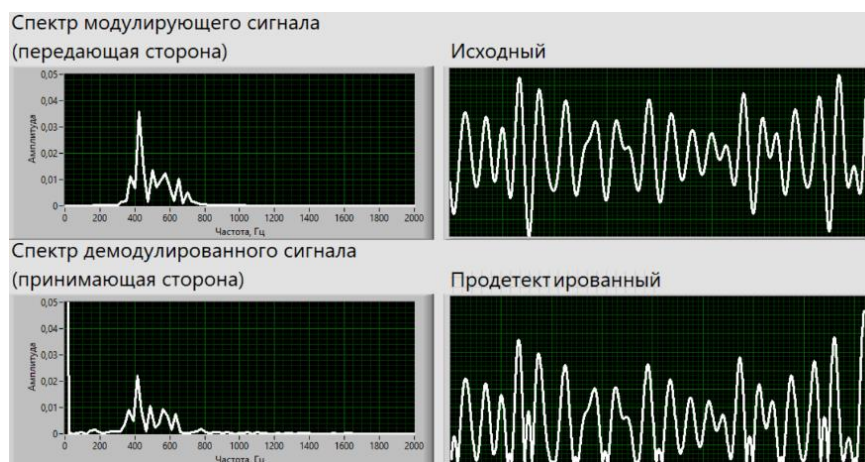


Рисунок 3 – Глубина модуляции 2, заметные искажения сигнала, восприятие речи затруднено

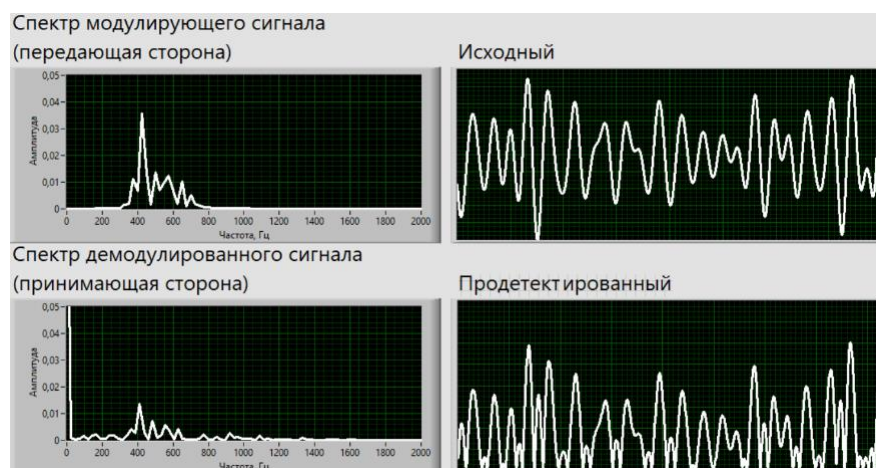


Рисунок 4 – Глубина модуляции 2.8, спектр сигнала искажён, энергетика перераспределилась в область более высоких частот, восприятие речи НЕВОЗМОЖНО

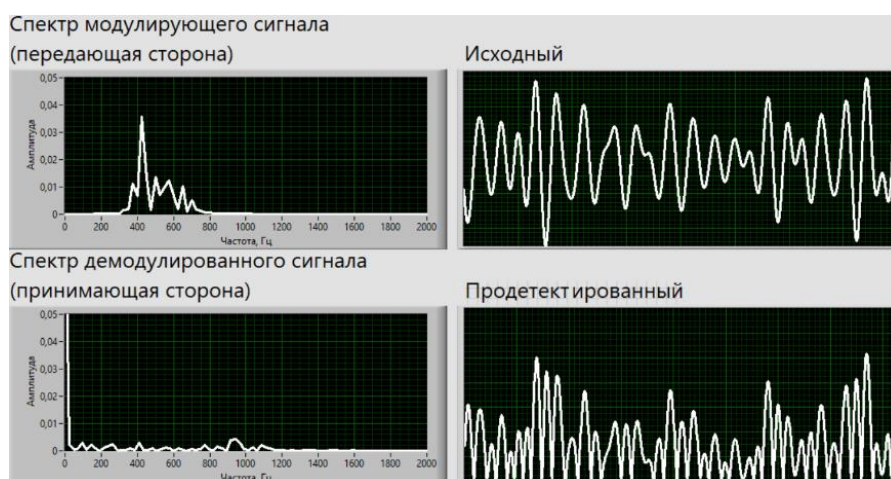


Рисунок 5 – Глубина модуляции 5, сигнал близок к балансному, энергетика перераспределилась в область более высоких частот, восприятие речи НЕВОЗМОЖНО

Исходя из проведённого моделирования, было установлено, что даже незначительная перемодуляция сигнала приводит к полной невозможности демодулировать его при помощи пикового детектора, применяемого в большинстве современных АМ приёмниках. Несмотря на то, что в аналоговых передатчиках получение перемодулированных сигналов маловероятно, в цифровых системах, особенно в ПОР, это возможно в случае нарушения работы источника информационного сигнала, например – выхода из строя диодного ограничителя или ошибки в работе программной части радиосистемы. Мониторинг радиосетей и обнаружение перемодуляции в системах передачи информации, использующих АМ сигналы, в таком случае помогут оперативно определить их неисправность, что положительно скажется на общей надёжности данного канала связи [О восстановлении формы..., 2021].

Материалы и методы

В общем виде АМ модуляцию можно представить в виде следующего выражения:

$$S(t)_{am} = s(t) \cdot \sin(w_{нec} \cdot t + \varphi_0), S(t)_{am} = s(t) * \sin(w_{нec} * t + \varphi_0) \quad (2)$$

где $s(t)$ $s(t)$ – информационный сигнал, $w_{нec}$ $w_{нec}$ – угловая частота несущего колебания, φ_0 φ_0 – начальная фаза несущего колебания [Баженов и др., 2019]. Если в сигнале $s(t)$ $s(t)$ есть постоянная составляющая, такая, что на всём временном интервале, на котором сигнал определён, функция $s(t) \geq 0$ $s(t)$, то такой сигнал называется амплитудномодулированным. Если это условие не выполняется, то перемодулированным. Если же выполняется условие (1), то сигнал является балансномодулированным. В то же время следует обратить внимание на то, что все три типа модуляции представляются одинаковым выражением – в виде произведения информационного сигнала на несущее гармоническое колебание. Тогда будет справедлива следующая запись:

$$S(t)_{am} = 0 \text{ при } s(t) = 0 \vee \sin(w_{нec} \cdot t + \varphi_0) = 0, \\ S(t)_{am} = 0 \text{ при } s(t) = 0 \vee \sin(w_{нec} * t + \varphi_0) = 0, \quad (3)$$

Очевидно, что при амплитудной модуляции полученный сигнал будет принимать значение 0 только при смене полупериода несущего колебания. В то же время, в случае с перемодулированным или балансномодулированным сигналами, функция $S(t)_{am}$ $S(t)_{am}$ будет равна 0 в том числе и при переходах через ось времени информационного сигнала $s(t)$ $s(t)$. При этом, фаза высокочастотного заполнения будет изменяться на 180 градусов, так как при переходе через ноль функция $s(t)$ $s(t)$ поменяет знак у всего произведения (2). Таким образом, можно сказать, что при смене знака информационного сигнала в случае с перемодулированными и балансномодулированными сигналами будет изменяться полупериод высокочастотного заполнения.

Результаты моделирования и исследования

Для демонстрации данного явления было проведено моделирование в программной среде LabView [Ерохин и др., 2021] сигналов с перемодуляцией. Получено три возможных варианта изменения полупериода высокочастотного заполнения, показанных на рисунках 6.а), 6.б) и 6.в).

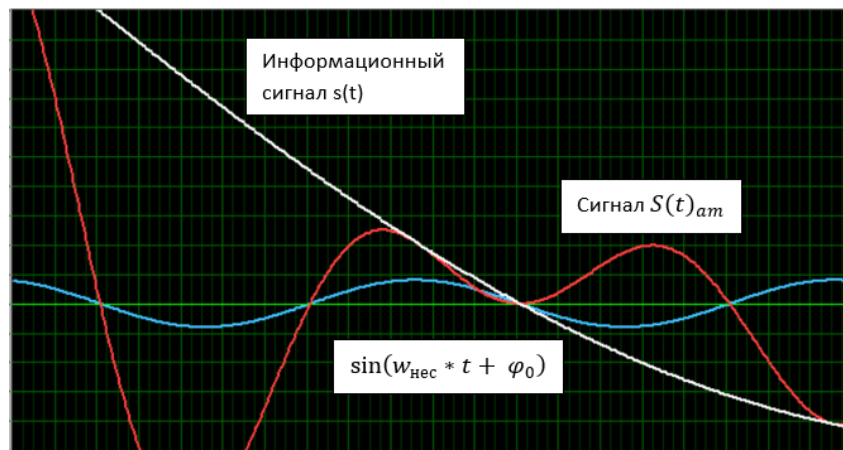


Рисунок 6.а) – Смена знака информационного сигнала совпадает со сменой знака несущего колебания: результирующий знак произведения (2) не изменяется, и полупериод ВЧ колебания удваивается

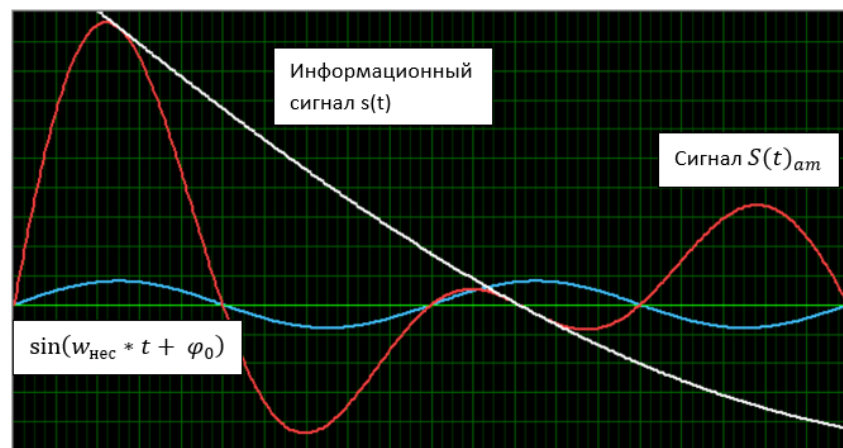


Рисунок 6.б) – Информационный сигнал за один период несущего колебания изменяет свой знак однократно, эта смена не совпадает со сменой знака несущего колебания: у результирующего колебания обнаружены два уменьшенных полупериода – до и после перехода огибающей через ось времени

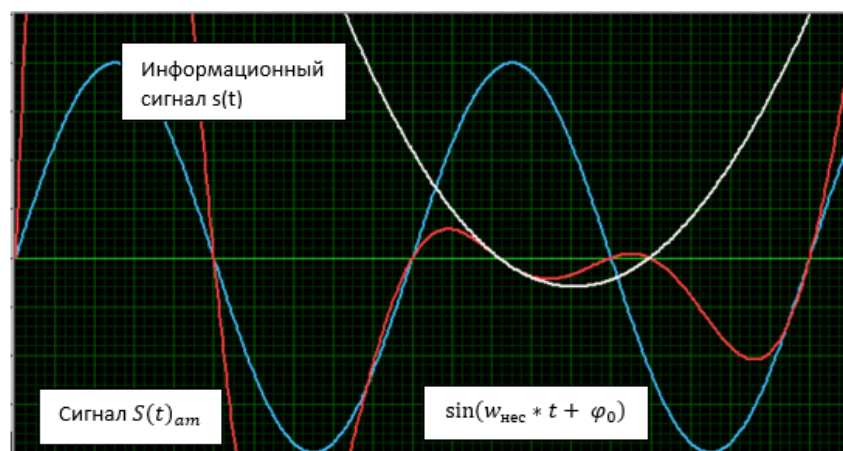


Рисунок 6.в) – Информационный сигнал за один период несущего колебания изменяет свой знак несколько раз: количество уменьшенных полупериодов у результирующего колебания будет вдвое больше числа смен знака у огибающей за данный период несущего колебания

Выявленное свойство балансномодулированного сигнала предлагается использовать для определения тех точек в сигнале, после которых полученные значения с амплитудного детектора необходимо брать с обратным знаком, что позволит восстанавливать информационный сигнал на приёмной стороне как у балансномодулированных, так и у перемодулированных колебаний. Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 7.

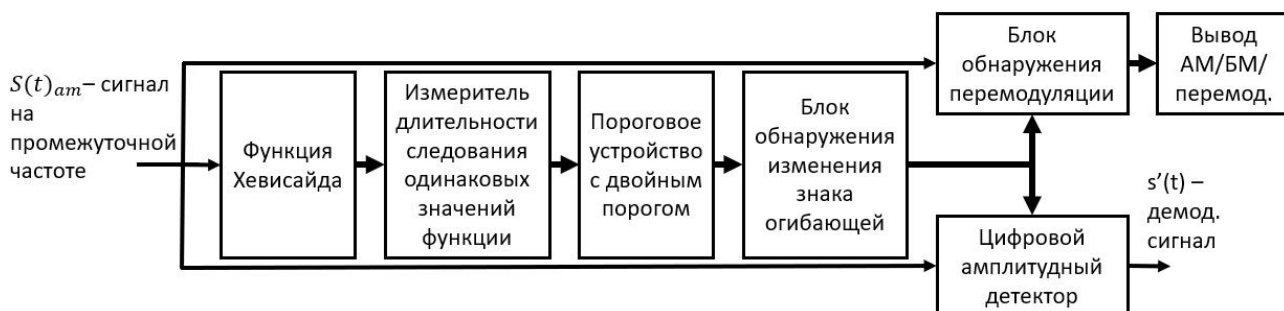


Рисунок 7 – Структурная схема универсального амплитудного детектора

Принятый сигнал, перенесённый на промежуточную частоту, подаётся на цепь устройства обнаружения перехода огибающей через ось времени. Этот сигнал представлен на рисунке 8.

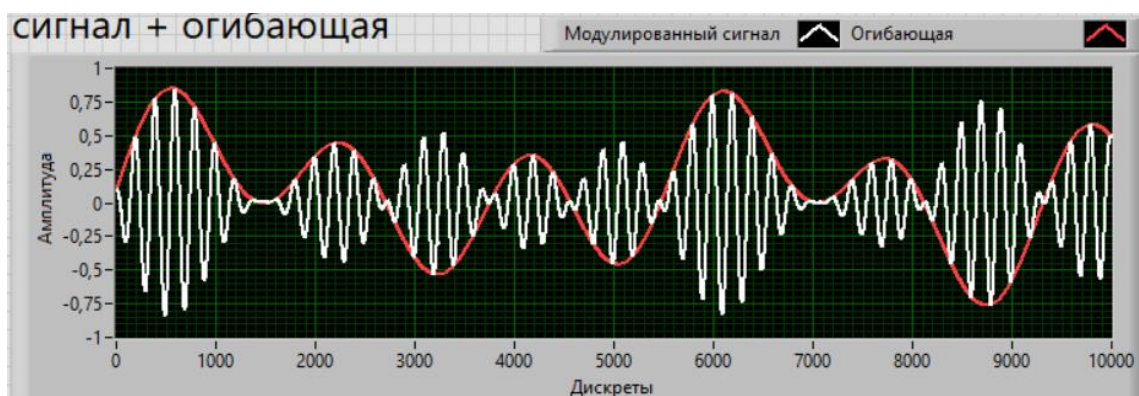


Рисунок 8 – Попадающий на вход универсального амплитудного детектора сигнал

В начале цепи установлен блок функции Хевисайда [Арефьев и др., 2021], предназначенный для выделения из сигнала информации о полупериодах ВЧ заполнения. На рисунке 9 представлена осциллограмма сигнала на выходе с данного блока.

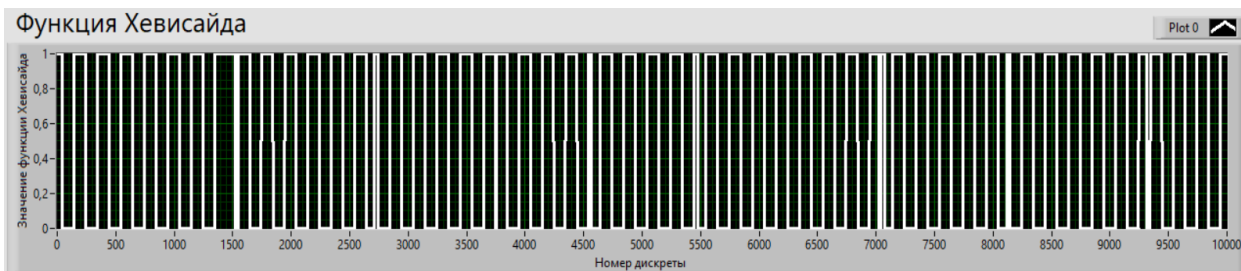


Рисунок 9 – Сигнал, получаемый с выхода блока функции Хевисайда: длительность прямоугольных импульсов численно равна длительности положительных полупериодов принимаемого колебания

Полученный сигнал с блока функции Хевисайда попадает на вход в блок измерителя длительности следования одинаковых значений функции. Этот блок подсчитывает ширину прямоугольных импульсов, как со значением 1 (положительный полупериод), так и со значением 0 (отрицательный полупериод). Вместе с блоком функции Хевисайда данный блок образует измеритель длительности полупериодов. На выходе с данного блока получается массив данных, значения которого равны длительности полупериодов принимаемого сигнала.

Поскольку при цифровой обработке возникают ошибки, связанные с дискретностью получаемых значений, перед анализом полученный массив точек проходит через пороговое устройство с двойным порогом, в котором устраняются малые флуктуации измеренных значений полупериодов, вызванных дискретностью счёта. Значения, принадлежащие диапазону 0,05 от моды полупериода (считается, что так как несущая частота много больше самой высокой частоты информационного сигнала, то мода от полученного значения полупериодов будет численно равна истинному полупериоду несущего колебания), приравниваются к полученному значению моды. Полученный массив для данного сигнала приведён на рисунке 10.

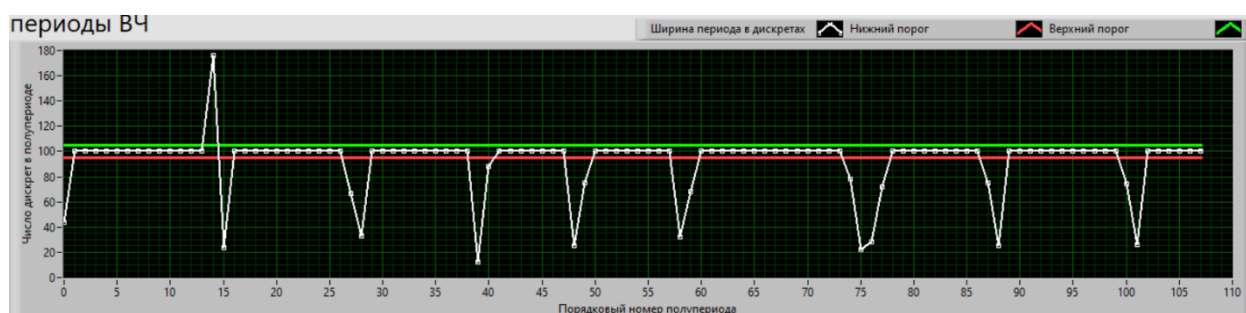


Рисунок 10 – Получаемый набор точек с измерителя полупериодов и визуализация двойного порога

После порогового устройства в блоке обнаружения изменения знака огибающей производится анализ длительностей полупериодов. Каждое изменение полупериода в большую сторону, а также каждое второе идущее подряд изменение полупериода в меньшую сторону свидетельствуют о

необходимости инвертировать сигнал, получаемый с амплитудного детектора, до следующей точки изменения информационным сигналом своего знака. Определение же конкретного отсчёта, на котором требуется начать инвертировать сигнал с амплитудного детектора, определяется путём суммирования значений длительности полупериодов, обработанных блоком обнаружения изменения знака огибающей. В результате работы данного блока формируется массив точек – набор порядковых номеров тех дискрет, с которых нужно начать инвертировать огибающую с амплитудного детектора. Этот набор точек подаётся как на сам цифровой амплитудный детектор, осуществляющий демодуляцию и инвертирование соответствующих участков сигнала, так и на блок обнаружения перемодуляции. Полученное в результате детектирования перемодулированного сигнала информационное сообщение приведено на рисунке 11.

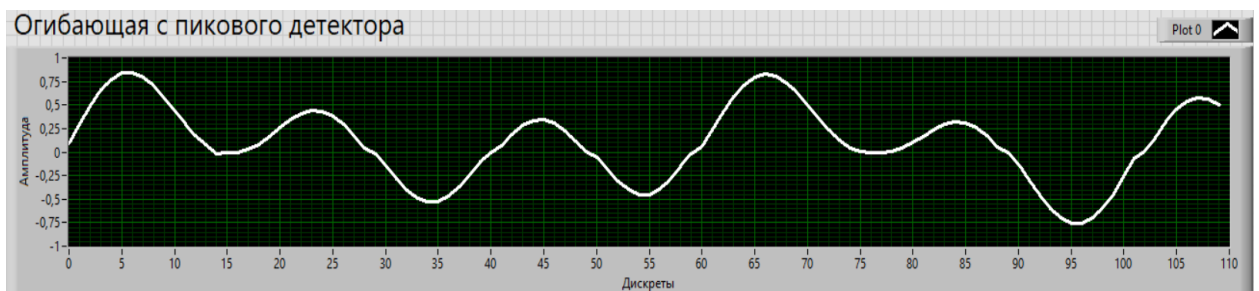


Рисунок 11 – Продетектированный перемодулированный сигнал: в сравнении с огибающей на рисунке 8 наблюдаются минимальные искажения, вызываемые дискретностью обработки сигнала

Блок обнаружения перемодуляции представляет собой коммутирующее устройство, два интегратора и устройство оценки и решения. Структурная схема данного блока приведена на рисунке 12.

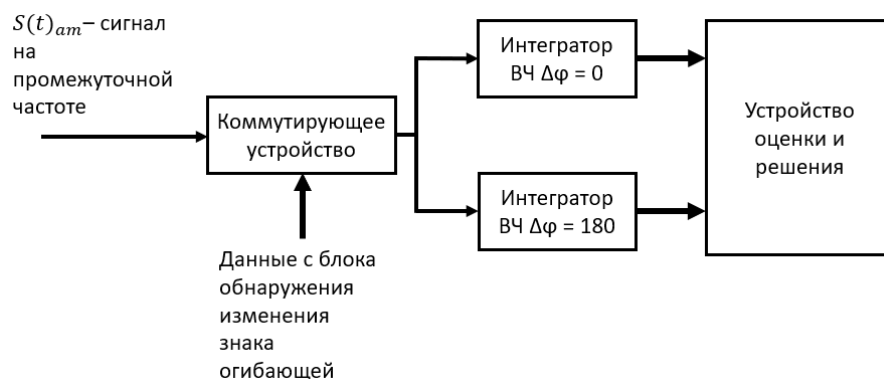


Рисунок 12 – Структурная схема блока обнаружения перемодуляции

Коммутирующее устройство, согласно данным с блока обнаружения изменения знака огибающей, поочерёдно коммутирует на соответствующие интеграторы инвертированную и не инвертированную по фазе часть сигнала.

После окончания работы интеграторов, устройство оценки и решения сравнивает полученные на интеграторах значения, и, если на одном из каналов обнаружен 0, а на другом – конечное численное значение – выдаёт сигнал о наличии амплитудной модуляции. Если же на обоих каналах значение, в пределах заданного диапазона, одинаковое и отличное от 0 – устройство выдаёт сигнал о наличии балансной модуляции. Если же оба значения не равны 0, но в то же время и не равны друг другу – устройство выдаёт сигнал о наличии перемодуляции.

Примечательно также, что описанный выше способ демодуляции сигналов применим, в том числе, и к двухпозиционной фазовой манипуляции (ФМн), что не противоречит описанной выше теории, так как описать такой сигнал можно через выражение (2), где в качестве $s(t)$ будет выступать последовательность импульсов со значениями 1 и -1. Тогда, с точки зрения формирования, такой фазоманипулированный сигнал можно также отнести к разновидности балансномодулированных сигналов, что и объясняет возможность предлагаемой системы его демодулировать. Результат моделирования демодуляции двухпозиционного ФМн сигнала предлагаемым алгоритмом изображён на рисунке 13.

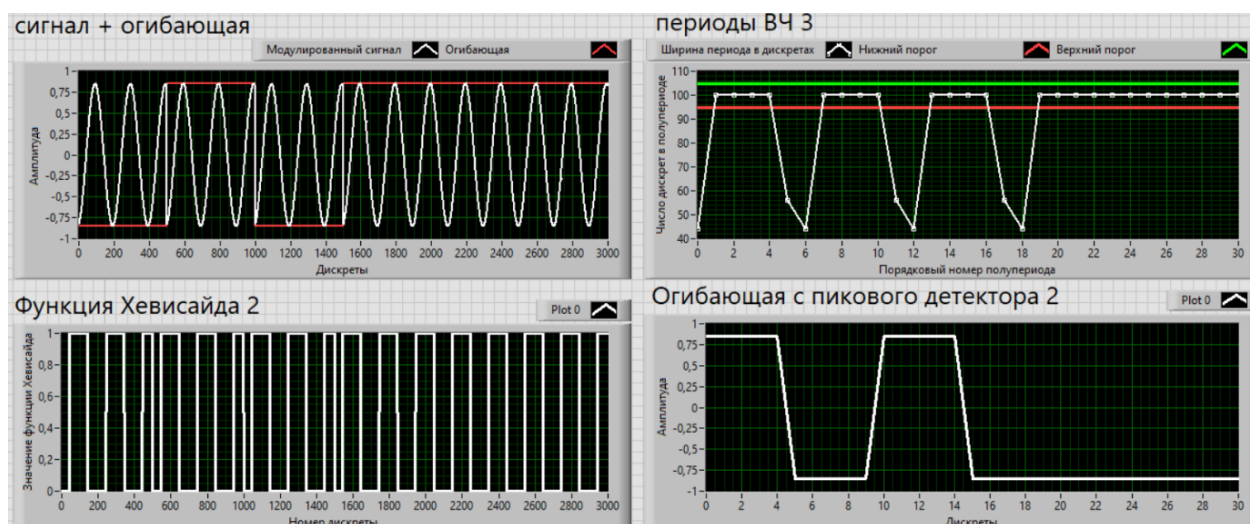


Рисунок 13 – Результат демодуляции двухпозиционного ФМн сигнала предлагаемым способом

Заключение

В рамках программного моделирования предлагаемый способ демодуляции сигналов с подавленной несущей показал свою работоспособность на тестовых сигналах в виде последовательности импульсов и модели речевого сообщения, сгенерированного псевдослучайным образом.

Применение предлагаемого алгоритма в средствах радиомониторинга позволит расширить спектр решаемых радиоконтролем задач, а также увеличить степень его автоматизации, что в совокупности поможет более

эффективно использовать частотный ресурс и быстрее выявлять неисправности передающих устройств. В то же время предлагаемый алгоритм подходит и для применения его в качестве детектора в приёмных устройствах, работающих с БМ сигналами, а также позволит восстанавливать информационную составляющую ВЧ сигнала при нарушении нормальной работы АМ передатчиков, что повысит надёжность связи и увеличит безопасность полётов в целом.

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.
- Баженов Н. Р.* Новые задачи метрологического обеспечения измерений параметров радиотехнических сигналов / Н. Р. Баженов, А. В. Мыльников, И. М. Малай // Альманах современной метрологии. 2019. № 2(18). С. 23-36. EDN WIOCAT.
- Бондарай А. А.* Системный анализ процесса измерения угла места воздушной цели трассовым многочастотным радиолокационным комплексом / А. А. Бондарай, Б. В. Лежанкин // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : Сборник трудов VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Иркутск, 14–16 октября 2019 года. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2019. С. 104-114. EDN ESJMYF.
- Ерохин В. В.* Автоматизированный программно-аппаратный комплекс в среде LabView для исследования эффективности подавления ПЭМИН / В. В. Ерохин, Е. В. Зайнулин // Вестник научных конференций. 2021. № 5-2(69). С. 23-24. EDN SPKRAV.
- 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.
- Карелин В. Е.* Особенности реализации детектора объектов на ВПП в системах улучшенного видения // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации - 2020 : Сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, Иркутск, 08–09 декабря 2020 года. Том 1. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2021. С. 137-144. EDN FVUUNC.
- Липатников В. А.* Глава 1. Проблема радиоконтроля источников радиоизлучений. Сигналы и помехи / В. А. Липатников, О. В. Царик, В. В. Карганов // Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография. СПб.: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. С. 23-193. EDN UZIGDM.
- Межетов М. А.* Выделение сигналов тактовой синхронизации в системах передачи информации режима VDL-2 / М. А. Межетов, С. В. Туринцев // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2017. № 2. С. 191-200. EDN YOXNJL.
- О восстановлении формы амплитудной диаграммы направленности антенно-фидерного устройства навигационного космического аппарата по результатам наземных наблюдений

/ А. С. Завгородний, В. Л. Воронов, И. В. Рябов [и др.] // Альманах современной метрологии. 2021. № 1(25). С. 35-43. EDN XUUCPY.

Определение местоположения воздушного судна в многопозиционной системе наблюдения на основе мультилатерационной технологии / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Т. Ю. Портнова, Н. В. Поваренкин // 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. 92-105. EDN QPUUJP.

Оценка эффективности типовой авиационной комплексной системы навигации / В. С. Марюхненко, Ю. Ф. Мухопад, Е. И. Антипин, С. В. Туринцев // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2012. № 2. С. 25-35. EDN OYXKML.

Патрикеев О. В. Подавление помех в широкополосных каналах связи // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию Университета, Москва, 18–20 мая 2016 года. Москва: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2016. С. 145. EDN XBAODD.

Сергеев А. Д. Среда разработки LABVIEW // Энигма. 2020. № 23. С. 162-165. EDN GUOPWR.

Скрыпник О. Н. Подавление помех в широкополосных радиоканалах диапазона УВЧ / О. Н. Скрыпник, О. В. Патрикеев, Н. Г. Астраханцева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 209. С. 129-135. EDN SXXTON.

Туринцев С. В. Программная реализация алгоритма кодирования и декодирования местоположения ВС в дискретно-адресном режиме вторичной радиолокации / С. В. Туринцев, М. С. Туринцева // 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 YGUUUY.

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 grazhdanskoj aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii». 22-32. EDN YMDPPC. (in Russian)

Bazhenov N. R., Mylnikov A. V., Malay I. M. (2019). New tasks of metrological support for measuring parameters of radio signals. *Al'manah sovremennoj metrologii*. 2 (18): 23-36. EDN WIOCAT. (in Russian)

Bondarai A. A., Lezhankin B. V. (2019). System analysis of the process of measuring the angle of an air target by a multi-frequency radar tracking system. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii : Sbornik trudov VIII Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferencii*, Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii. 104-114. (in Russian)

- Erokhin V. V., Zainullin E. V. (2021) Automated hardware and software complex in LabVIEW environment to study the effectiveness of PEMIN suppression. *Vestnik nauchnykh konferencij*. 5-2(69): 23-24. EDN SPKRAV. (in Russian)
- Erokhin V. V., Lezhankin B. V., Portnova T. Yu., Povarenkin N. V. (2021). Determining the location of an aircraft in a multi-position surveillance system based on multilateration technology. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii : sbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii». 92-105. EDN QPUUJP (in Russian)
- 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. *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*. 6: 35-49. DOI 10.18127/j20700784-202306-04. (in Russian)
- Karelin V. E. (2020). Features of the implementation of a runway object detector in enhanced vision systems. *Aktual'nye problemy razvitiya aviacionnoj tekhniki i metodov ee ekspluatatsii - 2020: Sbornik trudov XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i aspirantov, Irkutsk, 08–09 dekabrya 2020 goda. Tom 1*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii". 137-144. EDN FVUUHC (in Russian)
- Lipatnikov V. A., Tsarik O. V., Karganov V. V. (2018). The problem of radio monitoring of radio emission sources. Signals and interference. *Metody radiokontrolya. Teoriya i praktika: Monografiya*. SPb.: Chastnoe nauchno-obrazovatel'noe uchrezhdenie dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya Gumanitarnyj nacional'nyj issledovatel'skij institut «NACRAZVITIE». 23-193. EDN UZIGDM (in Russian)
- Maryukhnenko V. S., Mukhopad Yu. F., Antipin E. I., Turintsev S. V. (2012). Evaluating the effectiveness of a typical aviation integrated navigation system. *Polet. Obshcherossijskij nauchno-tekhnicheskij zhurnal*. 2: 25-35. EDN OYXKML (in Russian)
- Mezhetov M. A., Turintsev S. V. (2017). Isolation of clock synchronization signals in VDL-2 mode information transmission systems. *Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk*. 2: 191-200. EDN YOXNJL. (in Russian)
- Patrikeev O. V. (2016). Suppression of interference in broadband communication channels. *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva: Sbornik tezisov dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 45-letiyu Universiteta, Moscow: Akademiya imeni N.E. Zhukovskogo*. 145. EDN XBAODD (in Russian)
- Sergeev A. D. (2020). LabView development environment. *Enigma*. 23: 162-165. EDN GUOPWR (in Russian)
- Skrypnik O. N., Patrikeev O. V., Astrakhantseva N. G. (2014). Suppression of interference in broadband UHF radio channels. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviacii*. 209: 129-135. EDN SXXTOH (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-address mode of secondary radar *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviacii: Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii posvyashchennoj prazdnovaniyu 100-letiya konstruktorskogo byuro "Tupolev", 55-letiya Irkutskogo filiala MGTU GA, 75-letiya Irkutskogo aviacionnogo tekhnicheskogo kolledzha, Irkutsk, 13–14 oktyabrya 2022 goda*. Irkutsk: Irkutskij filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviacii". 2: 115-121. EDN YGUUUY. (in Russian)
- Zavgorodnyy A. S., Voronov V. L., Ryabov I. V. (2021). On restoring the shape of the amplitude radiation pattern of the antenna-feeder device of a navigation spacecraft based on the results of ground-based observations. *Al'manah sovremennoj metrologii*. 1(25): 35-43. EDN XUUCPY. (in Russian)

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 621.391:621.396

ББК 39.57-5

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_134

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО ВРЕМЕНИ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА*

*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*

*Екатерина Викторовна Куриленко,
orcid.org/0009-0000-7280-6490,
аспирант
Белорусская государственная академия авиации,
ул. Уборевича, 77
Минск, 220096, Республика Беларусь
Balich1993@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены методика синтеза оптимальной траектории полета БВС и алгоритм системы управления полётом. Система и алгоритм разработаны для четырёхмерных (4D) операций на основе траекторий (ТВО) в контексте концепций CNS/ATM и PBN, что позволит повысить операционную эффективность процессов навигации и пилотирования БВС. В работе представлена математическая модель объекта управления и алгоритмы формирования оптимальной по времени траектории полета. Также представлена оценка предложенной методики путем верификации и валидации программного обеспечения системы с помощью имитационного моделирования. Полученные результаты демонстрируют функциональные возможности системы управления по созданию оптимальных по времени профилей траекторий, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно (БВС), система управления, оптимальная траектория полета.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант T23-029).

THE TIME-OPTIMAL SYNTHESIS TECHNIQUE FLIGHT PATHS OF AN UNMANNED AIRCRAFT

*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*

*Ekaterina V. Kurylenko,
orcid.org/0009-0000-7280-6490,
post-graduate student
Belarusian State Academy of Aviation,
77, Uborevich str.
Minsk, 220096, Republic of Belarus
Balich1993@mail.ru*

Abstract. The article considers the method of synthesis of an optimal UAV flight path and an algorithm of the flight control system. The system and algorithm are designed for four-dimensional (4D) trajectory-based operations (TBO) in the context of the CNS/ATM and PBN concepts, which will increase the operational efficiency of the UAV navigation and piloting processes. The paper presents a mathematical model of the control object and algorithms for forming a time-optimal flight path. An assessment of the proposed methodology is also presented by verifying and validating the system software using simulation modeling. The results obtained demonstrate the functional capabilities of the control system to create time-optimal profiles of trajectories that meet operational requirements.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), control system, optimal flight path.

Введение

Одна из характерных особенностей развития мировой авиационной транспортной системы состоит в бурном развитии беспилотной авиации, её интеграции в общее с пилотируемой авиацией воздушное пространство (ВП) при безусловном сохранении уровня безопасности полётов, достигнутого в пилотируемой авиации. Основным инструментом интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в общее ВП является совершенствование системы организации воздушного движения на основе технологий CNS (Communication, Navigation, Surveillance)¹¹ и в рамках концепции навигации, основанной на характеристиках (Performance Based Navigation, PBN) [Skrypnik, 2019]. Реализация принципов PBN позволит оптимизировать использование ВП всеми категориями пользователей, включая БВС, путем расчёта при планировании и выдерживании в процессе полета оптимальных (по протяжённости, времени, эффективности выполняемых операций и т. п.) траекторий. При этом предполагается возможность создания гибких траекторий с их привязкой к времени [Global TBO Concept (Version 0.11), 2019].

¹¹ Системы CNS/ATM: учеб. пособие / Сост. В. А. Казаков. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УВАУ ГА, 2008. 103 с.

Задача планирования оптимальной траектории полета состоит в том, чтобы определить переменные, определяющие траекторию полета от исходного состояния к конечному заданному состоянию с учётом ограничений, минимизируя показатель качества [Расчет и анализ..., 1971]. Ограничения могут накладываться на значения допустимых пилотажных и навигационных параметров БВС, на прохождение траектории через определённые точки маршрута, на использование воздушного пространства (запретные зоны, зоны высокой турбулентности, грозовой деятельности и пр.).

Большинство разработанных к настоящему моменту методов решения терминальных задач [Белинская и др., 2014; Касаткина, 2013; Кузнецов, 2013; Levine et al., 1997] не дают возможности учёта ограничений, наложенных на состояние системы. Применение принципа максимума Понтрягина к решению терминальных задач при наличии ограничений на управления ведёт к получению управления, не являющегося непрерывным. Одним из возможных подходов к учёту ограничений на состояния в терминальных задачах является метод локальных вариаций [Крылов и др., 1966; Черноусько, 1965], применение которого может приводить к ограничениям на реализуемость траектории.

Вопросы концепции функционирования, архитектуры системы управления маловысотным беспилотным движением, алгоритмы оптимизации траекторий БВС рассмотрены в работе [Next Generation..., 2014a]. Здесь же предложена 4D модель траекторного движения БВС переменной массы, включающая шесть переменных состояния. Вопросы синтеза оптимальных траекторий полета БВС и результаты исследований при различных критериях оптимизации рассмотрены в [Ramasaamy, 2014b]. Альтернативные подходы к построению оптимальных траекторий, использующие методы искусственного интеллекта, рассмотрены в работе [Hybrid..., 2022].

В настоящее время широкое распространение получили методы, основанные на преобразовании аффинных систем к регулярному каноническому виду при помощи замен переменных состояния, управления и независимой переменной [Крищенко, 2013; Фетисов, 2014; Hoffner et al., 2009; Li et al., 2015].

В данной работе ставится задача планирования оптимальной траектории полета БВС самолётного типа, включая этапы взлёта и полета по маршруту. Заданы векторы начального $\bar{x}_0 = [V_0, \theta_0, \psi_0, H_0, L_0, Z_0]^T$ и конечного состояния $\bar{x}_f = [V_f, \theta_f, \psi_f, H_f, L_f, Z_f]^T$ БВС, где переменные состояния V – воздушная скорость, θ – угол наклона траектории в вертикальной плоскости, ψ – путевой угол, H – высота над земной поверхностью, L – длина пути вдоль траектории, Z – боковое отклонение, а также начальное и конечное время полета $[t_0, t_f]$. Требуется рассчитать оптимальную по времени траекторию полета и синтезировать алгоритм управления, который к моменту времени t_f обеспечит перевод БВС в заданное конечное состояние, т. е. в заданную конечную точку траектории.

Поставленная задача сводится к решению терминальной задачи управления динамической системой в фазовом пространстве на основе многочленов степени $2n-1$, где n – порядок системы уравнений, описывающих движение БВС. Исходными данными являются координаты, скорости и перегрузки БВС в начальный и конечный моменты времени.

Результаты исследований

Задача построения многочлена

В общем виде терминальная задача управления для динамической системы в фазовом пространстве имеет вид

$$y^{(n)} + f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) = g(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)})u, \quad (1)$$

где $\bar{y}(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) \in R^n$ – вектор состояния системы; R^n – евклидово пространство вектор-столбцов; $u \in R^n$ – управление; $f(\bar{y})$ и $g(\bar{y})$ – гладкие функции своих аргументов; $g(\bar{y}) \neq 0$ при всех $\bar{y} \in R^n$.

Один из способов решения терминальных задач для систем вида (1) основан на использовании многочленов степени $2n-1$ ¹² [Зенков, 2010].

При $n=2$, система (1) запишется следующим образом:

$$\ddot{y} + f(\bar{y}) = g(\bar{y})u, \quad (2)$$

где $\bar{y}(y, \dot{y})$.

В качестве начального состояния системы рассмотрим произвольную точку $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0)$ на фазовой плоскости, отличную от начала координат $\bar{y}(0, 0)$. Тогда искомая программа построения траектории $\{\bar{y}(t), u(t)\}$ системы (2) должна удовлетворять граничным условиям $y(0) = y_0, \dot{y}_0(0) = \dot{y}_0$ и $y(T) = y_f, \dot{y}_0(T) = \dot{y}_f$, где $T > 0$ – некоторое конечное значение независимой переменной t .

Согласно теории решения системы дифференциальных уравнений¹, фазовым графиком функции $\varphi(t) \in C^m[0, T]$ в фазовом пространстве системы (1) называют кривую, заданную параметрически при помощи уравнений $y^{(i)} = \varphi^{(i)}(t), i = 0, n-1, t \in [0, T]$.

Рассмотрим многочлен $p(t)$, фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t)], t \in [0, T]$ которого соединяет точки $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0)$ и $\bar{y}(0, 0)$ в фазовом пространстве системы (2).

Если T задано, согласно [Краснощёченко и др., 2005] существует такой единственный многочлен степени $n=3$, имеющий вид:

$$p(t) = y_0 + \dot{y}_0 t + c_1 t^2 + c_2 t^3, \quad (3)$$

¹² Зенков А. В. Системы дифференциальных уравнений и элементы теории устойчивости: Учебник для студентов физических специальностей. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2010. 54 с.

что выполнены условия $p(T) = 0, \dot{p}(T) = 0$. Отметим, что при любых значениях постоянных c_1 и c_2 справедливы равенства $p(0) = y_0, \dot{p}(0) = \dot{y}_0$.

Коэффициенты c_1 и c_2 находятся из системы линейных алгебраических уравнений

$$\begin{pmatrix} T^2 & T^3 \\ 2T & 3T^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y_0 - \dot{y}_0 T \\ -\dot{y}_0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

решение которой существует и единственно в силу невырожденности матрицы этой системы.

Таким образом, фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t)], t \in [0, T]$ многочлена (3) при указанных значениях коэффициентов c_1 и c_2 соединяет точку $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0)$ и $\bar{y}(0, 0)$ в фазовом пространстве системы (2), причём $p(T) = 0, \dot{p}(T) = 0$.

В случае, если T не задано, имеет место следующий результат.

Для существования многочлена $p(t)$ степени $n=2$, фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t)], t \in [0, T]$ которого соединяет точки $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0)$ и $\bar{y}(0, 0)$ в фазовом пространстве системы (2), необходимо и достаточно выполнения условия $y_0 \dot{y}_0 < 0$.

Рассмотрим систему (1) произвольного порядка n . Предположим, что значение $T > 0$ задано. Тогда согласно [Краснощёченко и др., 2005] существует единственный многочлен степени $2n-1$, имеющий вид

$$p(t) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{k!} t^k + \sum_{k=1}^n c_k t^{n-1+k}, \quad (5)$$

фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t), \dots, p^{(n-1)}(t)], t \in [0, T]$ которого соединяет точки $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0, \dots, y_0^{(n-1)})$ и $\bar{y}(0, \dots, 0)$ в фазовом пространстве системы (1), причём $p(T) = 0, \dot{p}(T) = 0, \dots, p^{(n-1)}(T) = 0$.

Постоянные $c_1, c_2, \dots, c_n$ находятся из системы линейных алгебраических уравнений

$$\begin{pmatrix} T^n & T^{n+1} & \dots & T^{2n-1} \\ nT^{n-1} & (n+1)T^n & \dots & (2n-1)T^{2n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{n!}{1!}T & \frac{(n+1)!}{2!}T^2 & \dots & \frac{(2n-1)!}{n!}T^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum_{k=0}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{k!} t^k \\ -\sum_{k=1}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{(k-1)!} T^{k-1} \\ \vdots \\ -y_0^{(n-1)} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

решение которой существует и единственно в силу новорожденности матрицы этой системы.

Когда значение T не фиксировано, имеет место следующее утверждение.

Для существования многочлена степени $2n-1$, фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t), \dots, p^{(n-1)}(t)], t \in [0, T]$, который соединяет точки

$\bar{y} = (y_0, \dot{y}_0, \dots, y_0^{(n-1)})$ и $\bar{y} = (0, \dots, 0)$ в фазовом пространстве системы (1), достаточно, чтобы число перемен знаков в системе начальных значений $y_0, \dot{y}_0, \dots, y_0^{(n-2)}, y_0^{(n-1)}$ было нечётно.

Рассмотрим многочлен

$$p(t) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{k!} t^k + \sum_{k=1}^{n-1} c_k t^{n-1+k}, \quad (7)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}$ – константы, подлежащие определению. Отметим, что при любых значениях постоянных $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}$ для многочлена (7) выполняются условия $p(0) = y_0, \dot{p}(0) = \dot{y}_0, \dots, p^{(n-1)}(0) = y_0^{(n-1)}$.

Соотношения $p(T) = 0, \dot{p}(T) = 0, \dots, p^{(n-1)}(T) = 0$ запишем в виде системы уравнений относительно неизвестных $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}$ и T , которая имеет вид

$$\begin{pmatrix} T^n & T^{n+1} & \dots & T^{2n-1} \\ nT^{n-1} & (n+1)T^n & \dots & (2n-1)T^{2n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{n!}{1!}T & \frac{(n+1)!}{2!}T^2 & \dots & \frac{(2n-1)!}{n!}T^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum_{k=0}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{k!} t^k \\ -\sum_{k=1}^{n-1} \frac{y_0^{(k)}}{(k-1)!} T^{k-1} \\ \vdots \\ -y_0^{(n-1)} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Решив систему линейных алгебраических уравнений относительно постоянных $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}$ и подставив их в последнее уравнение системы (8), получим относительно неизвестного T следующее уравнение

$$\begin{aligned} & y_0^{(n-1)}T^{n-1} + \frac{n!}{1!(n-2)!}y_0^{(n-2)}T^{n-2} + \frac{(n+1)!}{2!(n-3)!}y_0^{(n-3)}T^{n-3} + \\ & + \frac{(2n-3)!}{1!(n-2)!}\dot{y}_0T + \frac{(2n-2)!}{(n-1)!}y_0 = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Согласно [Краснощёченко и др., 2005] число положительных корней многочлена, стоящего в левой части равенства (9), равно числу перемен знаков в системе коэффициентов или меньше этого числа на чётное число.

Таким образом, если число перемен знаков в указанной системе значений коэффициентов нечётно, то существует хотя бы одно положительное решение $T > 0$ уравнения (9). В этом случае фазовый график $\bar{p}(t) = [p(t), \dot{p}(t), \dots, p^{(n-1)}(t)], t \in [0, T]$ многочлена (7), (8) соединяет точки $\bar{y}(y_0, \dot{y}_0, \dots, y_0^{(n-1)})$ и $\bar{y}(0, \dots, 0)$ в фазовом пространстве системы (1), причём $p(T) = 0, \dot{p}(T) = 0, \dots, p^{(n-1)}(T) = 0$.

Программное управление, являющееся решением рассматриваемой терминальной задачи для системы (1), следующее

$$u(t) = \frac{1}{g(\bar{p}(t))} (p^{(n)}(t) + f(\bar{p}(t))), \quad (10)$$

где $p(t)$ – соответствующий многочлен (5), (6) или (8), (9).

Таким образом, данную методику можно применять для решения задачи оптимального управления траекторией полета БВС.

Математическая модель движения БВС

При решении поставленной задачи рассмотрим движение только центра масс БВС, которое в пространстве описывается системой уравнений [Моисеев, 2023]

$$\dot{\vec{x}} = \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{H} \\ \dot{L} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \begin{cases} g(n_x - \sin \theta); \\ \frac{g(n_y \cos \gamma - \cos \theta)}{V}; \\ -\frac{n_y g \sin \gamma}{V \cos \theta}; \\ V \sin \theta; \\ V \cos \theta \cos \psi; \\ -V \cos \theta \sin \psi. \end{cases} \quad (11)$$

$$n_x = \frac{P \cos \alpha - X_a}{mg}, \quad n_y = \frac{Y_a + P \sin \alpha}{mg}, \quad (12)$$

где $\vec{x}^T = [V, \theta, \psi, H, L, Z]$ – фазовый вектор переменных состояния, включающий соответственно истинную воздушную скорость [м/с], угол наклона траектории полета [град], путевой угол [град], координаты центра масс БВС (высота, дальность полета, боковое смещение) в нормальной земной системе координат [м]; n_x – продольная перегрузка; n_y – поперечная перегрузка; α – угол атаки [град]; β – угол скольжения [град]; γ_a – угол крена [рад]; g – ускорение свободного падения [м/с²]; P – тяга двигателя [Н]; $X_a = \frac{1}{2} C_{xa} \rho V^2 S$ – сила аэродинамического сопротивления [Н]; $Y_a = \frac{1}{2} C_{ya} \rho V^2 S$ – аэродинамическая подъёмная сила [Н]; C_{xa}, C_{ya} – коэффициенты аэродинамических сил; ρ – плотность среды, в которой осуществляется полет; S – площадь крыла [м²]; m – масса БВС [кг].

В качестве управляющих переменных в (1) принимаются перегрузки и угол крена $u(t) = (n_x(t), n_y(t), \gamma(t))$.

Для решения поставленной задачи на основе многочленов степени $2n-1$, необходимо систему дифференциальных уравнений (11) привести к виду (1). Из теории решения систем дифференциальных уравнений дифференциальные уравнения n -го порядка можно свести к системе из n уравнений первого порядка. Возможен и обратный переход, позволяющий заменить решение системы решением одного дифференциального уравнения высшего порядка [Канатников и др., 2010].

Для получения функций управления перейдем к новым управлениям

$$u_1 = n_x; \quad u_2 = n_y \cos \gamma; \quad u_3 = n_y \sin \gamma. \quad (13)$$

Тогда уравнения математической модели движения БВС являются линейными по новым управлениям

$$\dot{\bar{x}} = \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{H} \\ \dot{L} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \begin{cases} u_1 g - g \sin \theta, \\ \frac{u_2 g - g \cos \theta}{V}, \\ -\frac{u_3 g}{V \cos \theta}, \\ V \sin \theta, \\ V \cos \theta \cos \psi, \\ -V \cos \theta \sin \psi. \end{cases} \quad (14)$$

где $\bar{x}^T = [V, \theta, \psi, H, L, Z]$ – фазовый вектор переменных состояния;

$\bar{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), u_3(t)]$ – вектор управления.

Для получения управлений приведём систему уравнений (14) к каноническому виду, введя новые переменные состояния

$$\begin{aligned} x_1 &= H; \\ x_2 &= L; \\ x_3 &= Z; \\ x_4 &= V \sin \theta; \\ x_5 &= V \cos \theta \cos \psi; \\ x_6 &= -V \cos \theta \sin \psi. \end{aligned} \quad (15)$$

Новые переменные состояния определяют гладкую невырожденную замену переменных, так как исходные состояния могут быть выражены с помощью новых из следующих соотношений

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{\dot{x}_1}{V}, \quad \cos \theta = \frac{\sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2}}{V}, \\ \sin \psi &= -\frac{\dot{x}_3^2}{\sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2}}, \quad \cos \psi = \frac{\dot{x}_2^2}{\sqrt{\dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2}}, \\ V &= \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Дифференцируя эти соотношения, находим

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{V}\ddot{x}_1 - V\dot{x}_1}{V^2 \cos \theta}, \quad \dot{\psi} = \frac{(\dot{x}_2\ddot{x}_3 - \dot{x}_3\ddot{x}_2)\cos^2 \psi}{\dot{x}_2^2}, \quad \dot{V} = \frac{\dot{x}_1\ddot{x}_1 + \dot{x}_2\ddot{x}_2 + \dot{x}_3\ddot{x}_3}{V}. \quad (17)$$

С другой стороны, дифференцируя три последних уравнения системы (14), получим с учётом первых трех уравнений этой системы следующие соотношения

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = -g + u_1 g \sin \theta + u_2 g \cos \theta, \\ \ddot{x}_2 = u_1 g \cos \theta \cos \psi - u_2 g \sin \theta \cos \psi + u_3 g \sin \psi, \\ \ddot{x}_3 = -u_1 g \cos \theta \sin \psi + u_2 g \sin \theta \sin \psi + u_3 g \cos \psi. \end{cases} \quad (18)$$

Таким образом, математическую модель движения БВС можно представить как динамическую систему вида (1).

Формирование траектории полета БВС

Тягу двигателя и угол атаки можно определить по соотношениям (12). Из (17), (18) вместе с выражениями (16) следует, что переменные состояния (V, θ, ψ) и переменные управления (n_x, n_y, γ) могут быть представлены в виде функций $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ и их производных по времени. Однако задача заключается в поиске траектории, удовлетворяющей граничным условиям, поэтому необходимо показать, при каких условиях функции $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ будут соответствовать граничным условиям.

Граничные условия на переменные состояния и управления определяют граничные значения функций $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ на концах отрезка времени $[t_0, t_f]$, а также их первые и вторые производные (граничные условия для новых переменных состояния и управлений легко получить, подставляя начальные граничные значения задачи в формулы, по которым производилась замена переменных). По сути, любые гладкие функции, удовлетворяющие полученным граничным условиям, будут являться решением поставленной задачи. Такие функции можно найти среди многочленов 3-го порядка.

Система уравнений для математической модели движения БВС относительно терминальной задачи управления имеет вид

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_4; \\ \dot{x}_2 = x_5; \\ \dot{x}_3 = x_6, \\ \dot{x}_4 = -g + u_1 g \sin \theta + u_2 g \cos \theta; \\ \dot{x}_5 = u_1 g \cos \theta \cos \psi - u_2 g \sin \theta \cos \psi + u_3 g \sin \psi; \\ \dot{x}_6 = -u_1 g \cos \theta \sin \psi + u_2 g \sin \theta \sin \psi + u_3 g \cos \psi. \end{cases} \quad (19)$$

Рассмотрим методику решения задачи построения многочлена на примере функции $x_1(t)$. Данная система с учётом переменных $y = x_1, \dot{y} = \dot{x}_1, \ddot{y} = \ddot{x}_1$ примет вид уравнения (1).

$$y^{(3)} + f(y, \dot{y}, \ddot{y}) = g(y, \dot{y}, \ddot{y})u. \quad (20)$$

Тогда существует единственный полином 5-й степени, имеющий вид

$$p(t) = y_0 + \dot{y}_0 t + \frac{\ddot{y}_0}{2} t^2 + c_1 t^3 + c_2 t^4 + c_3 t^5, \quad (21)$$

фазовый график $\bar{p}(t) = (p(t), \dot{p}(t), \ddot{p}(t))$, $t \in [0, t_f]$ которого соединяет точки $\bar{y} = (y_0, \dot{y}_0, \ddot{y}_0)$ и $\bar{y} = (y_f, \dot{y}_f, \ddot{y}_f)$ в фазовом пространстве системы (20).

Согласно уравнениям (6) и (8) коэффициенты c_1 , c_2 и c_3 находятся из системы линейных алгебраических уравнений

$$\begin{pmatrix} t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{1f} - y_{10} - \dot{y}_{10}t_f - \frac{1}{2}\ddot{y}_{10}t_f^2 \\ \dot{y}_{1f} - \dot{y}_{10} - \frac{1}{2}\ddot{y}_{10}t_f \\ \ddot{y}_{1f} - \ddot{y}_{10} \end{pmatrix}, \quad (22)$$

решение которой существует и единственно в силу новорожденности матрицы этой системы.

Таким же образом определяются коэффициенты для $x_2(t), x_3(t)$ системы уравнений (19).

Найдя решение функций $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$, можно определить функции $H(t), L(t), Z(t)$. Эти функции определяют пространственную траекторию полета БВС, которая к моменту времени t_f переведёт БВС в заданное положение.

Критерий качества управления, минимизирующий время прохождения траектории, имеет следующий вид

$$J(t_0, t_f) = \int_{t_0}^{t_f} dt \rightarrow \min. \quad (23)$$

Параметры траекторного движения БВС зависят от пилотажных ограничений, которые влияют на его манёвренность, и ограничений, связанных с безопасностью полета. При планировании траектории учитывались следующие ограничения:

$$\begin{aligned}
V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, \quad \theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}, \quad \psi_{\min} \leq \psi \leq \psi_{\max}, \\
L_{\min} \leq L \leq L_{\max}, \quad H_{\min} \leq H \leq H_{\max}, \quad Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}, \\
n_{x\min} \leq n_x \leq n_{x\max}, \quad n_{y\min} \leq n_y \leq n_{y\max}, \quad \gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}.
\end{aligned} \tag{24}$$

Поиск минимальной по времени полета траектории БВС с заданной точностью $\varepsilon > 0$ заключается в переборе по времени t (в порядке возрастания) траекторий, увеличивая время манёвра t на величину $\delta > 0$ (причём $\delta \geq \varepsilon$). Начальным значением для t (обозначим его t_0) будем считать минимальное время, за которое можно перейти из начального состояния в конечное, двигаясь прямолинейно с максимально возможной скоростью

$$t_0 = \frac{\sqrt{(H_f - H_0)^2 + (L_f - L_0)^2 + (Z_f - Z_0)^2}}{V_{\max}}. \tag{25}$$

На каждом шаге перебора необходимо проверять, удовлетворяют ли траектория и реализующие её управления условиям, которые накладываются на решение максимальными и минимальными значениями переменных состояния и управлений. Если была найдена удовлетворяющая граничным условиям траектория, то необходимо уменьшить соответствующее значение времени t на величину δ , а потом уменьшить значение δ в 2 раза (проводить уменьшение, пока δ не станет равным ε). Если была найдена траектория, не удовлетворяющая наложенным на неё ограничениям, то значение t необходимо увеличить на соответствующую величину δ .

Первая траектория, которая удовлетворяет этим ограничениям при $\delta = \varepsilon$, и есть оптимальная по времени с точностью ε .

Тестирование алгоритма управления

В реальных полётах может требоваться изменение траектории БВС, например, облёт препятствий (высотные здания, линии электропередачи, зоны опасных метеоявлений), разрешение конфликтной ситуации и пр. Поэтому для практики большой интерес представляют пространственные манёвры БВС, например, такие, как набор высоты и разворот.

Для оценки адекватности полученной модели траекторного движения БВС и работоспособности синтезированного алгоритма управления решалась задача оптимального управления траекторией при наборе высоты с разворотом. Задача решалась методами численного моделирования в среде Matlab при заданных векторах начальных $\bar{x}_0 = [120 \ 0 \ 0 \ 900 \ 0 \ 0]^T$ и конечных $\bar{x}_f = [120 \ 0 \ -180 \ 1200 \ 0 \ 300]^T$ состояний. На управления и значения переменных состояния задавались следующие ограничения:

$$75 \text{ м/с} \leq V \leq 150 \text{ м/с}; \quad \theta \leq 60^\circ; \quad -90^\circ \leq \psi \leq 270^\circ;$$

$$-0,1 \leq n_x \leq 0,6; \quad -0,1 \leq n_y \leq 2; \quad \gamma \leq 60^\circ.$$

На рис. 1 показана синтезированная в 3D пространстве оптимальная по критерию минимума полётного времени траектория набора высоты с разворотом. На рис. 2 и рис. 3 показано изменение переменных управления и состояния в процессе манёвра, время выполнения которого в заданных условиях составило 17,55 с.

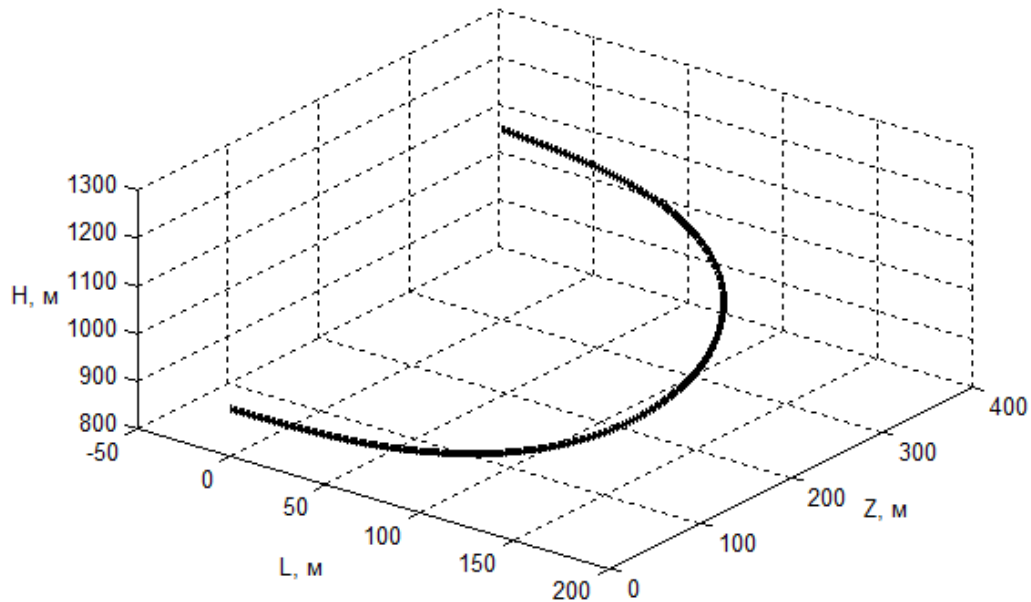


Рисунок 1 – 3D траектория движения БВС

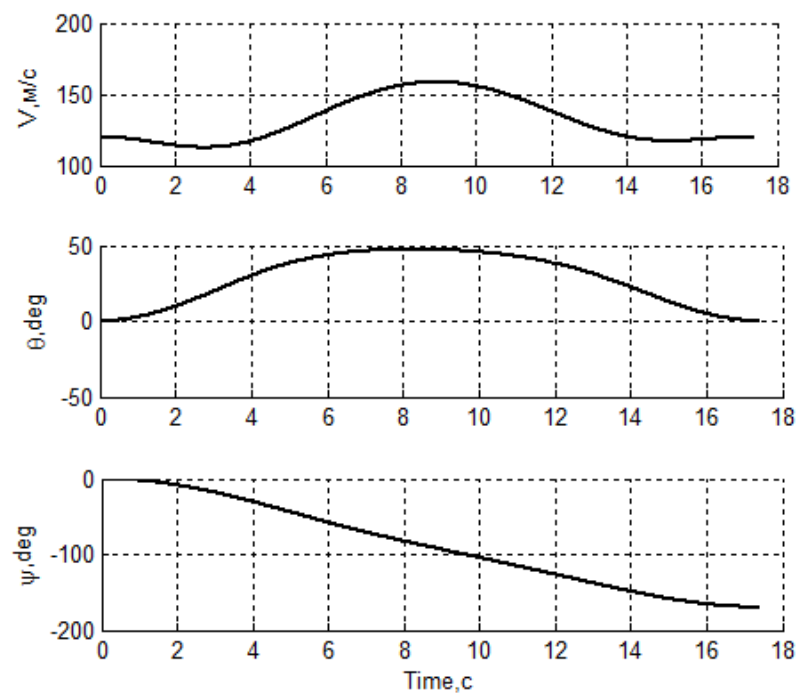


Рисунок 2 – Переменные состояния

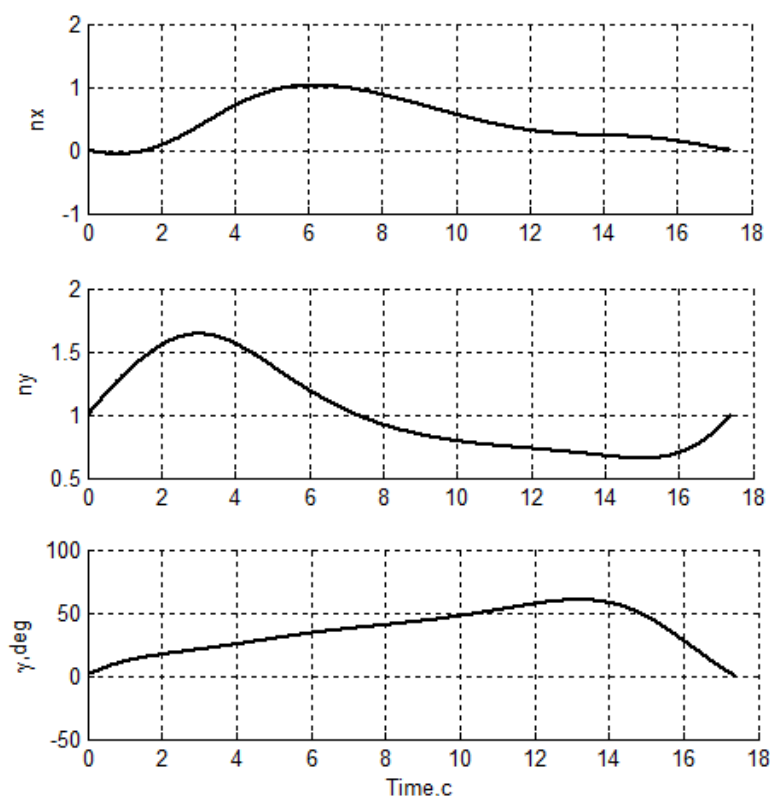


Рисунок 3 – Переменные управления

Из представленных графиков видно, что на интервале времени от 0 до примерно $t=10$ с происходит набор высоты с разворотом траектории влево от исходного нулевого курса на угол $\psi \approx -180^\circ$. Крен выходит на максимально допустимое значение с максимальной скоростью, а затем, примерно с момента времени $t=14$ с, БВС начинает движение в противоположную сторону, и тоже с максимальной скоростью. Если бы не было ограничения на скорость перекладки, то очевидно, что оптимальное поведение крена было бы релейным. Скорость полета в среднем повышенная.

На рис. 4 представлены результаты оценки работоспособности полученного алгоритма управления для случаев: кривая 1 – траектория полета с оптимальным управлением без ограничений на параметры БВС; кривая 2 – траектория полета без оптимального управления при отсутствии ограничений на управления и переменные состояния; 3 – траектория с оптимальным управлением при ограничениях на управления и переменные состояния. Задавались вектора начальных $\bar{x}_0 = [120 \ 0 \ 0 \ 900 \ 0 \ 0]^T$ и конечных $\bar{x}_f = [120 \ 0 \ -180 \ 1200 \ 0 \ 300]^T$ состояний. На управления и значения переменных состояния задавались следующие ограничения:

$$75 \text{ м/с} \leq V \leq 170 \text{ м/с}; \quad -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ; \quad -180^\circ \leq \psi \leq 180^\circ; \\ -0,1 \leq n_x \leq 0,6; \quad -0,1 \leq n_y \leq 2; \quad -60^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ.$$

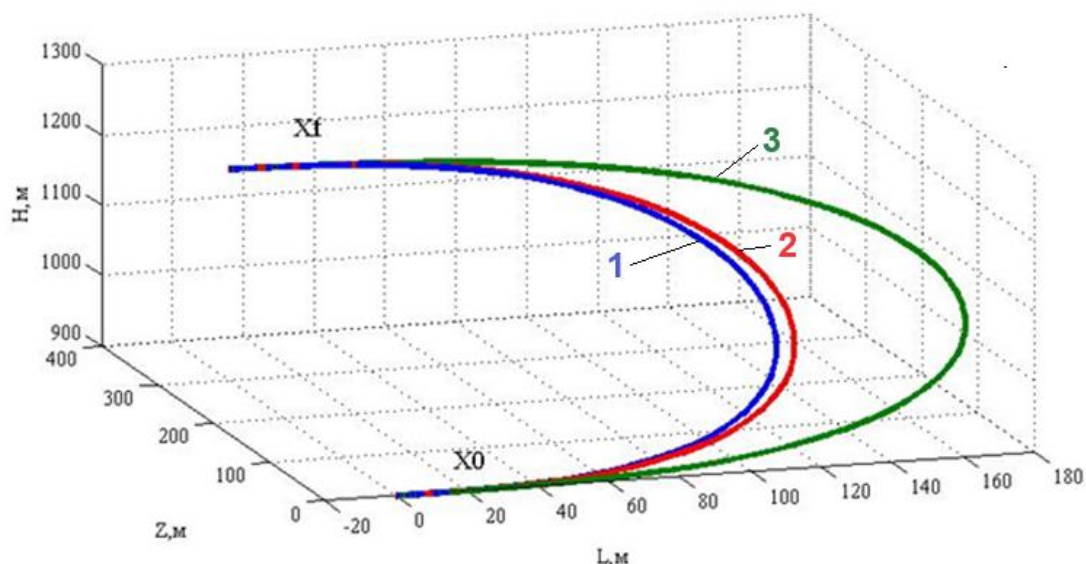


Рисунок 4 – Траектории при различных управлениях

Полученные результаты являются основанием для верификации разработанной модели.

Выводы

В результате проведенных исследований получены методика синтеза оптимальной траектории полета БВС и алгоритм системы управления полётом. Путем имитационного математического моделирования выполнена верификация и валидация предложенной методики и программного обеспечения. Рассмотренная методика позволяет анализировать и сравнивать поведение параметров состояния и управлений, их изменение с течением времени в процессе манёвра БВС и в зависимости друг от друга.

Библиографический список

- Белинская Ю. С. Метод накрытий для терминального управления с учетом ограничений // Дифференциальные уравнения / Ю. С. Белинская, В. Н. Четвериков. 2014. Т. 50, № 12. С. 1629. DOI 10.1134/S0374064114120073. EDN TAJWXB.
- Канатников А. Н. Задача терминального управления движением летательного аппарата. Нелинейная динамика и управление. / А. Н. Канатников, Е. А. Шмагина. М.: Физматлит, 2010. С. 79-94.
- Касаткина Т. С. Преобразование аффинных систем к каноническому виду с использованием замен независимой переменной // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 7. С. 285-298. EDN RMYEDJ.
- Краснощёченко В. И. Нелинейные системы: геометрические методы анализа и синтеза / В. И. Краснощёченко, А. П. Крищенко. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2005. 520 с. EDN QJOUR.
- Крищенко А. П. Орбитальная линеаризация аффинных систем // Доклады Академии наук, 2013. Т. 453. № 6. С.620-623. DOI 10.7868/S0869565213360280. EDN RPASWR.
- Крылов И. А. Решение задач оптимального управления методом локальных вариаций / И. А. Крылов, Ф. Л. Черноусько // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1966. Т. 6, № 2. С. 203-217. EDN VTAXHJ.

Кузнецов М. Н. Терминальное управление аэробаллистическим высокоскоростным ЛА: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Максим Николаевич. Москва, 2013. 145 с. EDN SUZNCB.

Моисеев В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. Казань: ГБУ Республиканский центр мониторинга качества образования. Серия «Современная прикладная математика и информатика», 2023. 768 с.

Расчет и анализ движения летательных аппаратов: Инженерный справочник. / С. А. Горбатенко, Э. М. Макашов, Ю. Ф. Полушкин, Л. В. Шефтель. М.: Машиностроение, 1971. 352 с.

Фетисов Д. А. Решение терминальных задач для многомерных аффинных систем на основе преобразования к квазиканоническому виду // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Естественные науки. 2014. № 5(56). С. 16-31. EDN STSOU.

Черноусько Ф. Л. Метод локальных вариаций для численного решения вариационных задач // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1965. Т. 5, № 4. С. 749-754. EDN VRTIIV.

Global TBO Concept (Version 0.11). By the ICAO Air traffic management requirements and performance panel (ATMRPP) [Электронный ресурс]. – 2019. URL: https://www.icao.int/airnavigation/tbo/PublishingImages/Pages/Why-Global-TBO-Concept/Global%20TBO%20Concept_V0.11.pdf (дата обращения 13.05.2024).

Hoffner K. Geometries of Single-Input Locally Accessible Control Systems / K. Hoffner, M. Guay // Proceedings of the ACC Conference. 2009. P.1480-1484.

Hybrid AI-based Dynamic Re-routing Method for Dense Low-Altitude Air Traffic Operations / Y. Xie, A. Gardi, R. Sabatini, A. Liang // IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference. DASC 2022. Portsmouth, VA, USA, 2022. pp. 1-9. doi: 10.1109/DASC55683.2022.9925777.

Levine J. Flat systems. Mini-Course / J. Levine, Ph. Martin, P. Rouchon // ECC' 97 European Control Conference, Brussels, 1-4 July, 1997. P. 54.

Li S.-J. Orbital feedback linearization for multi-input control systems / S.-J. Li, W. Respondek // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2015. V. 25, Is. 9. P. 1352-1378.

Next Generation Flight Management System for Real-Time Trajectory Based Operations / S. Ramasamy, R. Sabatini, A. Gardi, T. Kistan // Applied Mechanics and Materials. 2014a. vol. 629. pp. 344-349.

Ramasamy S. Unmanned Aircraft Mission Management System for Trajectory Based Operations / S. Ramasamy, R. Sabatini, A. Gardi // Fourth Australasian Unmanned Systems Conference, 2014b.

Skrypnik O. N. Radio Navigation Systems for Airports and Airways. Berlin: Springer Aerospace Technology, 2019. 226 p.

References

Belinskaya Yu. S., Chetverikov V. N. (2014). The method of covers for terminal control, taking into account restrictions. *Differential equations*. 50(12): 1629 p. (in Russian)

Chernous'ko F. L. (1965). The method of local variations for the numerical solution of variational problems. *Zh. vychisl. matem. i matem. fiz.* 5(4): 749-754. (in Russian)

Fetisov D. A. (2014). Solving terminal problems for multidimensional affine systems based on the transformation to a quasi-canonical form. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Estestvennye nauki*, 5(56): 16-31. (in Russian)

Global TBO Concept (Version 0.11). By the ICAO Air traffic management requirements and performance panel (ATMRPP) (2019). Available at: https://www.icao.int/airnavigation/tbo/PublishingImages/Pages/Why-Global-TBO-Concept/Global%20TBO%20Concept_V0.11.pdf (accessed 13 May 2024).

- Gorbatenko S. A., Makashov E. M., Polushkin Yu. F., Sheftel' L. V. (1971). Calculation and analysis of the movement of aircraft: Engineering reference book. Moscow: *Mashinostroenie*, 1971. 352 p. (in Russian)
- Hoffner K., Guay M. (2009). Geometries of Single-Input Locally Accessible Control Systems. *Proceedings of the ACC Conference*. 1480-1484.
- Kanatnikov A. N., Shmagina E. A. (2010). The task of terminal motion control of the aircraft. Nonlinear dynamics and contr. Moscow: *Fizmatlit*, 2010. P.79-94. (in Russian)
- Kasatkina T. S. (2013). Transformation of affine systems to a canonical form using substitutions of an independent variable. *Nauka i Obrazovanie*. 7: 285-298. (in Russian)
- Krasnoshchyochenko V. I., Krishchenko A. P. (2005). Nonlinear systems: geometric methods of analysis and synthesis. Moscow: *Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana*, 2005. 520 p. (in Russian)
- Krishchenko A. P. (2013). Orbital linearization of affine systems. *Doklady Akademii nauk*, 453(6): 620-623. (in Russian)
- Krylov I. A., Chernous'ko F. L. (1966). Solving optimal control problems by the method of local variations. *Zh. vychisl. matem. i matem. fiz.* 6(2): 203-217. (in Russian)
- Kuznecov M. N. (2013). Terminal control of an aeroballistic high-speed aircraft. dis. ...kand. tekhn. nauk / M. N. Kuznecov. Moscow, 2013. 145 p. (in Russian)
- Levine J., Martin Ph., Rouchon P. (1997). Flat systems. Mini-Course. *ECC' 97 European Control Conference*. 54.
- Li S.-J., Respondek W. (2015). Orbital feedback linearization for multi-input control systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 25(9): 1352-1378.
- Moiseev V. S. (2023). Applied theory of control of unmanned aerial vehicles: monograph. Kazan': GBU Respublikanskij centr monitoringa kachestva obrazovaniya. Seriya «Sovremennaya prikladnaya matematika i informatika», 2023. 768 p. (in Russian)
- Ramasamy S, Sabatini R, Gardi A, Kistan T. (2014a). Next Generation Flight Management System for Real-Time Trajectory Based Operations. *Applied Mechanics and Materials*. 629: 344-349.
- Ramasamy S., Sabatini R., Gardi A. (2014b). Unmanned Aircraft Mission Management System for Trajectory Based Operations. *Fourth Australasian Unmanned Systems Conference*, 2014.
- Skrypnik O. N. (2019). Radio Navigation Systems for Airports and Airways. Berlin: *Springer Aerospace Technology*, 2019. 226 p.
- Xie Y., Gardi A., Sabatini R., Liang A. (2022). Hybrid AI-based Dynamic Re-routing Method for Dense Low-Altitude Air Traffic Operations. *IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference*. 1-9. doi: 10.1109/DASC55683.2022.9925777.

УДК 811.133.1

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_150

РАЗНАЯ СУДЬБА ЛАТИНСКИХ ГЛАГОЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА «ИНФИНИТИВ + *HABEO*» И «*HABEO* + ПРИЧАСТИЕ ПРОШЕДШЕЕ» ВО ФРАНЦУЗСКОМ И ДРУГИХ РОМАНСКИХ ЯЗЫКАХ

Лидия Анатольевна Становая,
orcid.org/0000-0002-1702-4506,
доктор филологических наук, профессор
Российский государственный педагогический
университет имени А. И. Герцена,
наб. реки Мойки, д.48
Санкт-Петербург, 191186, Россия
lida_stan@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматривается разная судьба латинских глагольных конструкций типа *cantare habeo* > *je chanterai* и *habeo cantatam* > *j'ai chanté*. В результате проведенного анализа были выявлены причины появления этих перифраз в латинском языке; установлены особенности их дальнейшей трансформации в вульгарной латыни в период формирования романских языков; определена специфика дальнейшего развития рассматриваемых конструкций в процессе эволюции французского языка и их место в глагольной системе современного французского языка; предложено новое объяснение этого удивительного феномена эволюции французского и других романских языков.

Ключевые слова: латинский язык, романские языки, грамматизация, история французского языка, языковая экономия, глагольная система.

DIFFERENT FATE OF LATIN VERB CONSTRUCTIONS TYPE «INFINITIVE + *HABEO*» AND «*HABEO* + PAST PARTICIPLE» IN FRENCH AND OTHER ROMANCE LANGUAGES

Lydia A. Stanovaia,
orcid.org/0000-0002-1702-4506,
Doctor of Philology, Professor
Herzen State Pedagogical University of Russia,
48, Moika River Embankment
St. Petersburg, 191186, Russia
lida_stan@mail.ru

Abstract. This article examines the different fate of Latin verb constructions type *cantare habeo* > *je chanterai* and *habeo cantatam* > *j'ai chanté*. As a result of the analysis, the reasons for the appearance of these periphrases in the Latin language were identified; the features of their further transformation into vulgar Latin during the formation of Romance languages were established; the specifics of the further development of the considered constructions in the process of evolution of the French language and their place in the verb system of modern French were

determined; a new explanation of this amazing phenomenon of the evolution of French and other Romance languages was proposed.

Keywords: Latin, Romance languages and Romance linguistics, grammaticization, history of the French language, linguistic economy, verb system.

Введение

Латинский язык, как известно, в процессе формирования французского и других романских языков претерпел многочисленные изменения, обусловленные, с одной стороны, общезыковым развитием аналитизма и трансформацией слова-предложения в слово (подробнее см.: [Становая, 2020; Становая, 2022]), а с другой, совершенствованием отдельных подсистем и парадигм в русле языковой экономии (подробнее см.: [Становая, 2017]). Однако, причины формирования и эволюции многих языковых элементов по-прежнему остаются неясными и/или дискуссионными. Таковы, например, причины появления и разной эволюции в разных романских языках двух латинских глагольных конструкций типа «инфинитив + *habeo* (*habes, habet, etc*)», далее – *cantare habeo*, и «*habeo* (*habes, habet, etc* (+ прямое дополнение) + причастие прошедшего времени (*participium perfecti passivi*)», далее – *habeo* (*epistulam*) *scriptam*.

Известно, что эволюция латинских конструкций типа *habeo* (*epistulam*) *scriptam* завершилась формированием сложных, аналитических видо-временных форм глагольного спряжения во всех романских языках, например, во французском языке: *j'ai écrit (une lettre)*, итальянском: *ho scritta (una lettera)*, испанском: *ha escrito (una carta)*, португальском: *tenho escrito (uma carta)*, румынском: *am scris (o scrisoare)*.

Напротив, эволюция латинских конструкций типа *cantare habeo* завершилась формированием синтетических форм будущего времени во французском языке: *je chanterai*, итальянском: *cantero*, испанском, каталанском: *cantaré*, португальском: *cantarei*; но в сельвском: *vegnel a cantar* (< *venio ad cantare*), сардинском: *deppo/appo cantare* (< *debeo/habeo cantare*), румынском: *voi cânta* (< *volo cantare*), некоторых южных говорах итальянского языка: *aggio a canda* (< *habeo ad cantare*), эти конструкции остаются по-прежнему аналитическими¹³.

Таким образом, судьба двух формально идентичных глагольных конструкций латинского языка оказалась различной не только в разных романских языках, но даже в одних и тех же, в том числе и во французском.

Важно при этом отметить, что одни глагольные формы образованы по структурной модели раздельнооформленного, аналитического слова, где лексема и граммема (граммемы) отделены друг от друга и где граммема (граммемы) предшествует лексеме, например, структура *j'ai écrit*: граммема лица *j'* + граммема времени и наклонения *ai* + лексема *écrit*. Другие, напротив, образованы по структурной модели цельнооформленного, синтетического

¹³ Алисова Т. Б. Введение в романскую филологию: учебник по направлению 031000 и специальности 031001 «Филология» / Т. Б. Алисова, Т. А. Репина, М. А. Таривердиева. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. 453 с. EDN QTFXQZ

слова, где лексема предшествует граммеме (граммемам), например, структура *chanterai*: лексема *chante-* + граммема времени *-r-* + граммема лица *-ai* (подробнее см.: [Становая, 2020]). Получается, что несмотря на бурное развитие аналитизма в период формирования и эволюции французского языка, были образованы не только новые аналитические формы глагольного спряжения, но и синтетические.

Анализ работ по истории французского языка и романской филологии в целом показывает, что причины как появления, так и разной эволюции рассматриваемых конструкций оказываются в целом неясными. Между тем, этот удивительный феномен языковой эволюции несомненно требует своего объяснения.

Для решения указанных вопросов мы обратились к исследованиям глагольных систем латинского и французского языков, чтобы, во-первых, выявить причины появления обеих конструкций в латинском языке, во-вторых, установить особенности их дальнейшей трансформации в вульгарной латыни в период формирования романских языков; в-третьих, определить специфику дальнейшего развития рассматриваемых конструкций в процессе эволюции французского языка и их место в глагольной системе современного французского языка, и, наконец, в-четвертых, предложить новое объяснение рассматриваемым явлениям. Настоящая статья представляет результаты проведенного нами исследования.

Конструкция *cantare habeo*

Обычно историки французского языка лишь констатируют новые «романские» формы будущего времени без указания причин их появления в латинском языке и особенностей дальнейшего преобразования аналитической конструкции в синтетическую форму. Так, в подавляющем большинстве работ по истории французского языка более или менее подробно описывается специфика спряжения старофранцузских глаголов в будущем времени, сохранение в ряде текстов некоторых латинских форм будущего времени глагола *estre*; особенности употребления будущего времени на разных этапах эволюции французского языка.

В романской филологии наиболее распространенным объяснением причин появления новых форм будущего времени в латинском языке является смешение глагольных форм, произошедшее в результате фонетических изменений:

а) билабиализация интервокального $b > \beta > v$ вызвала смешение форм будущего времени (*futurum I*) и перфекта (*perfectum*), например: *cantabit fut. I ind. act.* и *cantavit perf. ind. act.*;

б) расширение $\ddot{i} > e$ вызвало смешение форм будущего времени (*futurum I*) и презенса (*praesens*), например: *leges fut. I ind. act.* и *legis pr. ind. act.*;

в) уже в латинском языке флексия будущего времени *-am* у глаголов III и IV спряжения совпадала с флексией конъюнктива (*conjunctivum*) настоящего времени, например: *vendam, audiam fut. I ind. act., pr. conj. act.*

К этому смешению форм добавилась «конкуренция», во-первых, с формами настоящего времени, которые часто употреблялись в значении будущего, и во-вторых, с более выразительными конструкциями с глаголами *habeo, volo, debeo, venio* в личных формах настоящего времени с инфинитивом, которые выражали различные модальные значения (долженствования, желания, возможности, необходимости, обязательности) действий в будущем. «Победа» инфинитивных конструкций была обусловлена развитием номинативного типа предложения, вызвавшего также замену пассивных конструкций активными: *mihi liber legendus est* → *(ego) librum legere habeo*. Конструкция с глаголом *habeo* сочетала значения обязательности, необходимости действия и будущего времени. Постепенно значение обязательности, необходимости действия исчезло, и вся конструкция стала выражать только значение будущего времени. Порядок «лексема (инфинитив) + граммема (вспомогательный глагол)» связан с влиянием германского суперстрата или кельтского субстрата¹⁴ (см. напр.: [Бурсье, 1952, с. 104-105; Доза, 1956, с. 237-238; Сергиевский, 1952, с. 123-124; и др.]).

Подробный анализ семантической эволюции инфинитивной конструкции с глаголом *habeo*, осуществленный в работах последних десятилетий, показал, как значение обязательного, необходимого действия в будущем становится основным, а глагол *habeo* десемантизируется и становится служебным. Одновременно с этим, меняется соотношение «истинности – гипотетичности» (*éventuel, irréal – potentiel*) будущего действия в конструкциях с глаголом *habeo* в презенсе (*cantare habeo > chanterai*), ставшими во французском языке формами (категорического) будущего времени (*futur simple*, или *futur cathégorique*), или имперфекте (*cantare habebam > chanterais*), ставшими во французском языке формами условного наклонения (*conditionnel présent*) или гипотетического будущего времени (*futur hypothétique*). Порядок «лексема (инфинитив) + граммема (вспомогательный глагол)» связан с частотностью такого употребления в латинском языке [Grande Grammaire..., 2020, p. 1518-1520].

Однако иная хронология событий заставляет усомниться в указанном порядке причинно-следственных отношений.

Так, билабиализация $b > \beta$ и далее $\beta > v$, приведшая к смешению форм футурума I и перфекта (*cantabit ~ cantavit*), начинается в I в. [Широкова, 1995, с. 53], или во II в. [Бурсье, 1952, с. 47], или в I в. – $b > \beta$, а в конце III в. – $\beta > v$ [Zink, 1999, с. 61-62]. Расширение $\dot{i} > e$, приведшее к смешению форм футурума I и презенса (*legis ~ leges*), начинается в III в. [Бурсье 1952, с. 41; Zink, 1999, с. 51], или в III-V вв. [Широкова, 1995, с. 53].

Таким образом, смешение форм футурума I с другими временными формами могло бы вызвать употребление форм настоящего времени и рассматриваемых инфинитивных конструкций не ранее II-III вв. или даже

¹⁴ Алисова Т. Б. Введение в романскую филологию: учебник по направлению 031000 и специальности 031001 «Филология» / Т. Б. Алисова, Т. А. Репина, М. А. Таривердиева. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. 453 с. EDN QTFXQZ

позже, учитывая спорность хронологии указанных фонетических изменений и необходимый временной интервал между причиной и следствием.

Между тем, употребление форм настоящего времени в значении будущего зафиксировано в I в. у Петрония (27-66 гг.) [Тронский, 1953, с. 269], а инфинитивных конструкций с глаголом *habeo* – уже в I в. до н.э. Сначала, в I в. до н.э., в произведениях Цицерона (106 г. до н.э. – 43 г. до н.э.), а затем у Цезаря (100 г. до н.э. – 44 г.), эта конструкция имеет значение возможности будущего действия, далее у Сенеки (4 г. до н.э. – 65 г.) – необходимости. Во II в., в трудах Тертуллиана (155/165-220/240 гг.) появляется значение обязательности будущего действия, т.е. действия, которое произойдет обязательно. Затем, в конце империи (476 г.) – собственно будущего времени [Бурсье, 1952, с. 104-105; Бурсье, 1952, с. 164-165].

А. Дарместетер считал, что значение обязательности будущего действия впервые зафиксировано во II в. в трудах Минуция (Marcus Minucius Felix, ум. около 210 г.), затем – у Тертуллиана и других «отцов церкви», и уже с III в. во всех клерикальных произведениях конструкция употребляется в значении собственно будущего времени [Hatzfeld et al., 1895, p. 217-218].

Важно отметить скорость проходящих процессов грамматизации, включающей десемантизацию глагола *habere* до уровня вспомогательного, и морфологизации, включающей разрушение глагола *habere* до уровня морфемы (-*ai*, -*as*, -*at*, etc), необходимых для трансформации глагольной перифразы сначала в аналитическую конструкцию и далее в морфологическую форму, завершившиеся до/к VII в.: первая письменная фиксация новой формы будущего времени *daras* вм. *dabis* зафиксирована в тексте хроники Фредегария (Fredegarius) «История франков» (*Chronicorum libri IV cum continuationibus*), написанной около 660 г. и зафиксированной в латинской рукописи конца VII-начала VIII в. (Paris, BNF, Lat. 10910, около 700 г.).

Несмотря на споры, очевидно, что употребление инфинитивной конструкции с глаголом *habeo* в значении возможного, необходимого, обязательного будущего времени, зафиксированное уже в литературных текстах I в. до н.э., обусловлено не фонетическими изменениями, проходящими в I-V вв., а продолжающейся в латинском языке внутренней перестройкой глагольной системы, в том числе и категории будущего времени.

Так, по мнению И.М. Тронского, сходство флексий будущего времени (футурума I) -*am* у глаголов III и IV спряжения и конъюнктива настоящего времени (*vendam*, *audiam* fut. I ind. act., pr. conj. act.) свидетельствует о том, что в долитературной, архаической латыни именно конъюнктив как «наклонение побуждения и ожидаемого действия» употреблялся для выражения будущего времени. Стремление создать будущее время, выражающее «объективное будущее», привело к образованию «симметричной» системы индикатива и «субъюнктива», в которой сосуществовали «старые» формы конъюнктива в значении будущего и «новые» описательные с суффиксом *-bhě/ō от вспомогательного глагола *bhū – быть [Тронский, 1953, с. 108-111].

Учитывая все более и более нарастающее употребление инфинитивных конструкций, выражающих возможность, необходимость, обязательность будущего действия, можно заключить, что «новые» формы будущего времени на -b- (*cantabit*) не справились с задачей выражения «объективного будущего».

Чтобы понять причину этой неудачи, необходимо обратиться к теории Г. Гийома, который отметил разницу в характере настоящего времени в латинском и французском языках: в латинском языке настоящее время было широким, «горизонтальным», а во французском стало узким, «вертикальным».

В латинской и французской системах глагольного времени настоящее время, презенс, находится в центре времен индикатива и разделяет временные планы прошедшего и будущего. Любое время как действие имеет свое начало, или инциденту и конец, или декаденцию. Начало действия, соответственно, приход, наступление времени обозначено Г. Гийомом как альфа (α), тогда как конец действия, соответственно, уход в прошедшее время – как омега (ω)^{15,16} [подробнее см.: Guillaume, 1970; Valin, 1994, p. 75-78]).

Настоящее время по своей композиции представляет двучастную кинетическую единицу, которая объединяет в своей семантике обе частицы времени, поскольку есть и приход времени (α), и его уход (ω), однако расположение этих частиц в структуре латинского и французского презенса различно. Как отмечает Л.М. Скредина, «Положение альфы и омеги в структуре презенса определяет структуру французского индикатива. В латинском языке эти частицы находились на горизонтали: $\alpha + \omega$. Во французском языке стремление к наибольшей узости презенса привело к смене этой конфигурации на вертикальную $\alpha \gg \omega$ »¹⁵.

Схематически разницу между «горизонтальным» и «вертикальным» настоящим можно представить так: см. рис. 1, 2.

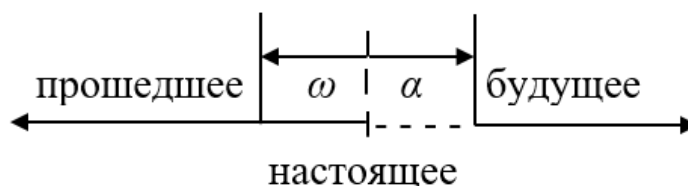


Рисунок 1 – «Горизонтальное» настоящее

¹⁵ Скредина Л. М. Школа Гийома: психосистематика: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 540300 «Филологическое образование». М.: Издательство «Высшая Школа», 2009. 367 с. EDN QUDVHH.

¹⁶ Скредина Л. М. Теоретическая грамматика французского языка: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 050300 – «Филологическое образование» / Л. М. Скредина, Л. А. Становая; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2012. 386 с. EDN RYWCNL.

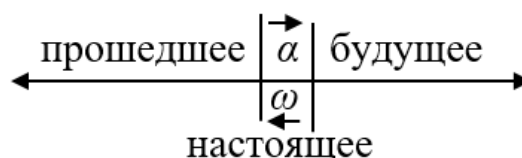


Рисунок 2 – «Вертикальное» настоящее

С этой точки зрения, употребление в латинском языке форм настоящего времени и инфинитивных конструкций со вспомогательными глаголами *habeo*, *volo*, *debeo*, *venio* в настоящем времени становится понятным: в условиях «горизонтального» настоящего это позволяло подчеркнуть, что будущее действие начинается прямо сейчас, в настоящем, т.е. «из» настоящего, а не в отдаленном будущем, т.е. «от» настоящего, после настоящего [Скрелина и др., 2023, с. 213-214]. Отсюда – та отмечаемая романистами выразительность этих перифраз, указывающих на долженствование, желание, возможность, необходимость, обязательность действия в будущем. Выбор же конструкции именно с глаголом *habeo* позволил представить будущее как возможное, обязательное, необходимое в своей реализации действие.

Нам легко это понять, поскольку такая же «горизонтальная» широта настоящего времени свойственна русскому языку. Поэтому, чтобы подчеркнуть обязательность, реальность будущего действия, вместо форм будущего времени часто употребляются формы настоящего, например: *Я завтра (в конце недели, через месяц, и т.д.) еду в Москву (иду в театр, сдаю отчет, и т.д.)*. Употребление форм настоящего времени позволяет избежать виртуальности, гипотетичности будущего времени.

Сокращение настоящего времени во французском языке до узкой границы, разделяющей планы прошедшего и будущего, проходило постепенно – об этом свидетельствует материал старофранцузского языка, в котором для передачи значения неминуемого, неизбежного будущего действия часто употреблялись формы не будущего, пока еще более отдаленного, а потому более виртуального, чем в современном французском языке, а настоящего времени [Скрелина и др., 2023, с. 230; Buridant, 2019, p. 530].

Можно заключить, что новые формы будущего времени появляются и развиваются в недрах самого латинского языка в процессе перестройки его собственной глагольной системы. Иначе говоря, до рождения собственно французского и других романских языков. В этой связи, образование новых форм будущего времени по латинской модели цельнооформленного, синтетического слова, где лексема предшествует граммеме (граммемам), было бы понятным, если бы во всех романских языках формы будущего времени были синтетическими. А поскольку это не так, следовательно, поиск средств для выражения «объективного будущего» в латинском языке объясняет причины раннего появления инфинитивных конструкций, но не объясняет различие полученного результата – образование новых форм будущего

времени в виде синтетического слова в одних романских языках и аналитического в других.

По нашему мнению, разный результат одного и того же языкового изменения в разных романских языках в очередной раз доказывает, что не было ни более или менее единого для всей территории Романии латинского языка, ни так называемого общероманского языка как промежуточного этапа в процессе формирования романских языков. Напротив, в разных романских ареалах проходило постепенное формирование новых романских языков, все более и более отдаляющихся от латинского языка-основы. Соответственно, образование синтетических или аналитических форм будущего времени отвечало особенностям складывающихся глагольных систем пока еще протофранцузского языка, протоитальянского, проторумынского и т.д.

Чтобы понять, почему во французском языке образовались синтетические формы будущего времени, надо обратиться к истории развития другой латинской перифразы – конструкции *habeo (epistulam) scriptam*.

Конструкция *habeo (epistulam) scriptam*

Причины появления этих конструкций в латинском языке вызывают споры романистов и историков французского языка, несмотря на то, что формирование сложных глагольных форм, процесс их грамматизации и морфологизации, споры о статусе в старофранцузском языке (еще конструкция или уже форма) и значении (видовое, временное или видо-временное) обязательно описываются, исследуются и обсуждаются не только в русле аналитического развития французского языка, но и общей теории грамматизации и прагматизации.

Известно, что конструкция *habeo (epistulam) scriptam* > *j'ai écrit (une lettre)* изначально функционировала в латинском языке в качестве обычного причастного оборота, определяющего прямое дополнение, т.е. дословно: (я) имею письмо написанным. Причины, этапы и итог последующей трансформации этого причастного оборота в сложную форму глагольного спряжения описываются романистами и историками французского языка по-разному.

Двойственность видо-временного значения, выражаемого формой латинского перфекта (*perfectum*) как прошедшего времени, а именно – 1. аориста, обозначающего просто завершённое действие в прошлом, и 2. результативного презенса, обозначающего завершённое действие в прошлом, результат, последствия которого наблюдаются, присутствуют в настоящем – обычно указывается в качестве главной причины появления и грамматизации синтаксической конструкции *habeo (epistulam) scriptam* > *j'ai écrit (une lettre)*, постепенно трансформирующейся в сложную аналитическую форму глагольного спряжения.

При этом, например, Э. Бурсье, обращает внимание на ослабление изначального значения принадлежности, относящегося к настоящему времени, и отмечает, что этот оборот «превратился из настоящего времени,

связанного с прошедшим, в прошедшее время, связанное с настоящим» [Бурсье, 1952, с. 103-104].

Т. Б. Алисова, Т. А. Репина, М. А. Таривердиева указывают на ослабление видовых различий, которые «уступают место более существенным для латинской системы временным противопоставлениям форм». Грамматическая категория вида, рассматриваемая авторами как оппозиция только форм перфекта и имперфекта по «перфектности»/«инфектности», сохраняется до образования романских языков, а далее присутствует только в тех романских языках, в которых сохраняется оппозиция форм «законченного»/«незаконченного» прошедшего¹⁷.

Между тем, в истории французского языка всегда отмечаются и более или менее подробно рассматриваются глагольные перифразы «*avoir, être + participe passé*», выражающие в старофранцузском языке как значение результативного настоящего, прошедшего, будущего, так и собственно прошедшего времени, завершено в настоящем, прошедшем, будущем, и совмещающие, таким образом, видовые и временные значения [Скрелина и др., 2023, с. 219-220; Buridant, 2019, p. 386-387; Grande Grammaire..., 2020, p. 1489-1509].

В современном французском языке рассматриваемая конструкция является моделью для образования всей системы новых глагольных форм, выражающих завершенность действия, например: *j'ai écrit* (passé composé), *j'avais écrit* (plus-que-parfait), *j'aurai écrit* (futur antérieur), *j'ai eu écrit* (passé surcomposé) и др. Тем самым, все времена совершенного вида и сложных, аналитических форм четко противопоставлены временам несовершенного вида и простых, синтетических форм, например: *j'écris* (présent); *j'écrivais* (imparfait); *j'écrirai* (futur simple, catégorique); *j'écrirais* (conditionnel présent, futur hypothétique) и др.

Это противопоставление простых и сложных глагольных форм в современном французском языке многими грамматистами (Г. Гийом, Ж. Дюбуа, П. Имбс, А. Мартине, и др.) рассматривается как видовое, позволяющее выделять грамматическую категорию вида: оппозиция грамматических значений завершенности и незавершенности действия (le non-accompli : l'accompli; action accomplie : non-accomplie) выражена оппозицией простых, синтетических и сложных, аналитических форм¹⁸.

Таким образом, в отличие от первой перифразы, эволюция которой завершилась образованием только новых форм будущего времени, эволюция второй перифразы привела к образованию полностью новой системы перфекта как системы совершенного вида.

¹⁷ Алисова Т. Б. Введение в романскую филологию: учебник по направлению 031000 и специальности 031001 «Филология» / Т. Б. Алисова, Т. А. Репина, М. А. Таривердиева. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. 453 с. EDN QTFXQZ

¹⁸ Скрелина Л. М. Теоретическая грамматика французского языка: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 050300 – «Филологическое образование» / Л. М. Скрелина, Л. А. Становая ; Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2012. 386 с. EDN RYWCNL.

Как показал наш анализ [Становая, 2017], столь фундаментальная перестройка всей латинской системы перфекта было обусловлена не только двойственностью видо-временной характеристики одного из своих времен, но и другими ее существенными недостатками.

Так, в латинском языке все глагольные формы образовывались по единой структурной модели «основа инфекта или перфекта + граммема (инфикс, суффикс) наклонения и времени + личное окончание активного или пассивного залога», например: основа инфекта *canta-* + граммема наклонения и времени *-ba-* + личное окончание активного залога *-t* → *cantabat imperfectum indicativi activi*; основа перфекта *cantav-* + граммема наклонения и времени *-eri-* + личное окончание активного залога *-t* → *cantaverit plusquamperfectum indicativi activi*.

Однако, в системе перфекта эта общность латинской модели была нарушена:

во-первых, формы перфекта изъявительного наклонения активного залога (*perfectum indicativi activi*) имели свои особые личные окончания (*-i, -isti, -it*, и т.д.), служащие для образования только этого времени, только этого наклонения и только в активном залоге, тогда как все остальные глагольные формы образовывались при помощи общих окончаний активного/пассивного залога (*-o/-m, -s, -t*, и т.д./*-or, -ris, -tur*, и т.д.);

во-вторых, образование форм пассивного залога всех времен и наклонений системы перфекта совершалось аналитическим способом при помощи вспомогательного глагола *esse* и причастия прошедшего времени (*participium perfecti passivi*), причем конструкции с формами вспомогательного глагола в настоящем времени имели общее значение перфекта (*cantatus est; cantatus sit*), в имперфекте – плюсквамперфекта (*cantatus erat, cantatus esset*), в футуруме I – футурума II (*cantatus erit*).

Кроме этого, в латинском языке отсутствовали единые и регулярные средства образования основы перфекта: образование основы перфекта осуществлялось при помощи удвоения начального согласного основы инфекта (*curro – cucurri*); удлинения корневого гласного (*ěmo – ěmi*); инфиксов *-v-, -u-, -s-* с последующими фонетическими изменениями (*scribere – scripsi; ducere – duxi; sentire – sensi*); супплетивизма (*fero – tuli*); без изменения основы инфекта (*defendo – defendi*).

Разнообразие и многочисленность, а у части глаголов отсутствие, различительных, дифференциальных маркеров (знаков), регулярно и четко различающих основы инфекта и перфекта, обусловили образование новых глаголов, выражающих различные способы действия, в том числе и перфективность (*facere* ‘делать’ → *perficere* ‘завершить’, *conficere* ‘изготовить’); а также итеративность и интенсивность действия (*jacere* ‘бросать’ - *jactum* → *jactare* ‘метать’); вхождение в действие, состояние (*pallere* ‘быть бледным’ → *palescere* ‘бледнеть’) (подробнее см.: [Становая, 2017]).

Можно заключить, что вся латинская система перфекта была организована плохо, не экономно.

Отметим, что мы употребляем термин «экономия» в соответствии с пониманием А. Мартине [Martinet, 1955], введшим термин и понятие языковой экономии в лингвистику, и со значением слова «экономия» (*économie*) во французском языке как «порядок, способ, искусство управления, руководства, гармоничное и согласованное расположение, соотношение и соединение частей любого организованного целого, единства», а не в соответствии со значением слова «экономия» в русском языке как «экономия, экономность, бережливость, расчетливость» (подробнее см.: [Становая, 2016]).

Описанную выше систему перфекта никак нельзя рассматривать как «гармоничное, согласованное, организованное единство», в котором между формой и значением в структуре знака есть необходимое и экономное соответствие, поскольку, во-первых, противопоставление глагольных форм по значению вида осуществлялось при помощи большого количества разнообразных маркеров, причем у части глаголов видовые основы инфекта и перфекта не противопоставлялись вовсе.

Во-вторых, пассивный залог был поистине «чужеродным телом в латинской глагольной системе» [Тронский, 1953, с. 112], так как здесь разрушалась не только формальная (синтетическая/аналитическая форма), но и видо-временная гармония (времена инфекта/перфекта), например:

1) формы настоящего времени изъявительного наклонения активного/пассивного залога (*praesens indicativi activi/passivi*) *cantat/cantatur* – обе формы синтетические, образованы от основы инфекта, выражают общее значение инфекта и настоящего времени, различаются только окончанием активного/пассивного залога и, соответственно, значением активного/пассивного залога;

2) формы прошедшего времени изъявительного наклонения активного/пассивного залога (*perfectum indicativi activi/passivi*) *cantavit/cantatus est* – первая форма, активного залога, синтетическая, образована от основы перфекта, выражает общее значение перфекта и прошедшего времени; вторая форма, пассивного залога, аналитическая, образована при помощи вспомогательного глагола в презенсе и пассивного причастия прошедшего времени (*participium perfecti passivi*), выражает соединение значений инфекта и настоящего времени (*est*) со значением перфекта (*cantatus*).

Поскольку язык как динамическая система обладает свойством саморазвития и самоорганизации [Martinet, 1955], уже в латинском языке началась перестройка глагольной видо-временной системы, которая шла и в русле регуляризации средств образования основ перфекта, и в русле уточнения грамматической семантики прошедшего времени, и в русле поиска новых форм выражения завершенности действия. На столь фундаментальную перестройку всей системы перфекта потребовались столетия, но в результате в современном французском языке сформировалась новая, экономная, симметричная и гармоничная видо-временная система глагольного спряжения, в которой видовое противопоставление иерархически подчиняет себе все остальные: все времена системы несовершенного вида и простых,

синтетических форм четко противопоставлены временам системы совершенного вида и сложных, аналитических форм.

С этой точки зрения, причины преобразования латинской перифразы *cantare habeo* > *je chanterai* в синтетическую форму спряжения французского глагола, а *habeo cantatam* > *j'ai chanté* – в аналитическую, становятся очевидными: будущее время входит в систему инфекта как систему несовершенного вида и получает синтетическую форму в соответствии с другими временами несовершенного вида (настоящее время, имперфект), а перфект как прошедшее время совершенного вида получает аналитическую форму и становится моделью для образования новых форм всех времен и наклонений системы перфекта как системы совершенного вида.

Можно заключить, что разная судьба латинских глагольных перифраз *cantare habeo* > *je chanterai* и *habeo cantatam* > *j'ai chanté* была предопределена всем ходом формирования и эволюции глагольной системы французского языка.

Заключение

Причины появления двух латинских глагольных конструкций типа *cantare habeo* и *habeo (epistulam) scriptam* по-прежнему остаются дискуссионными. Более того, до сих пор неясно, почему судьба двух формально идентичных глагольных конструкций латинского языка оказалась различной не только в разных романских языках, но даже в одних и тех же, в том числе и во французском: эволюция конструкций типа *habeo (epistulam) scriptam* завершилась формированием сложных, аналитических видо-временных форм глагольного спряжения во всех романских языках, а эволюция латинских конструкций типа *cantare habeo* завершилась формированием синтетических форм будущего времени во французском, итальянском, испанском, каталанском, португальском языках, но в сельвском, сардинском, румынском, некоторых южных говорах итальянского языка эти конструкции остаются по-прежнему аналитическими.

Проведенный анализ позволил выявить причины появления обеих конструкций в латинском языке, установить особенности их дальнейшей трансформации в вульгарной латыни в период формирования романских языков; определить специфику дальнейшего развития рассматриваемых конструкций в процессе эволюции французского языка и их место в глагольной системе современного французского языка, предложить новое объяснение этого удивительного феномена эволюции французского и других романских языков.

Так, мы заключили, что употребление инфинитивной конструкции с глаголом *habeo* в значении возможного, необходимого, обязательного будущего времени обусловлено продолжающимся в латинском языке поиском языковых средств выражения «объективного будущего». Наличие в латинском языке широкого «горизонтального» презенса обусловило употребление форм настоящего времени и инфинитивных конструкций со вспомогательными глаголами *habeo, volo, debeo, venio* в настоящем времени.

Появление и трансформация конструкции *habeo (epistulam) scriptam > j'ai écrit (une lettre)* в сложную аналитическую форму глагольного спряжения обусловлены фундаментальной перестройкой всей латинской системы перфекта, которая началась уже в недрах самого латинского языка, но завершилась в процессе эволюции французского языка. В результате этой фундаментальной перестройки в современном французском языке образована новая, экономная, симметричная и гармоничная видо-временная система глагольного спряжения, в которой все времена системы несовершенного вида и простых, синтетических форм четко противопоставлены временам системы совершенного вида и сложных, аналитических форм.

В свете этой перестройки причины преобразования латинской перифразы *cantare habeo > je chanterai* в синтетическую форму спряжения французского глагола, а *habeo cantatam > j'ai chanté* – в аналитическую, становятся очевидными: будущее время входит в систему инфекта как систему несовершенного вида и получает синтетическую форму в соответствии с другими временами несовершенного вида (настоящее время, имперфект), а перфект как прошедшее время совершенного вида получает аналитическую форму и становится моделью для образования новых форм всех времен и наклонений системы перфекта как системы совершенного вида.

Таким образом, разная судьба латинских глагольных перифраз *cantare habeo > je chanterai* и *habeo cantatam > j'ai chanté* была предопределена всем ходом формирования и эволюции глагольной системы французского языка.

Библиографический список

- Бурсье Э. Основы романского языкознания. М.: Изд-во иностр. литературы, 1952. VIII. 672 с.
- Доза А. История французского языка. Перев. с франц. Е. Н. Шор. М.: Изд-во иностр. литературы, 1956. 471 с.
- Сергиевский М. В. Введение в романское языкознание. М.: Изд-во литературы на иностр. яз., 1952. 280 с.
- Скрелина Л. М. История французского языка / Л. М. Скрелина, Л. А. Становая. 3 изд. М.: Юрайт, 2023. 463 с.
- Становая Л. А. Грамматическая категория вида в русле формирования и эволюции французского языка // Фундаментальное и актуальное в развитии языка: категории, факторы, механизмы: материалы XVIII Международной конференции Школы-Семинара имени Л. М. Скрелиной, Москва, 13–16 сентября 2017 года. Москва: Московский городской педагогический университет, 2017. С. 249-257. EDN ZHQJTX.
- Становая Л. А. Еще раз к вопросу о принципе языковой экономии // Теоретическая и прикладная лингвистика. 2016. Т. 2, № 4. С. 50-75. DOI 10.22250/2410-7190_2016_2_4_50_75. EDN XVIPMF.
- Становая Л. А. Особенности аналитического и синтетического развития французского языка // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2020. № 198. С. 26-35. DOI 10.33910/1992-6464-2020-198-26-35. EDN FYUWBO.
- Становая Л. А. Системность языковых изменений // Человек и его Язык: Материалы XX юбилейной Международной конференции Школы-Семинара имени Л.М. Скрелиной,

Санкт-Петербург, 14–16 сентября 2022 года. Санкт-Петербург: Издательско-Торговый Дом «СКИФИЯ», 2022. С. 207-212. EDN LXARMK.

Тронский И. М. Очерки из истории латинского языка. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 272 с.

Широкова А. В. От латыни к романским языкам. М.: Изд-во РУДН, 1995. 283 с.

Buridant Cl. Grammaire du français médiéval (XI-XIV siècles). Strasbourg: ELIPHI, 2019. XXIV. 1173 p.

Grande Grammaire Historique du Français (GGHF) / Marchello-Nizia C., Combettes B., Prévost S., Scheer T. (Eds.). Vol. 1-2. Berlin, Boston: De Gruyter Mouton, 2020. LIV. 2186 p.

Guillaume G. Temps et Verbe. Théorie des aspects, des modes et des temps. L'architecture du temps dans les langues classiques. Paris: Champion, 1970. 134 p.

Hatzfeld A. Dictionnaire général de la langue française du commencement du XVII siècle jusqu'à nos jours, précédé d'un traité de la formation de la langue: A-F / A. Hatzfeld, A. Darmesteter. Paris: Ch. Delagrave, 1895. 272 p.

Martinet A. Économie des changements phonétiques: Traité de phonologie diachronique. Berne: Editions A. Francke, 1955. 396 p.

Valin R. L'envers des mots. Analyse psychomécanique du langage. Paris: Klincksieck, 1994. 396 p.

Zink G. Phonétique historique du français. 6 éd. Paris: PUF, 1999. 254 p.

References

Bourcier E. (1952). Basics of Romance linguistics. Moscow: *Publishing house of foreign literature*, 1952. VIII. 672 p. (In Russian)

Buridant Cl. (2019). Grammaire du français médiéval (XI-XIV siècles). Strasbourg: *ELIPHI*, 2019. XXIV. 1173 p. (In French)

Dauzat A. (1956). History of the French language. Moscow: *Publishing house of foreign literature*, 1956. 471 p. (In Russian)

Guillaume G. (1970). Temps et Verbe. Théorie des aspects, des modes et des temps. L'architecture du temps dans les langues classiques. Paris: *Champion*, 1970. 134 p. (In French)

Hatzfeld A., Darmesteter A. (1895). Dictionnaire général de la langue française du commencement du XVII siècle jusqu'à nos jours, précédé d'un traité de la formation de la langue: A-F. Paris: *Ch. Delagrave*, 1895. 272 p. (In French)

Marchello-Nizia C., Combettes B., Prévost S., Scheer T. (Eds.). (2020). Grande Grammaire Historique du Français (GGHF). Vol. 1-2. Berlin, Boston: *De Gruyter Mouton*, 2020. LIV. 2186 p. (In French)

Martinet A. (1955). Économie des changements phonétiques: Traité de phonologie diachronique. Berne: *Editions A. Francke*, 1955. 396 p. (In French)

Sergievskij M. V. (1952). Introduction in Romance Linguistics. Moscow: *Publishing house of literature in foreign languages*, 1952. 280 p. (In Russian)

Shirokova A. V. (1995). From Latin to Romance languages. Moscow: *RUDN Publishing*, 1995. 283 p. (In Russian)

Skrelnina L. M., Stanovaïa L. A. (2023). History of the French language. Moscow: *Jurajt*, 2023. 463 p. (In Russian)

Stanovaïa L. A. (2016). Addressing the principle of linguistic economy again. *Theoretical and Applied Linguistics*. 2(4): 50-75. (In Russian)

Stanovaïa L. A. (2017). The grammatical category of the aspect in line with the formation and evolution of the French language. *Fundamental and actual in the development of language: categories, factors, mechanisms. Materials of the XVIII International Conference of the L.M. Skrelnina School-Seminar*. Moscow: Moscow City Pedagogical University Publishing. 249-257. (In Russian)

Stanovaïa L. A. (2020). Features of the analytical and synthetic development of the French language. *News Herzen University Journal of Humanities & Science*. 198: 26-35. (In Russian)

- Stanovaia L. A.* (2022). Systematicity of language changes. *Man and his Language: Materials of the XX Anniversary International Conference of the L.M. Skrelina School-Seminar*. St. Petersburg: Publishing and Trading House «SCYTHIA». 207-212. (In Russian)
- Tronsky I. M.* (1953). Essays from the history of the Latin language. Moscow: *Publishing House of the USSR Academy of Sciences*, 1953. 272 p. (In Russian)
- Valin R.* (1994). L'envers des mots. Analyse psychomécanique du langage. Paris: *Klinsieck*, 1994. 396 p. (In French)
- Zink G.* (1999). Phonétique historique du français. 6 éd. Paris: *PUF*, 1999. 254 p. (In French)

ПРОБЛЕМЫ ЯЗЫКОВОЙ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ И КАТЕГОРИЗАЦИИ МИРА В ЯЗЫКЕ

УДК 811.111

ББК 81.432.1

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_165

МОДУСНАЯ КАТЕГОРИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ (PREDICTION) И ЕЕ ИНТЕРПРЕТИРУЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ

*Лариса Владимировна Проскурнина,
orcid.org/0000-0001-6780-1636,
аспирант*

*Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, д. 1
Иркутск, 664003, Россия
larisa.dubrovina.96@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию языковой репрезентации знания о возможных будущих явлениях, событиях, процессах. Предметом лингвокогнитивного анализа является языковая концептуализация и категоризация прогнозирования как проспективного осмысления и оценки будущего положения дел предметной области Climate change в англоязычных информационно-аналитических и публицистических медиатекстах. Обосновывается интерпретирующая функция модусной категории PREDICTION, которая заключается в интерпретации, модализации, оценке концептуального содержания. Полученные результаты вносят вклад в исследование модусной категоризации как одной из форм репрезентации знаний в языке и их интерпретирующего потенциала.

Ключевые слова: вероятностное знание, прогнозирование, модус, модусный глагол, модусная категория, интерпретация.

MODUS CATEGORY OF PREDICTION AND ITS INTERPRETING POTENTIAL

*Larisa V. Proskurnina,
orcid.org/0000-0001-6780-1636,
Postgraduate student
Irkutsk State University,
1, Karl Marx Street
Irkutsk, 664003, Russia
larisa.dubrovina.96@mail.ru*

Abstract. The article discusses linguistic representation of human knowledge about future events, processes, situations. The study focuses on prospective categorization of the reality. More specifically the paper considers linguistic conceptualization and categorization of forecasting as a cognitive activity. The author states that modus category of PREDICTION involves cognitive operations of interpretation, modalization, and evaluation of the conceptual content. The paper discusses discursive construal of future climate changes in English media. The findings obtained

may be helpful for further study of the modal categorization as one of the forms of knowledge representation in language and its interpretative potential.

Key words: probabilistic knowledge, prediction, modus, modus verb, modus category, interpretation.

Введение

Познание ментальных процессов и принципов организации когнитивной системы в сознании человека посредством исследования разных форматов знания и их объективации языковыми формами является актуальной научной проблемой современной антропоцентрической парадигмы. Проблемы репрезентации мира в языке являются не только лингвистическими, но и гносеологическими, поскольку, изучая «глубинные механизмы устройства и функционирования языка, мы изучаем в определённом аспекте закономерности функционирования нашего интеллекта» [Шатуновский, 1996, с. 21]. Язык открывает окно не только в окружающий мир, но и в ментальную сферу человека, именно поэтому лингвистика «исключительно важна для получения данных о деятельности разума» [Кубрякова, 2012, с. 26]. Включенность настоящего исследования в контекст общетеоретической проблемы языковой категоризации и концептуализации когнитивно-познавательной деятельности обуславливает его *актуальность*. Также *актуальным* является обращение к проблемам соотношения объективного и субъективного во всей совокупности отношений человека с миром. Познавательное отношение человека к миру и экспликация личностного начала в языке присуща модусным категориям, которые «по своей природе связаны с онтологией человеческого сознания» [Болдырев, 2019, с. 157]. Проблематика исследования интерпретирующего потенциала языковых единиц и категорий связана с изучением и типологизацией модусных категорий как особого формата знания о мире в рамках индивидуальной системы оценок, норм, ценностных установок конкретного индивида [Болдырев, 2019; Кобрина, 2021; Кубрякова, 2004; Семенова, 2007]. Модус трактуется как языковое воплощение категории познающего субъекта, который оставляет «следы» своей рефлексии в модусных смыслах [Семенова, 2007, с. 86].

Цель работы заключается в исследовании языковой концептуализации когнитивного процесса прогнозирования и в обосновании его лингвистического статуса в категориальном пространстве языка.

В качестве *объекта* исследования выступают языковые единицы, объективирующие в современном английском языке модусную категорию прогнозирования как специфическое проявление интерпретирующей активности субъекта познания.

Материалы и методы

Исследование модусной категории прогнозирования выполнено на основе когнитивного подхода с использованием методов дефиниционного, концептуального, дискурсивного, категориального анализов.

Материалом исследования послужил корпус из 54 статей информационно-аналитического и публицистического жанров, тематической доминантой которых является предметная сфера *CLIMATE CHANGE*, размещённых в англоязычных изданиях The Guardian, The New York Times, The Independent за период с 2021 года по настоящее время.

Анализ и результаты

Представление о будущем составляет важнейшую часть внутренней сферы человека, идея будущего связана с целым комплексом психологических, ментальных действий, состояний и процессов [Гловинская, 2003; Карасик, 2018]. Будущее в языке и язык будущего выступают как научно-теоретические проблемы концептуального плана [Лингвофутуризм..., 2011]. Н. К. Рябцева, рассматривая закономерности и принципы представления в языке знаний о внешнем и о внутреннем мире, высвечивает перспективность человеческого мышления, значимость представления о будущем в ментальном и социальном мире, отмечая, что «неизбежность» будущего порождает перспективное осознание действительности и происходящих в ней изменений [Рябцева, 2005, с. 276]. В темпоральной организации психики человека к будущему отнесены желания и надежды, страхи и предчувствия, планы и замыслы [Арутюнова, 1999, с. 688]. Человеческое сознание способно осмысливать окружающую действительность, проецировать прошлые и настоящие события на развитие аналогичных в будущем, моделировать гипотетические сценарии, конкретные эпизоды, которые могут произойти в будущем. Такое осмысление реальности позволяет индивиду структурировать и систематизировать полученные знания.

Прогнозирование как одна из форм перспективно ориентированной деятельности представляет собой особую форму активности, в процессе которой формируется суждение о будущем состоянии определенного процесса или явления, основанное на рациональной обработке информации. Вероятностное суждение как знание о будущем, полученное в результате рациональной, интеллектуальной обработки информации, трактуется как прогноз [Гловинская, 2003; Князева, 2009; Савицкайте, 2006;], как «опережающее знание о действительности» [Рагозина, 2011, с. 504.] Прогноз трактуют в терминах «вероятностное знание» [Пивоев, 2013; Пискорская и др., 2006], «прогностическое знание» [Ильницкий, 2011]. М. Ильницкий высвечивает предсказательную способность имеющихся у человека знаний, которая проявляется в виде осознаваемых предположений, неосознаваемых ожиданий и вероятностной оценки положений дел. Знание опережает опыт, позволяя человеку предугадывать события, формируя прогностическое знание. Характеристики познавательной деятельности, такие как адекватность и соответствие, уступают место приписыванию условных, вероятных свойств реальному миру [Там же, с. 85-86]. Прогнозирование как процесс обработки информации задает «перспективное» и «интерпретативное» измерение знаниям о настоящем [Рябцева, 2005, с. 274].

Ментальное действие прогнозирования, как и другие онтологически недоступные восприятию феномены внутренней сферы человека, получает лингвистическую интерпретацию «на основании семантического анализа соответствующих языковых единиц» [Зализняк, 2006, с. 422]. Глагольная лексема «концептуализирует» определённый фрагмент внеязыковой действительности, сопоставляя ему нечто, что можно назвать «концепт ситуации» [Падучева, 2004, с. 56]. Когнитивная модель ситуации как конструкт, как информационный образ фрагмента внеязыковой действительности, высвечивает знание человека о ситуации и содержит импликации, связанные как с самим действием, так и со свойствами участников ситуации [Там же]. Именно поэтому представляется целесообразным обратиться к семантической структуре глаголов с семантикой прогнозирования, чтобы выявить структуру знания о ситуации прогнозирования и ее отражение в значениях анализируемых языковых единиц.

Средством вербализации прогнозирования выступают глаголы *anticipate, foreshow, forebode, foreshadow, forestall, foresee, forecast, foretell, forewarn, predict, prophesy, prognosticate, presage, project, divine, envisage, anticipate, augur*. Для исследования содержательной структуры глаголов с семантикой прогнозирования обратимся к дефиниционному анализу, согласно которому значение слова приравнивается к его словарному толкованию:

- *forecast* – to say what you think will happen in the future based on information that you have now [OALD, 1982];
- *foretell* – to know or say what will happen in the future, especially by using magic powers [OLD, s.a.];
- *estimate* – to form an idea of the cost, size, value of smth., but without calculating it exactly [OALD, 1982];
- *predict* – to say what you think will happen in the future [MEDAL, s.a.];
- *project* – to estimate what the size, cost or amount of something will be in the future based on what is happening now [OLD, s.a.];
- *warn* – if you warn someone about something such as a possible danger or problem, you tell them about it so that they are aware of it [CED, s.a.];
- *forewarn* – to warn somebody about something bad or unpleasant before it happens [OALD, 1982].

Дефиниционный анализ вышепредставленных глаголов свидетельствует о том, что содержание концепта PREDICTION/ПРОГНОЗ включает концептуальные признаки ‘ментальное действие’, ‘речевое действие’, ‘референция к будущему’, ‘основание для суждения о будущем’, ‘рациональный источник знания о будущем’, ‘оценка будущего положения дел’, ‘параметр прогнозируемого события’. Выявленные на основе дефиниционного анализа признаки структурируют когнитивную модель ситуации прогнозирования, которая включает следующих участников ситуации: *Субъект/Агенса ментального действия – Ментальное действие получения и передачи вероятностного знания о будущем на основе обработки*

информации – Ментальный объект как вероятностное суждение о будущем положении дел.

Концептуальная семантика предикатов прогнозирования связана с названием когнитивной (ментальной, речевой) деятельности, при помощи которой происходит интерпретация, модализация, оценка пропозиционального содержания высказывания. Именно поэтому ментальная лексика рассматривается как «прямой, эксплицитный способ референции к своим ментальным состояниям» [Рябцева. 2005, с. 484]. Глаголы, категоризирующие ментальную и психическую деятельность, трактуются как модусные [Долинина, 1985; Золотова 2004; Камшилова, 1984; Семенова, 2007]. В качестве модусного признака в значении глагола О. Н. Камшилова выделяет признак «построение отображения первичной денотативной ситуации» [Камшилова, 1984, с. 25], что обуславливает способность модусных глаголов выступать в качестве ментальных репрезентаций. Модусные глаголы, говоря словами И. Б. Шатуновского, принадлежат не миру, но «способу отражения мира в мышлении и языке» [Шатуновский, 1996, с. 55], и их функция заключается в локализации суждения «в ментальной сфере его носителя» [Арутюнова, 1999, с. 429].

Для обозначения мыслительных процессов, при помощи которых в семантике глагола происходит отображение первичной денотативной ситуации, О. Н. Селивёрстова вводит понятия «проецируемое» и «конструируемое» отображение [Селиверстова, 2004, с. 314-315]. Процесс проецируемого отображения предполагает наличие в сознании готового объекта (события, ситуации), то есть речь идёт о построении проекции денотата в сознании. Когнитивный механизм конструируемого отображения обуславливает способ репрезентации, при котором имеет место конструирование в сознании ментального объекта путем обработки информации, формирования на ее основе логического вывода, установления причинно-следственных отношений.

Исследуемые нами глаголы с семантикой прогнозирования могут быть отнесены к группе модусных на том основании, что они способны реализовывать модусную предикатную функцию, что, в свою очередь, обусловлено тем, что: 1) в их семантике выделяется пропозиционный компонент 'ментальная деятельность' (*predict – to say what you think will happen in the future*), при помощи которой происходит квалификация, модализация, интерпретация, репрезентация пропозиционального содержания высказывания; 2) выделяется модусный признак 'построение конструируемого отображения,' суть которого состоит в ментальной репрезентации на основе рациональных источников будущего положения дел, которое может не иметь места в пространстве реального мира; 3) выделяются модальные признаки 'оценка отображаемого явления' и 'степень вероятности отображаемого явления'.

Когнитивным признаком глаголов мнения признаётся их способность выступать в качестве ментальных репрезентаций [Devitt et al., 1985; Fodor, 1980]. Понятие репрезентации знания включает указание на отображение

чего-либо как во внешнем мире, так и в сознании человека, так и на «выводимые» знания, порождаемые самой репрезентацией» [Кубрякова 2012, с. 104]. Репрезентационная природа ментальных глаголов означает, что они «имеют областью своей денотации не ситуацию в действительности (Р), а ее отображение в сознании, или ее мысленный образ, мысленную картинку (Р')» [Ильчук, 2004, с. 23]. По отношению к глаголам, способным подчинять интенциональный объект, Т. А. Клепикова вводит понятие «метарепрезентация» [Клепикова, 2008], тем самым акцентируя двойственность репрезентационной функции глаголов ментальной деятельности, которая заключается в их способности не только репрезентировать собственно когнитивный процесс, но и содержание данного процесса [Там же, с. 109]. Такого рода двойственность модусных предикатов связана с их способностью называть (репрезентировать) конкретную психическую деятельность, при помощи которой становится возможной репрезентация содержания данного когнитивного процесса [Долинина, 1985; Камшилова, 1984; Клепикова, 2008]. Т. А. Клепикова предлагает таксономию метарепрезентационных глаголов, включающих три подкласса: 1. глаголы проспективной дейктической направленности; 2. глаголы ретроспективной дейктической направленности; 3. глаголы двойной дейктической ориентации [Клепикова, 2008, с. 112]. Исследуемые нами глаголы с семантикой прогнозирования можно отнести к классу метарепрезентационных глаголов проспективной дейктической направленности. Модусные глаголы с семантикой предвосхищения (*anticipate expect, hope*) выделяются и в типологии О. Н. Камшиловой [Камшилова, 1984, с. 111-114].

Модусная категоризация представляет одну из форм репрезентации знания в языке. В рамках общей теории репрезентации и оперирования знанием в языке, разработанной Н. Н. Болдыревым [Болдырев, 2019], выделяется интерпретирующая функция языка как еще одна базовая функция наряду с коммуникативной и когнитивной. В категориальном пространстве языка интерпретирующая функция языка, актуализируемая когнитивными механизмами интерпретации, рефлексии, оценки, производимыми познающим субъектом над концептуальным содержанием высказывания, опосредована категориями модусного типа как особыми форматами знания [Болдырев, 2019; Кобрина, 2021; Семенова, 2007; Семенова, 2023]. Список модусных категорий в современной лингвистике носит открытый характер. Так, например, в зависимости от определённой когнитивной деятельности, вербализуемой модусным глаголом, выделяют модусные категории кажимости [Семенова, 2007], типичности [Трушков, 2017], воображения [Семенова и др., 2021], предпочтения [Максимов, 2008], тональности [Тупикова, 2015], эвиденциальности [Козловский, 2022], ошибочных действий [Семенова, 2023]. Исследование типов модусов и языковых средств актуализации модусных смыслов позволяет структурировать «интерпретационную модель мира» [Болдырев, 2019, с. 157], присущую данному социуму.

В систему категорий модусного типа считаем возможным ввести и модусную категорию прогнозирования, концептуальной основой которой является модусный концепт PREDICTION. Высказывания с эксплицитным модусом прогнозирования объективируют концептуальную интеграцию двух ситуаций: модусной, называющей когнитивную деятельность, и диктумной, являющейся содержанием данного когнитивного процесса. Модус, как отмечает Н. Д. Арутюнова, переносит центр тяжести на постулируемое говорящим отношение содержания высказывания к действительности [Арутюнова, 1999, с. 408]. Пропозициональный объект глаголов прогнозирования, объективируемый придаточным предложением, полной номинализацией, именами с событийной семантикой, указывает на содержание суждения, которое является ментальной репрезентацией в сознании вероятной ситуации, положения дел, ср.: *Scientists **anticipate that 2024 will be even hotter than 2023*** [Noor, 2023]; ***Floods, tornadoes, heat: more extreme weather predicted across US*** [Paul, 2023]. Содержание пропозиционального объекта, вводимое глаголами с семантикой прогнозирования, квалифицируется не как ситуация, имеющая место в действительности, а как ментальная репрезентация возможного будущего положения дел. Главное предназначение модуса Н. К. Рябцева видит в том, чтобы «воплотить отношение субъекта к диктуму, придать ему необходимую эпистемическую определенность» [Рябцева, 2005, с. 484]. Семантически мотивированной чертой модусных глаголов с проспективной направленностью является модальность проблематической достоверности, вероятностное значение входит в ассертивную часть значения.

В аналитических и публицистических текстах с медиатопиком *climate change* / *изменение климата* дискурсивно конструируются сценарии грядущих экологических перемен, прогнозируются риски, угрозы, деструктивные последствия климатических изменений. Дискурсивная репрезентация когнитивной модели ситуации прогнозирования представлена в следующем примере, ср.: ***Exxon scientists predicted there would be global heating of about 0.2C a decade due to the emissions of planet-heating gases from the burning of oil, coal and other fossil fuels*** [Milman, 2023] – *Ученые компании Exxon предсказали, что глобальное потепление составит около 0,2°C за десятилетие из-за парниковых газов в результате сжигания ископаемого топлива*. Признак ‘референция к будущему’ на уровне пропозиционального содержания маркируется грамматической формой будущего времени. В качестве субъекта прогностической деятельности выступают исследователи как сотрудники американской нефтяной компании Эксон/ Еххон, которые на основе анализа рационального источника знания – объема выбросов парниковых газов в результате сжигания ископаемых видов топлива формируют суждение о вероятности повышения глобальной температуры на 0.2 С.

Ментальный объект как суждение о будущем вербализован придаточным предложением, проспективность будущего положения дел выражается формой будущего времени, ср.: *Scientists **anticipate that 2024 will be even hotter than 2023, as an El Niño weather pattern – known for a tendency to***

*boost global temperatures – will likely peak toward the end of this year [Noor, 2023] – Ученые ожидают, что 2024 год будет еще жарче, чем 2023 год, поскольку погодный режим Эль-Ниньо, известный своей тенденцией к повышению глобальной температуры, скорее всего, достигнет своего пика к концу этого года. Глаголы с семантикой прогнозирования предопределяют временные параметры прогнозируемого события, его референцию к будущему, так, можно отметить функционирование полных номинализаций и событийных имен в позиции объекта, ср.: **Floods, tornadoes, heat: more extreme weather predicted across US; The agency (the National Weather Service) also warned of severe thunderstorms in areas of Oklahoma, with risks of very large hail and damaging wind gusts [Paul, 2023] – Наводнения, торнадо, жара: в США прогнозируется еще более экстремальная погода; Агентство (Национальная метеорологическая служба) также предупредило о сильных грозах в районах Оклахомы с риском очень сильного града и разрушительных порывов ветра.***

Модус прогнозирования включает оценочный компонент. Оценка как прагматический компонент значения выдвигает на первый план когнитивный механизм интерпретации. Оценка является неотъемлемой частью процессов познания и отображения реальности, которые проявляются на дискурсивном уровне, ср.: *More than a month's rain could fall in less than 24 hours in southern parts of the UK by the end of Sunday, and a Met Office **warning** is in place **for severe thunderstorms** that could cause **life-threatening floods** [Banfield-Nwachi, 2023] – Менее чем за 24 часа в южных частях Великобритании к концу воскресенья может выпасть более среднемесячной нормы осадков, а Метеорологическое бюро предупреждает о сильных грозах, которые могут вызвать опасные для жизни наводнения. Негативная оценка грядущих климатических изменений актуализируется языковыми единицами с негативными экспрессивными и эмотивными коннотациями: *severe – 'extremely bad or serious', life-threatening – 'that is likely to kill somebody'* [OLD, s.a.]. Пропозициональное содержание глагола *warn* эксплицирует суждение о потенциальной опасности сильных атмосферных осадков.*

Прогнозы на будущее признаются как «утверждения с шатким или субъективным истинностным значением» [Арутюнова, 1999, с. 410]. Смысловой показатель «истинность» [Гловинская, 2003, с. 825] не свойственен глаголам с проспективной семантикой и может быть интерпретирован только ретроспективно, на основе истинностной оценки прошедших событий, ср.: *A new study, however, has made clear that Exxon's scientists were **uncannily accurate in their projections** from the 1970s onwards, **predicting an upward curve of global temperatures** [Milman, 2023] – Однако новое исследование ясно показало, что ученые Exxon были **невероятно точны в своих прогнозах**, начиная с 1970-х годов, предсказывая восходящую кривую глобальной температуры.*

Следующий пример подтверждает мысль о том, что для достижения прогнозируемых показателей необходимо выполнение определённых условий, ср: *On Tuesday, **Climate Action Tracker estimated that their emissions targets for 2030 put the planet on track to heat 2.5C by the end of the century,***

despite promises from countries at a previous summit to try to limit it to 1.5C [Niranjan, 2023] – Во вторник компания Climate Action Tracker подсчитала, что их прогнозируемые показатели выбросов на 2030 год ставят планету на путь повышения температуры на 2,5°C к концу столетия, несмотря на обещания стран на предыдущем саммите попытаться ограничить ее до 1,5°C. Темпоральным индикатором в исследуемом примере выступает так называемый «прогнозный горизонт» [Аббазова и др., 2015] как перспектива возможных трансформаций климатических изменений к 2030 году. Семантической основой глагола *estimate* является значение ‘приблизительный расчёт’, что указывает на рациональный источник прогностической деятельности в целях придания объективности, точности и достоверности информации.

Итак, модус прогнозирования представляет вербализованное знание о будущем на основе обработки поступающей и имеющейся информации. Интерпретативность модуса прогнозирования заключается в том, что с его помощью устанавливаются причинно-следственные связи и отношения между эмпирическими, статистическими, рациональными данными, текущей ситуацией, факторами, тенденциями и перспективным будущим положением дел, событием, процессом.

Заключение

Подводя итоги, считаем важным отметить, что в ходе проведенного исследования обоснован лингвистический статус феномена прогнозирования как модусной категории, концептуальной основой которой выступают концепт PREDICTION и его интерпретирующая функция. Модус прогнозирования связан со способом отражения мира в языке, основой которого является конструируемое отображение. Проспективность как конституирующая составляющая прогнозирования связана с интерпретацией будущей ситуации, её рациональной и эмоциональной оценкой, модализацией, что свидетельствует об интерпретирующем потенциале концепта PREDICTION. Языковая категория прогнозирования занимает определенное место в типологии модусов как определенная структура представления и интерпретации вероятностного знания о будущем. Полученные результаты вносят определённый вклад в изучение познавательных процессов в их языковой репрезентации.

Библиографический список

- Аббазова Р. Р. Денежно-кредитная политика на прогнозном горизонте 2016-2018 годов / Р. Р. Аббазова, А. А. Моисеева // Научный альманах. 2015. № 11-1(13). С. 20-22. DOI 10.17117/na.2015.11.01.020. EDN VHYNRR
- Арутюнова Н. Д. Язык и мир человека. 2-е изд., испр. М.: Языки русской культуры, 1999. 896 с. EDN YLAWAR.
- Болдырев Н. Н. Язык и система знаний. Когнитивная теория языка. 2-е издание. М.: Издательский дом ЯСК, 2019. 480 с. EDN OXLIYG.
- Гловинская М. Я. Предсказывать, предрекать, пророчить, пророчествовать, прорицать, прогнозировать // Школа «Языки славянской культуры», 2003. С. 825-830.

- Долинина И. Б. Специфика семантики предикатов в конструкциях с предикатными актантами // Типология конструкций с предикатными актантами. Л.: Наука, 1985. С. 42-46.
- Зализняк А. А. Многозначность в языке и способы ее представления. М.: Языки славянских культур, 2006. 671 с. EDN SMRRBT
- Золотова Г. А. Коммуникативная грамматика русского языка / Г. А. Золотова, Н. К. Онипенко, М. Ю. Сидорова. М.: Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН, 2004. 544 с.
- Ильницкий М. Прогностические знания как инструмент познания политической действительности // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. № 6. С. 84-91. EDN NWDHDL.
- Ильчук Е. В. Мышление и восприятие сквозь призму языка (на материале английского языка): монография / Московский педагогический государственный университет. М.: "Прометей" МПГУ, 2004. 264 с. EDN PAGIZB.
- Камшилова О. Н. Семантико-синтаксическая организация предложений с модусными предикатами: специальность 10.02.04 "Германские языки" : автореф. дис. ... канд. филол. наук / Ольга Николаевна Камшилова. Л., 1984. 29 с.
- Карасик В. И. Предсказание как речевой жанр // Жанры речи. 2018. № 1(17). С. 39-47. DOI 10.18500/2311-0740-2018-1-17-39-47. EDN YVJHPT.
- Клепикова Т. А. Лингвистические метарепрезентации: монография. Спб.: Астерион, 2008. 249 с. EDN QUIKJL.
- Князева А. А. Тексты о предсказании будущего как вид прогностических текстов // Известия РГПУ им. А. Герцена, 2009. № 114. С. 200-212. EDN KVQVBF
- Кобрин О. А. Модусная составляющая лингво-коммуникативной категории // Актуальные проблемы филологии и лингводидактики: Сборник материалов Второй всероссийской конференции с международным участием, Нижний Новгород, 21–22 мая 2021 года. Нижний Новгород: Нижегородский государственный лингвистический университет им. Н.А. Добролюбова, 2021. С. 50-56. EDN UUQLYU.
- Козловский Д. В. Взаимодействие модусных категорий "эвиденциальность" и "модальность" в массмедийном дискурсе // Филология и человек. 2022. № 3. С. 32-45. DOI 10.14258/filichel(2022)3-03. EDN GXEUNJ.
- Кубрякова Е. С. В поисках сущности языка: Когнитивные исследования. М.: Знак, 2012. 203 с. EDN RFKRHN.
- Кубрякова Е. С. Язык и знание: На пути получения знаний о языке: Части речи с когнитивной точки зрения. Роль языка в познании мира. М.: Языки славянской культуры, 2004. 560 с. (Язык. Семиотика. Культура).
- Лингвофутуризм. Взгляд языка в будущее. М.: Индрик, 2011. 519 с. EDN QXARPX.
- Максимов А. Н. Модус предпочтения и его выражение в семантической структуре слова и предложения (на материале английского языка) // Вестник Университета Российской академии образования. 2008. № 2. С. 52-55. EDN NRABDP
- Падучева Е. В. Динамические модели в семантике лексики. М.: Языки славянской культуры, 2004. 609 с. EDN PAXMHJ
- Пивоев В. М. Вероятностное знание в гуманитарных науках // XXIII Ершовские чтения. межвузовский сборник научных статей. Ишим, 05–06 марта 2013 года / Ответственный редактор: Л. В. Ведерникова. Том Часть 2. Ишим: Ишимский государственный педагогический институт им. П.П. Ершова, 2013. С. 60-63. EDN RDSTMZ.
- Пискорская С. Ю. Проблема вероятностного знания в науке / С. Ю. Пискорская, О. В. Летунова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2006. № 6 (13). С. 278-280. EDN IUEQXX.
- Рагозина И. Ф. «Если б да кабы...»: прогнозы, планы, мечты // Лингвофутуризм. Взгляд языка в будущее. М.: Индрик, 2011. С. 503-513.
- Рябцева Н. К. Язык и естественный интеллект. М.: Academia, 2005. 639 с. EDN QRMSYH.

- Савицкайте Е. Р.* Дискурсивные характеристики прогностических текстов (на материале немецких гороскопов): специальность 10.02.04 "Германские языки" : автореф. дис. ...канд. филол. наук / Елена Романовна Савицкайте. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2006. 24 с. EDN ZNRNSX.
- Селиверстова О. Н.* Труды по семантике. М.: Языки русской культуры, 2004. 960 с. EDN RBVTON.
- Семенова Т. И.* Лингвистический феномен кажимости (на материале современного английского языка): 10.02.04 "Германские языки" : диссертация на соискание ученой степени доктора филологических наук / Татьяна Ивановна Семенова. Иркутск, 2007. 339 с. EDN QEHWSH.
- Семенова Т. И.* Модус воображения в категориальном пространстве английского языка / Т. И. Семенова, А. С. Ишенина // *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*. 2021. № 3. С. 72-87. DOI 10.51955/2312-1327_2021_3_72. EDN WOSMTK.
- Семенова Т. И.* Модусная категоризация ошибочных действий в англоязычной картине мира // *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*. 2023. № 3. С. 90-102. DOI 10.51955/2312-1327_2023_3_90. EDN DASWVU.
- Трушков М. А.* Изучение семантики типичности: источники, методы, основные результаты // *Вестник Вятского государственного университета*. 2017. № 11. С. 189-194. EDN YUMMDY.
- Тушикова С. Е.* Модусная категория тональности и языковые способы ее реализации в публицистическом дискурсе // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Филология. Журналистика*. 2014. Т. 14. № 1. С. 20-25. EDN VHPJDJ
- Шатуновский И. Б.* Семантика предложения и нерелевантные слова (значение, коммуникативная перспектива, прагматика). М.: Языки русской культуры, 1996. 400 с.
- Banfield-Nwachi M.* Met Office warns of thunderstorms and possible threat to life in southern UK // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.theguardian.com/uk-news/2023/sep/17/met-office-warns-of-thunderstorms-and-possible-threat-to-life-in-southern-uk> (дата обращения 12.11.2023).
- CED – Collins ENGLISH Dictionary* // [Электронный ресурс] – URL: <https://www.collinsdictionary.com/> (дата обращения 29.01.2024).
- Devitt M.* Language and Reality. An Introduction to the Philosophy of Language / M. Devitt, K. Sterelny. Cambridge (Mass.): The MIT Press, 1985. 253 p.
- Fodor J. A.* The Language of Thought. Second Printing. Cambridge (Mass.): Harv. Univ. Press, 1980. 214 p.
- MEDAL – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners* // [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.macmillandictionary.com/> (дата обращения: 08.01.2024).
- Milman O.* Revealed: Exxon made 'breathtakingly' accurate climate predictions in 1970s and 80s // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.theguardian.com/business/2023/jan/12/exxon-climate-change-global-warming-research> (дата обращения 29.01.2024).
- Niranjan A.* Earth on verge of five catastrophic climate tipping points, scientists warn // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2023/dec/06/earth-on-verge-of-five-catastrophic-tipping-points-scientists-warn> (дата обращения 12.11.2023).
- Noor D.* Leading Nasa climate expert says July likely to be hottest month on record // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2023/jul/20/nasa-climate-crisis-july-hottest-month> (дата обращения 12.11.2023).
- OALD – Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English* / ed. by A.S. Hornby with the ass. of A.P. Cowie. London: Oxford Univ. Press, 1982. 614 p.
- OLD – Oxford Learner's Dictionary* // [Электронный ресурс] – URL: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/> (дата обращения 29.01.2024).

Paul K. Floods, tornadoes, heat: more extreme weather predicted across US // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.theguardian.com/world/2023/jul/13/more-extreme-weather-across-us> (дата обращения 12.11.2023).

References

- Abbazova R. R., Mokeeva A. A. (2015). Monetary policy on the forecast horizon 2016-2018. *Scientific almanac*. 11-1(13): 20-22.
- Arutyunova N. D. (1999). Language and the world of man. 2nd ed., rev. Moscow: *Languages of Russian Culture*, 1999. 896 p.
- Banfield-Nwachi M. (2023). Met Office warns of thunderstorms and possible threat to life in southern UK. Available at: <https://www.theguardian.com/uk-news/2023/sep/17/met-office-warns-of-thunderstorms-and-possible-threat-to-life-in-southern-uk> (accessed 12 November 2023).
- Boldyrev N. N. (2019). Language and knowledge system. cognitive theory of language. 2nd edition. Moscow, 2019. 242 p.
- CED – Collins ENGLISH Dictionary. Available at: <https://www.collinsdictionary.com/> (accessed 01 September 2024).
- Devitt M., Sterelny K. (1985). Language and Reality. An Introduction to the Philosophy of Language/ Cambridge (Mass.): *The MIT Press*, 1985. 253 p.
- Dolinina I. B. (1985). Specificity of the semantics of predicates in constructions with predicate actants // Typology of constructions with predicate actants. L.: Nauka, 1985. pp. 42-46.
- Fodor J. A. (1980). The Language of Thought. Second Printing. Cambridge (Mass.): *Harv. Univ. Press*, 1980. 214 p.
- Glovinskaya M. Ya. (2003). Predict, foretell, prophesy, prophesy. *School "Languages of Slavic Culture"*. 2003. 825-830.
- Ilchuk E. V. (2004). Thinking and perception through the prism of language (based on the English language): monograph. Moscow: *GNO Publishing house "Prometheus" MPGU*, 2004. 264 p.
- Ilnitsky M. (2011). Predictive knowledge as a tool for understanding political reality. *Bulletin of the Baltic Federal University. I. Kant*. 6: 84-91.
- Kamshilova O. N. (1984). Semantic-syntactic organization of sentences with modus predicates: abstract. dis. ...cand. Philol. Sciences: 10.02.04 / O. N. Kamshilova. Leningrad, 1984. 29 p.
- Karasik V. I. (2018). Prediction as a speech genre. *Genres of speech*. 1(17): 39-47.
- Klepikova T. A. (2008). Linguistic meta-representations: Monograph. St. Petersburg: *Asterion*, 2008. 249 p.
- Knyazeva A. A. (2009). Texts about predicting the future as a type of prognostic texts. *News of the Russian State Pedagogical University named after. A. Herzen*, 114: 200-212.
- Kobrina O. A. (2021). Modus component of the linguistic-communicative category. *Current problems of philology and linguodidactics*. 50-56.
- Kozlovsky D. V. (2022). Interaction of modal categories “evidentiality” and “modality” in mass media discourse. *Philology and man*. 3: 32-45.
- Kubryakova E. S. (2004). Language and knowledge: On the way to acquiring knowledge about language: Parts of speech from a cognitive point of view. The role of language in understanding the world. Moscow: *Languages of Slavic culture*, 2004. 560 p.
- Kubryakova E. S. (2012). In search of the essence of language: Cognitive research. Moscow: *Znak*, 2012. 203 p.
- Linguistic futurism. A look into the future of language. M.: *Indrik*, 2011. 519 p.
- Maksimov A. N. (2008). Mode of preference and its expression in the semantic structure of words and sentences (based on the material of the English language). *Bulletin of the University of the Russian Academy of Education*. 2: 52-55.
- MEDAL – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners. Available at: <http://www.macmillandictionary.com/> (accessed 08 January 2024).

- Milman O. (2023). Revealed: Exxon made ‘breathtakingly’ accurate climate predictions in 1970s and 80s. Available at: <https://www.theguardian.com/business/2023/jan/12/exxon-climate-change-global-warming-research> (accessed 29 January 2024).
- Niranjana A. (2023). Earth on verge of five catastrophic climate tipping points, scientists warn. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2023/dec/06/earth-on-verge-of-five-catastrophic-tipping-points-scientists-warn> (accessed 12 November 2023).
- Noor D. (2023). Leading Nasa climate expert says July likely to be hottest month on record. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2023/jul/20/nasa-climate-crisis-july-hottest-month> (accessed 12 November 2023).
- OALD – Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English / ed. by A.S. Hornby with the ass. of A.P. Cowie. London: *Oxford Univ. Press*, 1982. 614 p.
- OLD – Oxford Learner's Dictionary. Available at: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/> (accessed 29 January 2024).
- Paducheva E. V. (2004). Dynamic models in the semantics of vocabulary. Moscow: *Languages of Slavic Culture*, 2004. 609 p.
- Paul K. (2023). Floods, tornadoes, heat: more extreme weather predicted across US. Available at: <https://www.theguardian.com/world/2023/jul/13/more-extreme-weather-across-us> (accessed 11 December 2023).
- Piskorskaya S. Yu., Letunova O. V. (2006). The problem of probabilistic knowledge in science. *Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetneva*. 6(13): 278-280.
- Pivoev V. M. (2013). Probabilistic knowledge in the humanities. *XXIII ERSHOV READINGS. interuniversity collection of scientific articles*. 60-63.
- Ragozina I. F. (2011). “If only...”: forecasts, plans, dreams. *Linguistic futurism. A look into the future of language*. 503-513.
- Ryabtseva N. K. (2005). Language and natural intelligence. Moscow: Academia, 2005. 639 pp.
- Savitskaya E. R. (2006). Discursive characteristics of prognostic texts (based on German horoscopes): Abstract of thesis. ...cand. Philol. Sci. Voronezh: VSU Publishing House, 2006. 24 p.
- Seliverstova O. N. (2004). Works on semantics. Moscow: *Languages of Russian culture*, 2004. 960 p.
- Semenova T. I. (2007). Linguistic phenomenon of appearance (based on the material of modern English): dissertation for the degree of Doctor of Philology. Irkutsk: Irkutsk State Linguistic University, 2007. 339 p.
- Semenova T. I. (2023). Modus categorization of erroneous actions in the English-language picture of the world. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3: 90-102.
- Semenova T. I., Ishenina A. S. (2021). Mode of imagination in the categorical space of the English language. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3: 72-87.
- Shatunovsky I. B. (1996). Semantics of sentences and non-referential words (meaning, communicative perspective, pragmatics). Moscow: *Languages of Russian Culture*, 1996. 400 p.
- Trushkov M. A. (2017). Study of the semantics of typicality: sources, methods, main results. *Bulletin of the Vyatka State University*. 11: 189-194.
- Tupikova S. E. (2014). Modal category of tonality and linguistic methods of its implementation in journalistic discourse. *News of Saratov University. New episode. Series: Philology. Journalism*. 14(1): 20-25.
- Zaliznyak A. A. (2006). Polysemy in language and ways of representing it. Moscow: *Languages of Slavic Cultures*, 2006. 671 p. M.Yu.
- Zolotova G. A., Onipenko N. K., Sidorova M. Yu. (2004). Communicative grammar of the Russian language. 2nd ed. Moscow: *IRYA RAS: MSU*, 2004. 544 p.

КОГНИТИВНЫЕ, КОММУНИКАТИВНО-ПРАГМАТИЧЕСКИЕ, СТИЛИСТИЧЕСКИЕ, КОРПУСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯЗЫКА

УДК 81.11-112

ББК 81.432.4

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_178

ЛЕКСЕМА «TIERFREI» КАК ИНДИКАТОР ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕМЕЦКОЙ ЯЗЫКОВОЙ КАРТИНЕ МИРА

*Клементина Васильевна Метелькова,
orcid.org/0009-0000-5057-0464,*

аспирант

*Ивановский государственный университет,
ул. Ермака, д. 39*

*Иваново, 153025, Россия
klementinametelkova4@gmail.com*

Аннотация. Главная мысль статьи посвящена проблеме отражения в языке процессов, связанных с изменением отношения человека к животным в современном обществе. В центре внимания исследования находится зооморфная лексическая единица «tierfrei». Основой исследования послужили 130 примеров употребления лексемы «tierfrei» в корпусе DWDS. На базе нескольких дискурсов были выявлены 4 основных значения заявленной лексемы и систематизированы с точки зрения ее прагматической функции. Опираясь на полученный лингвистический материал, авторы могут сделать следующие выводы, имеющие место в современном немецком социуме и влияющие на формирование немецкой национальной картины мира: 1) лексема «tierfrei» является неологизмом и стала активно использоваться носителями немецкого языка только с 2007 года; 2) у лексемы «tierfrei» могут быть выделены четыре основных значения: «без присутствия животных»; «без содержания продуктов животного происхождения»; «без элементов животного происхождения»; «без экспериментов над животными»; 3) лексему «tierfrei» можно встретить в таких дискурсах, как кулинарный, медицинский, рекламный, в каждом из которых она выполняет свою прагматическую функцию; 4) появление и активное употребление слова «tierfrei» в текстах немецкоязычного пространства свидетельствуют о том, что в современном немецкоязычном обществе происходят изменения, связанные с переосмыслением роли животных в жизни человека.

Ключевые слова: зооморфная лексическая единица, немецкая языковая картина мира, корпус, значение, прагматическая функция, кулинарный дискурс, рекламный дискурс, отношение человека к животным.

THE "TIERFREI" LEXEME AS AN INDICATOR OF DYNAMIC PROCESSES IN THE GERMAN LANGUAGE PICTURE OF THE WORLD

*Klementina V. Metelkova,
orcid.org/0009-0000-5057-0464,
postgraduate student
Ivanovo State University,
39, Ermaka Street,
Ivanovo, 153025, Russia,
klementinametelkova4@gmail.com*

Abstract. The main idea of the article is devoted to the problem of reflecting in language the processes associated with changing human attitudes towards animals in modern society. The focus of the research is on the zoomorphic lexical unit "tierfrei". The research was based on 130 examples of the use of the "tierfrei" token in the DWDS corpus. On the basis of several discourses, 4 main meanings of the declared lexeme were identified and systematized in terms of its pragmatic function. Based on the linguistic material obtained, the authors can draw the following conclusions that take place in modern German society and influence the formation of the German national picture of the world: 1) the "tierfrei" lexeme is a neologism and has been actively used by native German speakers only since 2007; 2) the "tierfrei" lexeme can have four main meanings: "without the presence of animals"; "without the content of animal products"; "without elements of animal origin"; "without experiments on animals"; 3) the "tierfrei" lexeme can be found in such discourses as culinary, medical, advertising, in each of which it performs its pragmatic function; 4) the appearance and active use of the word "tierfrei" in the texts of the German-speaking space indicates that changes are taking place in modern German-speaking society associated with a rethinking of the role of animals in a person's life.

Key words: zoomorphic lexical unit, German language picture of the world, corpus, meaning, pragmatic function, culinary discourse, advertising discourse, human attitude to animals.

Введение

Современный мир наполнен различными событиями, которые в значительной мере меняют не только политический и природный облик планеты, но и общество. Динамические процессы, определяющие образ современного мира, находят свое отражение в языке. Одним из таких изменений является годами формирующееся переосмысление отношения человека к животным, которое проявляется в различных процессах, происходящих в современном обществе [Heuberger, 2021].

Данный факт привлек внимание ученых разных направлений, так в западной науке в последние годы формируется междисциплинарное направление «Human Animal Research», объектом изучения которого являются взаимоотношения человека и животных. Переосмысление отношения человека к животным дало новый импульс и развитию лингвистики. По мнению Р. И. Бабаевой, тот факт, что в текстах СМИ, в том числе и публикациях на политические темы, стали активно использоваться анималистическая лексика и образы животных, взаимосвязан в определенной степени с изменением отношения к животным в современном обществе [Babaeva, 2020].

При изучении употребления анималистической лексики в текстах немецкого медиадискурса было обнаружено, что в текстах СМИ наиболее

частотным словом является лексическая единица «tierfrei», хотя в словарях немецкого языка эта единица не зафиксирована. Этот факт позволяет предположить, что появление данной единицы и ее активное употребление в современном немецком языке взаимосвязано с изменениями, происходящими в отношении носителей немецкого языка к животным.

Для проверки и уточнения этой гипотезы были определены задачи исследования, которые заключаются в следующем: выявить типичные контексты употребления лексемы «tierfrei», определить наиболее характерные словосочетания с данной лексической единицей, уточнить значение данного слова, установить на основе дискурсивных характеристик изучаемого слова тенденции в изменении отношения немцев к животным.

Материалы и методы

Основой исследования послужили 130 примеров употребления лексемы «tierfrei» в корпусе DWDS [DWDS o.J.]. Кроме того, в качестве дополнительного материала при работе над темой использовались тексты немецкого интернет-пространства, а также ресурсы корпуса лексики немецкого языка Лейпцигского университета [Wortschatz, o.J.].

Основными методами исследования являлись метод дискурсивного анализа и метод компонентного анализа.

Дискуссия

Слова, обозначающие животных, издавна привлекают внимание лингвистов, так как они составляют значительную часть лексического состава различных языков.

Одним из активно разрабатываемых направлений в лингвистике является изучение зооморфных фразеологизмов. Эти лексические единицы привлекают ученых, так как они позволяют выявить национальные особенности восприятия животных у разных народов. Образные устойчивые сочетания, в состав которых входят названия животных, рассматривались в лингвистике как на материале отдельных языков, так и на основе сравнения нескольких языков. Немецким зооморфным фразеологизмам посвящены работы С. В. Буренковой, О. Ю. Макаровой, Е. В. Брискиной, Н. В. Смирновой, Д. В. Юрченко, А. С. Едко и др. [Брискина, 2023; Буренкова, 2008; Едко, 2015; Макарова и др., 2018; Смирнова, 2023; Юрченко, 2001].

Другое лингвистическое направление изучения слов, обозначающих животных, представляют исследования, посвященные метафоричным употреблением анимализмов: О. И. Агафонова, И. В. Миронова, Е. И. Карпенко, Э.А. Кацитадзе, Р.Д. Керимов, О.В. Кирпичева, М.Н. Храмова и др. [Агафонова, 2012; Карпенко, 2006; Кацитадзе, 1985; Керимов, 2013; Кирпичева, 2007; Миронова, 2001; Храмова, 2012].

Выделенные направления, как правило, имеют культурологическую направленность и ориентируются на выявление национальных особенностей в изображении животных, поэтому многие из них используют термины «лингвокультура», «языковая картина мира». «Представления о животных

являются значимой составной частью культурного кода этноса, прежде всего, они находят выражение в фольклоре и фразеологическом фонде языка. Внимание многих лингвистов привлекают зоонимы, так как функционирование данных слов позволяет не только детально описать лексическую систему языка, но и обнаружить систему ценностей его носителей» [Бабаева, 2023].

Употребления слов, обозначающих животных, в их буквальном значении, а не в переносном, гораздо реже привлекают внимание лингвистов. Такое отношение к изучению анимализмов, вероятно, является несправедливым. Дискурсивный анализ анимализмов в их прямом значении, а не образном, может дать возможность обнаружить типичные сочетания и характерные контексты таких лексических единиц. Это позволит, с одной стороны, уточнить семантику данных слов в современном языке, а с другой стороны, выяснить экстралингвистические факторы, оказывающие влияние на семантические процессы, и проследить взаимоотношения человека и животных в современном мире. Данному феномену посвящены следующие немногочисленные работы: В. В. Грищенко, Chimaira [Грищенко, 2004; Chimaira, 2011].

Изучение функционирования немецкого слова «tierfrei», результаты исследования которого представлены в данной статье, выполнено в русле третьего направления.

Анализ и результаты

На первом этапе исследования было уделено внимание этимологии и частотности употребления лексемы «tierfrei». Данное слово является результатом словосложения и состоит из двух компонентов tier- (Tier/животное) и frei (ohne/ без).

Данные о появлении данного слова и частотности употребления в современном немецком языке были заимствованы из корпуса DWDS, они представлены в виде графика (рис. 1). Как видно из данного графического изображения, данное слово стало употребляться в немецком языке с 1987-го, до 2007 года его частотность употребления была невысокой и стабильной, а уже с 2007 года фиксируется значительный рост его употребительности. Такой рост, вероятно, был обусловлен процессами, происходящими в немецкоязычном обществе.

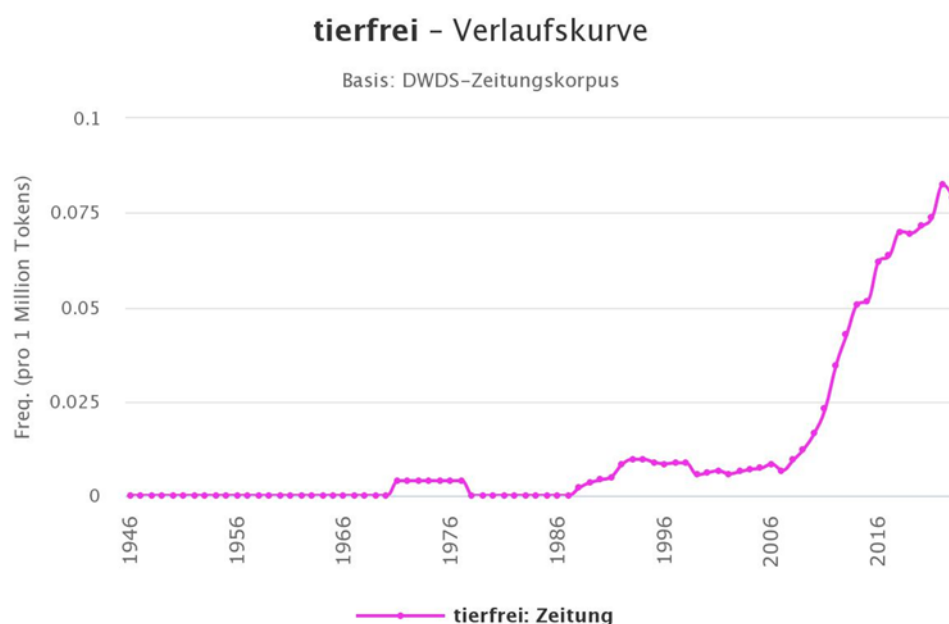


Рисунок 1 – Verlaufskurve des Wortes «tierfrei». *Источник: URL: <https://www.dwds.de>*

По данным корпуса, первые слова были зафиксированы в газетных текстах. В газете «Tagesspiegel» данное слово встретилось впервые в 1999 г., оно имело значение – «без присутствия животных»: (Der Tagesspiegel, 27.09.1999) *Den tierfreien Zirkus der Zukunft mag sie sich nicht vorstellen* [DWDS, о.Я.]. В период до 2006 года это слово встретилось в данном издании 4 раза, во всех случаях в значении «без присутствия животных». С 2007 года до 2023 года данное издание употребило это слово 39 раз.

В газете «Zeit» данное слово впервые появилось в 1999 г. и до 2006 г. не употреблялось, в период с 2007 г. по 2018 г. выявлено 18 употреблений – в значении «без содержания продуктов животного происхождения»: (Die Zeit, 09.09.1999, Nr. 37) *Ich esse keine Eier, ich trinke keine Milch, mein Essen ist total tierfrei* [DWDS, о.Я.].

Для того, чтобы уточнить значения рассматриваемого слова, нами было проанализировано 130 предложений из корпуса DWDS, в которых в том или ином значении использовалась лексема «tierfrei». В процессе систематизации материала было выявлено 4 основных значения данного слова:

1) «tierfrei» в главном (прямом) его значении – «без присутствия животных» (*Tierfreie Zirkus-Show startet am 11. Mai in Hamburg. – Цирковое шоу без животных стартует в Гамбурге 11 мая*);

2) «tierfrei» в значении «без содержания продуктов животного происхождения» (*Sogar überzeugte Fleischesser probieren sich inzwischen an fleisch - und tierfreien Gerichten. – Даже убежденные мясоеды теперь пробуют свои силы в приготовлении блюд, не содержащих мяса животных*);

3) «tierfrei» в значении «без элементов животного происхождения» (*Größerer Screen, weniger Tasten und Schalter, mehr Fokus auf Infotainment – der neue 5er (unten) setzt zudem auf neue, auf Wunsch tierfreie Materialien. –*

Увеличенный экран, меньше кнопок и переключателей, больше внимания уделяется информационно-развлекательной системе – в новой 5-й серии (внизу), согласно запросам, также используются новые материалы, не содержащие в своем составе элементы животного происхождения);

4) «tierfrei» в значении «без экспериментов над животными» (*Das Gegenteil sei der Fall: „Forschungsexzellenz ist nur durch innovative tierfreie Methoden möglich“, so Herrmann. – Верно и обратное: «Превосходство в исследованиях возможно только благодаря инновационным методам, не связанным с животными», – говорит Херрманн*).

Количественное соотношение употреблений рассматриваемого слова в выявленных значениях можно представить в виде диаграммы (рис. 2).



Рисунок 2 – Основные значения употребления лекси́мы «tierfrei»

Результаты анализа показали, что чаще всего данное слово употребляется в значении «без содержания продуктов животного происхождения» (56%). Это объясняется тем, что в Германии за последние 10 лет выросло количество вегетарианцев и веганов. Этот фактор может быть обусловлен разными причинами: желанием людей сохранить окружающий мир и экологию, желанием следовать моде, которая заключается в здоровом питании, религиозными убеждениями и традициями. Для немецкого человека переход к нетрадиционному для него вегетарианскому питанию связан с ментальной деятельностью и оценкой данного процесса.

Следующая по величине группа – это употребление слова «tierfrei» в значении «без элементов животного происхождения» (21%). Показатели характеризуют Германию как быстроразвивающуюся страну, которая стремится к защите окружающей среды.

Третье и четвертое место с разницей в 1% занимают группы, представляющие значение слова «tierfrei» в прямом его значении (12%) и в значении «без экспериментов над животными» (11%). Данный феномен можно наблюдать в таких сферах, как сельское хозяйство (постепенный уход в сторону ведения сельского хозяйства без животных), развлекательная сфера (цирковые шоу без животных) и другие.

При анализе употреблений лексемы «tierfrei» были выявлены типичные сочетания, которые соотносятся с основными значениями лексемы. Результаты исследования представлены в следующей таблице (табл. 1).

Таблица 1 – Типичные словосочетания, соотносимые с основными значениями лексемы «tierfrei»

Значение	Словосочетания (количество употреблений)
«без содержания продуктов животного происхождения»	tierfreie Produkte (78) tierfreie Ernährung (39) tierfreie Gerichte (13) tierfreies Fleisch (11) tierfreies Essen (11) tierfreie Kost (7) tierfreie Milchprodukte (7) tierfreier Käse (7) tierfreie Zutaten (7) tierfreie Rezepte (6) tierfreie Milchprodukte (5) tierfreie Milchproteine (5) tierfreie Lebensmittel (4) tierfreie Angebote (3) tierfreier Speiseplan (2) tierfreie Soßen (1)
«без элементов животного происхождения»	tierfreie Alternativen (65) tierfreie Materialien (57) tierfreie Mode (32) tierfreie Variante (14) tierfreies Leder (7) tierfreie Stoffe (2) ein tierfreies Auto (2) tierfreie Transportmittel (1)
«без присутствия животных»	tierfreier Zirkus (50) aus einem tierfreien Nichtraucher-Haushalt (18) Tierfreie Landwirtschaft (3) Tierfreie Zirkus-Show (4)
«без экспериментов над животными»	tierfreie Methoden (71) tierfreie Forschung (7) tierfreie Experimente (1)

Как видно из данной таблицы, при реализации значения «без продуктов животного происхождения» лексема «tierfrei» сочетается, как правило, либо со словами с обобщающей семантикой *Produkte, Lebensmittel, Angebote, Essen,*

либо со словами, которые традиционно являлись продуктами животного происхождения *Fleisch, Käse, Milch*.

При реализации значения «без элементов животного происхождения» слово «*tierfrei*» сочетается преимущественно со словами с обобщенной семантикой *Alternativen, Mode, Materialien, Stoffe*, а также со словами, которые традиционно ассоциировались или изготавливались из животных – *Leder, Autos* (автомобили, при изготовлении которых не использовалась натуральная кожа).

Актуализация значения «без присутствия животных» происходит в сочетаниях рассматриваемой лексемы со словами, которые обозначают нечто, где традиционно присутствовали животные, – *Zirkus, Landwirtschaft, Haushalt*.

Так как животные нередко используются в различных исследованиях при разработке новых изделий или лекарств, поэтому одно из значений слова «*tierfrei*» реализуется в контекстах, где употребляются слова *Forschung, Experimente, Methoden*.

В ходе проведенного анализа были выявлены основные типы дискурсов, в которых встречается слово «*tierfrei*».

В рекламном дискурсе активно используется данное слово в различных значениях – при рекламе продуктов, ресторанов, при рекламе изделий косметики, одежды, при продвижении развлекательных услуг, в политической рекламе. В рекламных текстах данное слово реализует не только свое основное значение, но и выполняет прагматическую функцию – придает рекламируемому продукту/услуге положительную оценку.

Например, реклама продуктов – «*Das Vegan-Siegel der Vegan Society ist das beste Merkmal für ein absolut tierfreies Produkt*», реклама ресторана – «*Mein FREA steht für ein pflanzenbasiertes „Zero Waste“-Restaurant, wir arbeiten ökologisch, saisonal, regional, bieten eine tierfreie, nachhaltige Küche, in der alles handgefertigt wird, daher entstehen kaum Abfälle und diese werden im Haus kompostiert und der Kompost geht zurück an die Produzenten.*», реклама косметики – «*Vegan Beauty: Diese Kosmetikprodukte sind 100 Prozent tierfrei*», реклама производства – «*Tierfreies 3D-Bioprinting: Projekt «HU3DINKS» vereint Spezialfirmen*», реклама удобрения – «*Tierfreier Bio-Langzeitdünger – unbedenklich für Haus- & Gartentiere*», реклама автомобиля – «*Die Sitze sind mit Recycling-Stoffen oder je nach Ausstattung mit tierfreiem Leder bezogen*».

Это слово встречается также в других типах дискурса, например, в кулинарном, медицинском, медийном, но здесь у него преобладает одно из основных значений, так как данное слово является в этом случае преимущественно носителем информации, а реализация прагматической функции может иметь место лишь в отдельных контекстах.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Лексема «*tierfrei*» является достаточно новым словом, которое стало активно использоваться носителями немецкого языка только с 2007 года. Описание семантики данной лексемы можно обнаружить лишь в электронном

корпусе DWDS, тогда как в словарях немецкого языка данная лексическая единица еще не зафиксирована.

2. У лексемы «tierfrei» могут быть выделены четыре основных значения: «без присутствия животных»; «без содержания продуктов животного происхождения»; «без элементов животного происхождения»; «без экспериментов над животными». Каждому из значений соответствуют типичные сочетания. Это преимущественно слова с обобщающей семантикой или слова, которые традиционно ассоциируются с животными.

3. Лексема «tierfrei» встречается в различных типах дискурса, где она выполняет информирующую функцию, например, кулинарном, медицинском. В рекламном дискурсе данное слово служит средством привлечения реципиента, оно выполняет не только информирующую, но и воздействующую – прагматическую функцию. Всё, что характеризуется данным словом, получает положительную оценку.

4. Появление и активное употребление слова «tierfrei» в текстах немецкоязычного пространства свидетельствует о том, что отказ от продуктов животного происхождения и от использования животных в определенных ситуациях является характерной чертой современного немецкого общества, это может быть в определенной мере связано с переосмыслением роли животных как пищи, так и в жизни человека, а в некоторой степени с модной тенденцией, которая активно используется в рекламном дискурсе.

Библиографический список

Агафонова О. И. Метафорическая модель "POLITICS IS ANIMAL WORLD" в политическом дискурсе (на материале американских и британских интернет-СМИ): автореф. дис. ... канд. филол. наук: 10.02.04 / Агафонова Ольга Игоревна. Белгород: Белгородский гос. нац. иск-ый ун-т, 2012. 23 с. EDN ZORIND.

Бабаева Р. И. Динамические процессы в анималистическом коде культуры носителей немецкого языка // Германистика-2022: пове et nova: Материалы V Международной научной конференции, Москва, 07–09 декабря 2022 года / Редколлегия: А. А. Клиновская [и др.]. М.: Московский государственный лингвистический университет, 2023. С. 29-32. EDN HGRUHI.

Брискина Е. В. Образно-смысловые и структурные особенности немецких фразеологизмов и композитов-идиом с компонентами-зоонимами «Hund» (собака) и «Katze» (кошка) // Филологические науки. Вопросы теории и практики Philology. 2023. Т. 16, № 8. С. 2416-2424. DOI 10.30853/phil20230379. EDN PKDAQA.

Буренкова С. В. Зооморфные образы немецкой и русской фразеологии // Вестник Челябинского государственного университета. 2008. № 30. С. 29-40. EDN MUVNXZ.

Грищенко В. В. Гуманистический смысл взаимоотношений человека и животных в контексте современной культуры // Аналитика культурологии. 2004. № 2. С. 104-106. EDN QIXVRT.

Едко А. С. Немецкие фразеологизмы с компонентом – зоонимом // Альтернант-2015: Материалы V Международной научно-практической Интернет-конференции «Альтернант-2015», 22-25 апреля 2015 года // [Электронный ресурс]. 2015. – URL: <https://conf.grsu.by/alternant2015/index-53.htm> (дата обращения: 25.12.2023).

Карпенко Е. И. Лингвокультурологические аспекты немецких зооморфных метафор (на материале современной прессы ФРГ): автореф. дис. ... канд. филол. наук: 10.02.04 / Карпенко Елена Игоревна. М.: Моск. гос. лингвист. ун-т, 2006. 25 с. EDN ZNRKJF.

- Кацитадзе Э. А. Метафоризация зоонимов в немецком языке: специальность 10.02.04 «Германские языки»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Кацитадзе Этери Александровна. Тбилиси, 1985. 20 с.
- Керимов Р. Д. Зоометафоры в языке немецкой политики (лингвокогнитивный аспект) // Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. 2013. № 2(22). С. 58-67. EDN QCKDRB.
- Кирпичева О. В. Ономастикон рекламного текста: специальность 10.02.19 «Теория языка»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Кирпичева Ольга Викторовна. Волгоград, 2007. 22 с. EDN MAAIPS.
- Макарова О. Ю. Особенности зооморфных фразеологизмов в немецком и русском языках / О. Ю. Макарова, Ж. А. Родыгина, Р. Р. Хасанова // На пересечении языков и культур. Актуальные вопросы гуманитарного знания. 2018. № 15. С. 164-166. EDN YLTOJN.
- Миронова И. В. Зоометафора в свете антропоцентричности языка (на материале английской лексики) // Методологические проблемы когнитивной лингвистики / науч. ред. Н. А. Стернин. Воронеж: [б. и.], 2001. С. 149-151.
- Смирнова Н. В. Лингво-культурные особенности фразеологизмов немецкого и русского языков с зооморфным компонентом (собака, заяц и медведь) // Старт в науке: Материалы XIX Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке», 24 апреля – 25 июля 2023 года // [Электронный ресурс]. 2023. – URL: <https://school-science.ru/19/3/55435> (дата обращения: 25.12.2023).
- Храмова М. Н. Зверь как бренд. Зооморфные образы в сфере рекламы // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. 2012. Т. 2, № 4. С. 224-231. EDN PYLGUX.
- Юрченко Д. В. Структурно-семантические и номинативно-мотивационные свойства зоонимических фразеологизмов немецкого языка: специальность 10.02.04 «Германские языки»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Д. В. Юрченко. Пятигорск, 2001. 16 с. EDN TRJCMZ.
- Babaeva R. I. Zoolexemes and Zoo-Phraseological Units in The German and Russian Political Discourses // In N. L. Amiryannova (Ed.), Word, Utterance, Text: Cognitive, Pragmatic and Cultural Aspects, vol 86. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. European Publisher, 2020. P. 53-62. DOI 10.15405/epsbs.2020.08.7.
- Chimaira – Arbeitskreis für Human-Animal Studies. Über die gesellschaftliche Natur von Mensch-Tier-Verhältnissen [About the social nature of human-animal relationships]. Transcript Verlag, 2011. 318 p.
- DWDS. Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache: Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dwds.de> (дата обращения: 10.12.2023).
- Heuberger R. Die Rolle der Sprache im Mensch-Tier Verhältnis unter besonderer Berücksichtigung des Bildungsbereichs // Interspezies Lernen, Grundlinien interdisziplinärer Tierschutz- und Tierrechtsbildung, 2021. P 233-246.
- WORTSCHATZ — Wortschatz Universität Leipzig: Korpus Deutsch // [Электронный ресурс]. – URL: <http://corpora.informatik.uni-leipzig.de>. (дата обращения: 10.12.2023).

References

- Agafonova O. I. (2012). The use of metaphors with a zoomorphic component in English-language political discourse: abstract. ... candidate of Philological Sciences: 02.10.04. *Belgorodskii gos. nats. is-kii un-t*, Belgorod, 2012. 23 p. (In Russian).
- Babaeva R. I. (2020). Zoolexemes Zoo-Phraseological Andean Units in German and Russian Political Dissourses // In N. L. Amirianovna (Ed.), Word, Utterantse, Tekht: Cognitive, Pragmatic and Cultural Aspects. 86. European Protseedings of Sotsial and Behavioural Stsienteses. European Publisher. 53-62. DOI 10.15405/epsbs.2020.08.7.

- Babaeva R. I. (2023). Dynamic processes in the animalistic code of culture of native German speakers. *Germanistics-2022: nove et nova: Materialy V Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Moscow. December 07-09, 2022. Moscow State Linguistic University. 29-32. (In Russian).
- Briskina E. V. (2023). Figurative-semantic and structural features of German phraseological units and combinations-idioms with combinations-zoonyms "Hund" (dog) and "Katze" (cat). *Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki Philology*. 16(8): 2416-2424. (In Russian).
- Burenkova S. V. Zoomorphic images of German and Russian phraseology. *Vestnik Cheliabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 30: 29-40. (In Russian).
- Chimaira – Arbeitskreis für Human-Animal Studies. Über die gesellschaftliche Natur von Mensch-Tier-Verhältnissen [About the social nature of human-animal relationships]. Transcript Verlag, 2011. 318 p.
- DWDS. Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache: Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart. Available at: <https://www.dwds.de> (accessed 10 December 2023).
- Edko A. S. (2015). German phraseological units with a zoonym component. *Alternant-2015: Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Internet-konferentsii «Alternant-2015»*. Available at: <https://conf.grsu.by/alternant2015/index-53.htm> (accessed 25 December 2023) (In Russian).
- Grishchenko V. V. (2004). The humanistic meaning of the relationship between man and animals in the context of modern culture. *Analitika kulturologii*. 2. 104-106. (In Russian).
- Heuberger R. (2021). Die Rolle der Sprache im Mensch-Tier Verhältnis unter besonderer Berücksichtigung des Bildungsbereichs. *Interspezies Lernen, Grundlinien interdisziplinärer Tierschutz- und Tierrechtsbildung*. P 233-246.
- Karpenko E. I. (2006). Linguistic and cultural aspects of German zoomorphic metaphors (based on the material of modern German media): abstract. ... candidate of Philological Sciences: 02.10.04. Mosk. gos. lingvist. un-t, Moskva. 25 p. (In Russian).
- Katsitadze E. A. (1985). Metaphorization of zoonyms in the German language: abstract. ... Candidate of Philology: 02.10.04. Tbilis. gos. un-t, Tbilisi. 20 p. (In Russian).
- Kerimov R. D. (2013). Zoometaphors in the language of German politics (linguistic and cognitive aspect). *Vestnik Permskogo universiteta*. 2(22): 58-67 (In Russian).
- Khramova M. N. (2012). The Beast as a brand. Zoomorphic images in the field of advertising. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A. S. Pushkina*. 2012. 2(4): 224-231. (In Russian).
- Kirpicheva O. V. (2007). Onomasticon of the advertising text: abstract. dis. ... candidate of Philology: 02.10.19. Volg. gos. ped. un-t, Volgograd, 22 p. (In Russian).
- Makarova O. Y., Rodygina J. A., Khasanova R. R. (2018). Features of zoomorphic phraseological units in German and Russian. *Na peresechenii iazykov i kultur. Aktualnye voprosy gumanitarnogo znaniia*. 15: 164-166. (In Russian).
- Mironova I. V. (2001). Zoometaphora in the light of the anthropocentricity of language (based on the material of English vocabulary). *Metodologicheskie problemy kognitivnoi lingvistiki / nauch. red. H. A. Sternin*. Voronezh: [B. I.]. 149-151. (In Russian).
- Smirnova N. V. (2023). Linguistic and cultural features of phraseological units of German and Russian languages with a zoomorphic component (dog, hare and bear). *Start v nauke: Materialy XIX Mezhdunarodnogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh i tvorcheskikh rabot uchashchikhsia "Start v nauke"*, April 24 – July 25, 2023. (In Russian).
- WORTSCHATZ — Wortschatz Universität Leipzig: Korpus Deutsch. Available at: <http://corpora.informatik.uni-leipzig.de>. (accessed 10 December 2023).
- Yurchenko D. V. (2001). Structural-semantic and nominative-motivational properties of zoonymic phraseological units of the German language: abstract. ... candidate of Philology: 02.10.04. Piatigorskii gos. lingv. un-t, Pyatigorsk, 16 p. (In Russian).

ЛИЧНОСТЬ И МЕДИА: ГУМАНИТАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В МЕДИАОБРАЗОВАНИИ

УДК 19.41.91

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_189

ЖУРНАЛ «СОВЕТСКИЙ ЭКРАН» В ЭПОХУ «ПЕРЕСТРОЙКИ»*

*Александр Викторович Федоров,
orcid.org/0000-0002-0100-6389,
доктор педагогических наук, профессор
Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),
ул. Большая Садовая, 69
Ростов-на-Дону, 344002, Россия
mediashkola@rambler.ru*

*Анастасия Александровна Левицкая,
orcid.org/0000-0001-8491-8721,
кандидат педагогических наук, профессор
Таганрогский институт управления и экономики,
ул. Петровская, 45
Таганрог, 347900, Россия
a.levitskaya@tmei.ru*

Аннотация. Авторы на основе контент-анализа (в контексте исторической, социокультурной и политической ситуации и пр.) текстов, опубликованных в «оттепельный» период журнала «Советский экран» (1986-1991), пришли к выводу, что материалы по тематике западного кинематографа на этом этапе можно разделить на следующие жанры: идеологизированные статьи, акцентирующие критику буржуазного кинематографа и его вредного влияния на аудиторию (1986-1987); статьи по истории западного кино; биографии и творческие портреты западных актеров и режиссеров; интервью с западными кинематографистами; рецензии на западные фильмы; статьи о международных кинофестивалях и неделях зарубежного кино в СССР; обзоры текущего репертуара западных национальных кинематографий.

Ключевые слова: журнал «Советский экран», западный кинематограф, кинокритика, идеология, политика, рецензии, статьи.

* Данное исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00015, <https://rscf.ru/project/23-28-00015/> в Таганрогском институте управления и экономики. Тема проекта: «Западный кинематограф на страницах журнала «Советский экран» (1925-1991)». Руководитель проекта: профессор А.А. Левицкая.

“SOVIET SCREEN” MAGAZINE IN THE "PERESTROIKA" ERA

*Alexander V. Fedorov,
orcid.org/0000-0002-0100-6389,
Ph.D., professor
Rostov State University of Economics,
69, B. Sadovaya str.
Rostov-on-Don, 344002, Russia
mediashkola@rambler.ru*

*Anastasia Al. Levitskaya,
orcid.org/0000-0001-8491-8721,
Ph.D., professor
Taganrog Institute of Management and Economics,
45, Petrovskaya street
Taganrog, 347900, Russia
a.levitskaya@tmei.ru*

Abstract. The authors based on content analysis (in the context of historical, socio-cultural and political situation, etc.) of the texts published in the "thaw" period of the "Soviet Screen" magazine (1986-1991).), the authors concluded that the materials on the subject of Western cinema at this stage can be divided into the following genres: ideologized articles emphasizing criticism of bourgeois cinema and its harmful influence on the audience (1986-1987); articles on the history of Western cinema; biographies and creative portraits of Western actors and directors; interviews with Western filmmakers; reviews of Western films; articles on international film festivals and foreign film weeks in the USSR; reviews of the current repertoire of Western national cinemas.

Keywords: "Soviet Screen" magazine, Western cinema, film criticism, ideology, politics, reviews, articles.

Методологию исследования составляют ключевые философские положения о связи, взаимообусловленности и целостности явлений действительности, единства исторического и социального в познании; науковедческие, киноведческие, социокультурные, культурологические, герменевтические, семиотические подходы, предложенные в трудах ведущих ученых [Aristarco, 1951; Bazin, 1971; Casetti, 1999; Demin, 1966; Eco, 1975; Eco, 1976; Gledhill et al., 2000; Hess, 1997; Hill et al., 1998; Mast et al., 1985; Metz, 1974; Stam, 2000; Villarejo, 2007 и др.].

Проект опирается на исследовательский содержательный подход (выявление содержания изучаемого процесса с учетом совокупности его элементов, взаимодействия между ними, их характера, обращения к фактам, анализа и синтеза теоретических заключений и т.д.), на исторический подход – рассмотрение конкретно-исторического развития заявленной темы проекта.

Методы исследования: комплексный контент-анализ, сравнительный междисциплинарный анализ, методы теоретического исследования: классификация, сравнение, аналогия, индукция и дедукция, абстрагирование и конкретизация, теоретический анализ и синтез, обобщение; методы

эмпирического исследования: сбор информации, касающейся тематики проекта, компаративно-исторический метод.

В данной статье мы остановимся на анализе материалов о зарубежном кино, опубликованных в журнале «Советский экран» с 1986 по 1991 год, когда его главными редакторами были Д.К. Орлов, Ю.С. Рыбаков и В.П. Демин.

Статьи журнала «Советский экран» в первые четыре месяца 1986 года практически ничем не отличались по тематике и манере подачи материала от публикаций 1983-1985 годов. И в этом нет ничего удивительного, так как активные «перестроечные» процессы в советском кинематографе начались в мае 1986, когда состоялся памятный V съезд кинематографистов СССР (13-15 мая 1986). На этом съезде и последующем заседании нового секретариата Союза кинематографистов СССР (оно состоялось 29 мая 1986) содержание журнала «Советский экран» и деятельность его главного редактора Д.К. Орлова (1935-2021) были подвергнуты резкой критике.

Понимая, что под ним зашаталось кресло, Д.К. Орлов предпринял попытку сохранить свою должность, подчеркивая в редакционной статье номера 18, сданного в набор 1 августа 1986 года, что в редакции «с особым вниманием изучаются критические замечания в адрес нашего издания», так как «на V Всесоюзном съезде кинематографистов в полный голос, честно и бескомпромиссно говорилось о необходимости кардинальных перемен и в кинопроизводстве, и в системе проката фильмов, и в работе самого творческого союза» [К нашим читателям..., 1986, с. 3].

Д. Орлов всегда соблюдал правила игры и, отвечая на критику в адрес журнала, что он «проводил линию Госкино», вполне резонно отмечал, что «какую другую, собственно, линию он должен был проводить, являясь его официальным печатным органом?» [Орлов, 2011].

И, действительно, после V съезда кинематографистов СССР Д.К. Орлов стал существенно менять содержание журнала «Советский экран», из номера в номер доказывая, что он сумел «перестроиться» и эффективно следовать курсу государственных и кинематографических перемен. Позволим себе высказать предположение, что если бы в конце 1986 года Д.К. Орлова не сменил бы в кресле главного редактора Ю.С. Рыбаков (1931-2006), журнал «Советский экран» был бы далее несколько не менее критически «острым» и «перестроечным»...

В конце 1986 года пост главного редактора «Советского экрана» занял театровед Ю.С. Рыбаков. Несмотря на общее падение кинопосещаемости в СССР, тираж журнала в 1987-1988 годах оставался на уровне 1986 года – 1,7 млн экземпляров. При этом Ю. Рыбаков поначалу оставил редколлегию «Советского экрана» в прежнем составе (а зам. редактора был, как и при Д. Орлове, кинокритик Ф. Андреев), существенные перемены в ней произошли только в начале 1988 года, когда туда был включен известный кинокритик и киновед В. Демин (1937-1993).

О том, каким виделся «Советский экран» Ю. Рыбакову, можно судить по редакционной статье «На переломе», опубликованной в начале 1987 года: «Оглядываясь назад, ... мы чувством и разумом особо отметим и

незабываемые февральские дни работы XXVII съезда КПСС, так много пережившего в жизни страны, в нашей жизни. Свежий ветер перестройки, гласности, борьбы за моральное здоровье общества будто лавиной стронул залежалые пласты нажитых в недавнем прошлом привычек к инертности мышления и действий. Перемены. Зримо ощутили их и делегаты V съезда кинематографистов СССР, проходившего в мае минувшего года. Откровенный деловой разговор, прозвучавший с трибуны этого представительного форума мастеров экрана, позволил в свободной творческой дискуссии выявить, обозначить «болевые точки» и «узкие места» фильмопроизводства и проката. Стало ясно, что без новых подходов к назревшим проблемам, без коллективной мысли, опирающейся не на прекраснодушные пожелания, а на глубокий и честный анализ существующего положения, невозможно выйти на качественно новый виток творчества» [На переломе..., 1987, с. 2].

Как видно из этих тезисов, новая программа Ю.С. Рыбакова мало чем отличалась от того, что предлагал Д.К. Орлов на страницах журнала летом 1986 года. «Советский экран» готов был следовать текущим партийным установкам и решениям нового руководства Союза кинематографистов СССР, со всеми полагающимися ссылками и цитатами. Более того, ноябрьский номер журнала за 1987 год традиционно вынес на первую обложку юбилейную надпись, в данном случае «70 лет Великого Октября», а далее шли соответствующие, вполне идеологически выдержанные материалы, написанные представителями старшего поколения киноведов и кинокритиков.

Вместе с тем, именно при Ю.С. Рыбакове вышло несколько «молодежных» выпусков «Советского экрана», где были опубликованы статьи молодых кинокритиков, многие из которых резко выбивались – и по стилю, и по материалу из привычной колеи этого по-прежнему массового журнала.

Однако продолжающееся падение кинопосещаемости и напротив набирающее силу распространение видео сделали свое дело: в 1989 году тираж журнала упал до миллиона экземпляров. Кроме того, вместо 24 номеров в год стало выходить только 18 (правда, при увеличении объема каждого выпуска с 24 до 32 страниц).

В 1989 году «Советский экран» также отреагировал на нашествие видео, на его страницах возникла рубрика «Видеокompас», которую поначалу вел кинокритик С. Кудрявцев (затем его сменил кинокритик А. Вяткин).

Здесь мы согласны с Н. Шишкиным, что журнал «Советский экран» в это время стал отстаивать «свободу выбора зрелищ без идеологического вмешательства», занимал сторону рядового видеолюбителя, который мог «волею несчастного случая оказаться на скамье подсудимых даже из-за домашнего просмотра западного видеофильма. Когда углубляющийся процесс либерализации привел к удалению данной проблемы из повестки дня, ее место занял вопрос видеопиратства, в подходах к которому редакционный коллектив демонстрировал определенную лояльность» [Шишкин, 2020, с. 930].

Меж тем «перестроечные» тенденции в СССР резко набирали обороты: 23 мая 1989 года вышел Указ о восстановлении советского гражданства

режиссёра Ю. Любимова. В июле того же года журнал «Новый мир» впервые в СССР начал публикацию книги А. Солженицына «Архипелаг ГУЛАГ»; 9 ноября 1989 года началось разрушение Берлинской стены, а 30 января 1990 СССР дал согласие на объединение Германии. 18 ноября 1989 года вышло Постановление Совета Министров СССР «О перестройке творческой, организационной и экономической деятельности в советской кинематографии», которое практически одобрило данное ранее разрешение создания кооперативов, в том числе кооперативов по производству и прокату фильмов. И главное – в 1989 году произошла смена власти во многих странах Восточной Европы.

Все это привело к тому, что редакционный курс Ю. Рыбакова стал восприниматься Союзом кинематографистов СССР не соответствующим динамике «перестроечных» событий, и весной 1990 года главным редактором «Советского экрана» был назначен один из тогдашних секретарей Союза кинематографистов, кинокритик и киновед В.П. Демин (1937-1993).

Несмотря на все перемены, тираж «Советского экрана» 1990 года все еще составлял миллион экземпляров. Но общие тенденции экономического кризиса, подкрепленные резким падением посещаемости кинозалов и расцветом пиратского видео, привели к весьма негативным тенденциям для существования журнала, о которых в сентябре 1990 года и написал в своей статье В. Демин: «Нам подрезают крылья, увеличив цену за номер в два с половиной раза. Подорожание бумаги сопровождается вздорожанием типографских услуг» [Демин, 1990, с. 3].

1991 год показал, что опасения В. Демина во многом оправдались: тираж журнала (из названия которого ушло слово «Советский») резко упал до 0,4-0,7 млн экземпляров, с итоговой тенденцией временной стабилизации на уровне 400 тысяч экземпляров.

В 1991 году в журнале произошла смена редколлегии: вместо эмигрировавшего в США Ф. Андреева должность зам. редактора заняла кинокритик Т. Хлопьянкина (1937-1993), вторым зам. редактора стал журналист и кинокритик В. Кичин, отв. секретарем стал журналист Б. Пинский.

Материалы журнала стали более «вольными», политизированными, призывающими к дальнейшим «демократическим переменам» в обществе, что не могло не вызвать резкого сопротивления консервативной части аудитории «Экрана».

В 1992-1998 годах тираж журнала продолжил резко падать, что в итоге (уже при тираже в 40 тыс. экземпляров) привело к его исчезновению...

- идеологизированные статьи, акцентирующие критику буржуазного кинематографа и его вредного влияния на аудиторию.

Несмотря на то, что в конце 1986 года в «Советском экране» произошла смена главного редактора и продолжался рост «перестроечных» тенденций, касавшихся советского кино, в подходах разоблачения «вредоносного влияния буржуазного кинематографа» «Советский экран» 1986-1987 годов во многом сохранил традиции предыдущих десятилетий.

К примеру, кинокритик О. Сулькин в своей статье «Агрессия псевдокультуры» (в ней рецензировалась книга А. Кукаркина «Буржуазная массовая культура» [Кукаркин, 1985]) писал, что «оттачивая аргументацию, убедительно раскрывая реакционную сущность псевдоэстетических проявлений идеологии империализма, мы сможем не только успешнее противостоять атакам вражеской пропаганды, но и перехватывать инициативу, одновременно укреплять обстановку идейной и нравственной взыскательности в среде деятелей нашей социалистической культуры. ... Идеологическая борьба не прощает беспечности, недооценки вредоносности моделей буржуазного ширпотреба. Книга А. Кукаркина... убедительно показывает разрушительное воздействие западной псевдокультуры на человеческую психику и разум» [Сулькин, 1986, с. 22].

В 1987 году журналисты Ю. Алгунов и В. Орлов подчеркивали, что «70-ю годовщину Октября отмечаем не только мы и наши друзья в мире. «Отмечают» и те, кому не по душе советский образ жизни. «Отмечают», конечно, своеобразно – перво-наперво усиливая, ожесточая, форсируя антисоветскую пропаганду. По всем линиям. По всем каналам. И не в последнюю очередь с помощью кино и телевидения, аудитория которых – десятки и сотни миллионов людей. ... Непредвзятый показ как нашей истории, так и социалистической действительности для американской киноиндустрии был и остается строжайшим табу. А вот клевета и ложь стали изощренней» [Алгунов и др., 1987].

Начиная с 1988 года, такого рода статьи с четко выраженными антиамериканскими и антибуржуазными акцентами уже не появлялись на страницах «перестроечного» «Советского экрана».

- биографии и творческие портреты западных актеров и режиссеров.

Если в 1950-х – 1970-х годах и первой половине 1980-х «Советский экран» старался писать в основном о «прогрессивных» западных кинематографистах, но в период «перестройки» главной причиной публикаций творческих портретов зарубежных актеров и режиссеров становилось появление в советском кинопрокате и Московском международном кинофестивале фильмов с их участием.

В отличие от прошлых десятилетий в биографии некоторых актеров включались и какие-то детали их личной жизни. Например, С. Лаврентьев упоминал о романе Джессики Лэнг с Михаилом Барышниковым [Лаврентьев, 1989, с. 8, с. 10].

Статей о творчестве западных кинорежиссеров в «Советском экране» второй половины 1980-х было заметно меньше, чем актерских биографий.

- интервью с западными кинематографистами

Принцип выбора интервьюируемых западных кинематографистов в «перестроечном» «Советском экране» был примерно таким же, как и выбор персон для написания творческих портретов, то есть вполне свободным, но, как правило, привязанным к событиям Московского международного кинофестиваля и текущему кинопрокату.

Доминировали, разумеется, позитивные актерские интервью. Интервью с западными режиссерами, сценаристами и продюсерами было существенно меньше. В 1987 году было опубликовано даже интервью с прежде «опальным» режиссером-эмигрантом Милошем Форманом [Компаниченко, 1987]. Оно было очень доброжелательным, но осторожным, без захода за тогдашние «красные линии».

- рецензии на западные фильмы, попавшие в советский кинопрокат.

По причине того, что на начальном этапе «перестройки» в советский кинопрокат продолжали выходить западные фильмы, в ограниченном количестве и с учетом многочисленных цензурных ограничений закупленные в предыдущий период, в 1986 – 1987 годах «Советский экран» публиковал рецензии в основном на второстепенные и сегодня основательно забытые западные ленты.

Да и в некоторых рецензиях были еще заметны рудименты прежних идеологических подходов журнала, когда в западных кинопроизведениях в первую очередь было важно выделить (если она имела место) «прогрессивную политическую составляющую» [Малышев, 1986; Савицкий, 1986а].

Разумеется, и в этот начальный «перестроечный» период в советский кинопрокат иногда попадали фильмы выдающихся западных мастеров экрана. Правда, анализируя фильм выдающегося французского режиссера – Бертрана Тавернье, кинокритик А. Плахов, не забывая ритуально упомянуть, что тот «завоевал репутацию крупнейшего режиссера Франции, художника антибуржуазного по духу», далее все-таки отметил, что в «Воскресенье за городом» (*Un Dimanche a la campagne*, 1984) этот мастер «проявляет себя как умелый реставратор времени и – что особенно важно – углубленный его толкователь. ... ему удалось сменить художественную манеру, оставаясь абсолютно органичным в звучании своего авторского голоса» [Плахов, 1986, с. 10].

В 1987 году с фильмом Ф. Феллини «И корабль плывет» (*E la nave va*, 1983) вообще произошел уникальный случай: восторженная рецензия на него была размещена на трех страницах «Советского экрана» с цветными кадрами из фильма! Такого объема рецензии на западный фильм в журнале не было ни до, ни после.

Но самой резонансной в этом ряду стала статья киноведа В. Дмитриева (1940-2013) «По поводу «Анжелики», опубликованная в 1987 году. В значительной степени эта публикация была ответом на эмоциональную, но лишенную аналитики критику ситуации в советском кинопрокате, высказанную журналистом Ю. Гейко на страницах «Комсомольской правды» в его на шумевшей статье «Зачем пришла к нам Анжелика». В частности, Ю. Гейко критиковал Госкино СССР в закупке таких развлекательных западных фильмов, как французские костюмные киноприключения: «Анжелика – маркиза Ангелов» (*Angélique, marquise des anges*) и т.п. ленты [Гейко, 1985].

В. Дмитриев резонно отметил, что «случай «Анжелики», казавшийся таким простым и незатейливым, сейчас не кажется столь уж простым. ...

«Анжелика» есть то, что она есть: не претендующая на многое развлекательная картина, исторический лубок, со своими взлетами и неудачами, своей не до конца продуманной эстетикой, своим более чем скромным местом в пирамиде мирового кино. ... Представим на секунду, что весь экран заполнен «Анжеликами», «Тремя мушкетерами» или «Графами Монте-Кристо». Кошмар. А если он заполнен одними серьезными проблемными фильмами? Положа руку на сердце, захотим ли мы этого?» [Дмитриев, 1987].

С легкой руки В. Дмитриева далее «Советский экран» писал о западной развлекательной кинопродукции, попавшей в советский кинопрокат, уже без обязательных прежде идеологических реверансов [Дементьев, 1989; Иванова, 1989; Михалкович, 1989; Разлогов, 1988; Разлогов, 1990; Симанович, 1989; Стишов, 1989; Сулькин, 1988; Эшпай, 1989 и др.].

В конце 1980-х, поддавшись настойчивому давлению со стороны нового состава Правления Союза кинематографистов СССР и кинопрессы, Госкино СССР закупило и отправило в широкий прокат немалое число шедевров западного кино, в прежние десятилетия недоступных зрительским массам. Кассовыми хитами эти старые ленты, конечно, уже не стали (тем паче на фоне агрессивного видеобума), но поддержку в «Советском экране» получили немалую. Но, конечно, на экраны СССР в конце 1980-х и на рубеже 1990-х выходили и относительно новые западные фильмы известных кинематографистов, которые также анализировались теперь без ангажированной идеологической оптики.

Киновед и культуролог К. Разлогов (1946-2021) обоснованно утверждал в своей объемной статье, что «1987–1988 годы в мировом кино характеризовались радикальной сменой вех. Лидерство постепенно переходило от детско-подростковых сказочно-легендарных кинокомиксов к кинематографу для сорокалетних: ретро-ностальгическим мелодрамам, драматическим комедиям, позволяющим бывшим бунтарям шестидесятых обрести мир с самими собой и почтить память своих некогда обруганных родителей. [Однако] зарубежный репертуар наших кинотеатров..., основанный на картинах именно 1987–1988 годов, тем не менее, в целом стоит в стороне от мирового кинопроцесса. И это не случайно. Лидеры мирового проката как были, так и остаются недоступными нам по ценам, и их можно посмотреть в лучшем случае во внеконкурсной программе московских международных кинофестивалей или на видео. Мы еще смеем надеяться, что в ближайшее время на экранах кинотеатров наконец-то появится «чемпион» более чем десятилетней давности – «Звездные войны», робко спрашиваем себя, как будет сочетаться с отечественным психозом «летающих тарелок» знаменитый «Инопланетянин» (Разлогов, 1990).

- рецензии на западные фильмы, которые не демонстрировались в советском кинопрокате.

Оценки западных фильмов, которые не демонстрировались в советском кинопрокате, на страницах «Советского экрана» на начальном

«перестроечном» этапе были, как и в прежние десятилетия, во многом идеологически ангажированными.

Впрочем, и сегодня такие американские антисоветские «клюквенные» поделки, как «Красный рассвет» (Red Dawn, 1984) и «Америка» (Amerika, 1987) воспринимаются именно так, как о них писали советские журналисты в 1986-1987 годах: бездарным пропагандистским антисоветским варевом.

В 1987 году журналисты Ю. Алгунов и В. Орлов опубликовали обзорную статью, вполне объективно рассказавшую читателям «Советского экрана» о наиболее заметных голливудских антисоветских / антирусских киноподелках [Алгунов и др., 1987].

Но в целом, особенно в конце 1980-х и на рубеже 1990-х западные фильмы, не попавшие в итоге в советский кинопрокат, оценивались в журнале с невиданной ранее степенью доброжелательности [Плахов, 1987; Рубанова, 1991; Хлопьянкина, 1991].

Радикальные киноперестроечные перемены конца 1980-х, сопровождаемые нашествием видео, привели к тому, что в «Советском экране» возникла рубрика «Видеокомпас», в которой давался краткий анализ заметных западных кинолент, по разным причинам не попадавших в советский кинопрокат 1960-х – 1980-х. Эту рубрику в 1989-1990 годах в журнале вели кинокритики С. Кудрявцев и А. Вяткин. При этом речь шла как о выдающихся произведениях киноискусства, так и о типичной развлекательной продукции [Кудрявцев, 1989, с. 29].

Анализируя еще недавно нещадно критикуемую советской прессой «бондиану», кинокритик А. Вяткин предложил читателям «Советского экрана» вспомнить ее сюжетную схему, переходящую из фильма в фильм» [Вяткин, 1990а]. Далее А. Вяткин, также без идеологического пафоса, знакомил читателей «Советского экрана» с франшизой о Звездных войнах [Вяткин, 1990б].

Статьи о международных кинофестивалях и неделях зарубежного кино в СССР и обзоры западных национальных кинематографий

В период «Перестройки» в «Советском экране» произошли радикальные перемены в статьях о международных кинофестивалях. Во-первых, была нарушена привычная по прошлым десятилетиям схема, когда среди фильмов, показанных на зарубежных фестивалях, выделялись «прогрессивные произведения киноискусства» и резко критиковались остальные. А во-вторых, сменился круг «выездных» кинокритиков: «идеологически выдержанных» кинокритиков и журналистов-международников старшего поколения сменили киноведы «перестроечной» ориентации.

Разумеется, произошло это не сразу. К примеру, в статье кинокритика Н. Савицкого о кинофестивале в Карловых Варах 1986 года идеологические правила игры в подаче материала были традиционными [Савицкий, 1986б].

Но вот уже в статье киноведа и кинокритика В. Демина (1937-1993), посвященной Западноберлинскому кинофестивалю, обозначился отход от прежних идеологических стереотипов [Демин, 1987]. Примерно такими же позитивно-перестроечными настроениями перемены в сторону

«общеевропейского дома» была наполнена и статья кинокритика Е. Стишовой [Стишова, 1990].

А относительно программы Московского международного кинофестиваля 1991 года кинокритик Е. Тирдатов резонно констатировала, что «ушли в прошлое времена, когда Московский фестиваль непременно должен был предоставлять свой экран дружественной Зимбабве или борющейся Кампучии. ... Но... Московский фестиваль не в лучшей форме» [Тирдатова, 1991]. А кинокритик В. Кичин был настроен по отношению к этому событию совсем уж строго: «Фестиваль прошел, но этого никто не заметил» [Кичин, 1991].

Выводы

Авторы на основе контент-анализа (в контексте исторической, социокультурной и политической ситуации и пр.) текстов, опубликованных в «перестроечный» период журнала «Советский экран» (1986-1991), пришли к выводу, что материалы по тематике западного кинематографа на этом этапе можно разделить на следующие жанры: идеологизированные статьи, акцентирующие критику буржуазного кинематографа и его вредного влияния на аудиторию (1986-1987); статьи, уже лишенные прежних идеологических акцентов (1988-1991), когда западная кинопродукция оценивалась уже без оглядки на идеологические стереотипы, более того положительную трактовку получали даже фильмы, которые ранее отвергались по идеологическим соображениям; без разделения на «прогрессивное» и «буржуазное» киноискусство.

Библиографический список

- Алгунов Ю. Боевая раскраска Голливуда, или Мужские приключения на американский манер / Ю. Алгунов, В. Орлов // Советский экран. 1987. № 9. С. 20-22.
- Вяткин А. Бондиана // Советский экран. 1990а. № 4. С. 30-31.
- Вяткин А. В мире звездных войн // Советский экран. 1990б. № 5. С. 28-29.
- Гейко Ю. Зачем пришла к нам Анжелика. Полемические заметки о кино // Комсомольская правда. 16.11.1985.
- Дементьев А. «Одиночка» и мы // Советский экран. 1989. № 11. С. 28.
- Демин В. № 475. Признание члена жюри // Советский экран. 1987. № 17. С. 20-21.
- Демин В. Итак, вздорожание. Объяснимся // Советский экран. 1990. № 16. С. 3.
- Дмитриев В. По поводу «Анжелики» // Советский экран. 1987. № 9. С. 16-17.
- Иванова Ю. Мы любим детектив // Советский экран. 1989. № 15. С. 29.
- К нашим читателям // Советский экран. 1986. № 18. С. 3.
- Кичин В. МКФ: Агония? Норма? // Экран. 1991. № 14. С. 4.
- Компаниченко Г. «Хороший человек нужен всегда». Беседа с Милошем Форманом // Советский экран. 1987. № 18. С. 21-22.
- Кудрявцев С. Видеокомпас // Советский экран. 1989. № 17. С. 29.
- Кукаркин А. В. Буржуазная массовая культура. Теории. Идеи. Разновидности. Образцы. Техника. Бизнес. М.: Политиздат, 1985. 399 с.
- Лаврентьев С. Проигравший победитель // Советский экран. 1989. № 8. С. 8, 10.
- Малышев В. Анатомия террора // Советский экран. 1986. № 8. С. 19.
- Михалкович В. Вперед к прошлому... // Советский экран. 1989. № 17. С. 28.
- На переломе // Советский экран. 1987. № 1. С. 2.

- Орлов Д. Реплика в зал. Записки действующего лица. М.: Новая элита, 2011. 520 с.
- Плахов А. Грусть «уходящей натуры» // Советский экран. 1986. № 20. С. 10-11.
- Плахов А. Чудо не повторяется // Советский экран. 1987. № 22. С. 20-21.
- Подсудимый Эрот, встаньте! // Советский экран. 1989. № 10. С. 15, 29.
- Разлогов К. Короткое замыкание любви // Советский экран. 1988. № 17. С. 21-22.
- Разлогов К. Стоит ли выпрямлять кривое зеркало // Советский экран. 1990. № 11. С. 25.
- Рубанова И. Поклонников кинофейерверков просят не беспокоиться // Экран. 1991. № 10. С. 7.
- Савицкий Н. «Большой экран» Карловых Вар // Советский экран. 1986б. № 22. С. 20-21.
- Савицкий Н. Свидание с прошлым // Советский экран. 1986а. № 9. С. 9-10.
- Симанович Г. Один на один с «Одиночкой» // Советский экран. 1989. № 11. С. 28.
- Стишов М. «Другой» смех Франсиса Вебера // Советский экран. 1989. № 16. С. 26-27.
- Стишова Е. Без стены // Советский экран. 1990. № 17. С. 27.
- Сулькин О. Агрессия псевдокультуры // Советский экран. 1986. № 11. С. 22.
- Сулькин О. Майкл Данди в Америке и дома // Советский экран. 1988. № 12. С. 21-22.
- Турдатова Е. Незасвеченные ленты // Экран. 1991. № 10. С. 12.
- Хлопянкина Т. Любовь в эпоху секса // Экран. 1991. № 14. С. 6-7.
- Шишкин Н. Проблематика видеобума в журнале «Советский экран» // Миссия конфессий. 2020. № 49(9.8). С. 925-931.
- Эптай В. Яппи в ритме приключений // Советский экран. 1989. № 15. С. 28.
- Aristarco G. Storia delle teorie del film. Torino: Einaudi, 1951. 296 p.
- Bazin A. What is Cinema? Berkeley: University of California Press, 1971. 214 p.
- Casetti F. Theories of Cinema, 1945–1990. Austin: University of Texas Press, 1999. 368 p.
- Demin V. Fil'm bez intrigi [Film without intrigue]. Moscow, 1966. 220 p. (in Russian)
- Eco U. A Theory of Semiotics. Bloomington: Indiana University Press, 1976. 354 p.
- Eco U. Trattato di semiotica generale. Milano: Bompiani, 1975. 512 p.
- Gledhill C. Reinventing Film Studies / C. Gledhill, L. Williams (eds.). Oxford: Arnold & Oxford University Press. 2000. 464 p.
- Hess D. J. Science Studies. New York: New York University Press, 1997. 197 p.
- Hill J. The Oxford Guide to Film Studies / J. Hill, P. C. Gibson (eds.). Oxford: Oxford University Press, 1998. 624 p.
- Mast G. Film Theory and Criticism: Introductory Readings / G. Mast, M. Cohen (eds.). Oxford: Oxford University Press. 1985. 854 p.
- Metz C. Language and cinema. The Hague: Mouton, 1974. 303 p.
- Stam R. Film Theory: an Introduction. Malden, MA: Blackwell, 2000. 381 p.
- Villarejo A. Film Studies: the Basics. London: Routledge. 2007. 171 p.

References

- Algunov Y., Orlov V. (1987). War paint of Hollywood, or Men's adventures in the American style. *Soviet Screen*. 9: 20-22.
- Aristarco G. (1951). Storia delle teorie del film. Torino: Einaudi, 1951. 296 p.
- At the turning point. *Soviet Screen*. 1987. 1: 2.
- Bazin A. (1971). What is Cinema? Berkeley: University of California Press, 1971. 214 p.
- Casetti F. (1999). Theories of Cinema, 1945–1990. Austin: University of Texas Press, 1999. 368 p.
- Defendant Eros, stand up!. *Soviet Screen*. 1989. 10: 15, 29.
- Dementyev A. (1989). “Lonely” and us. *Soviet Screen*. 11: 28.
- Demin V. (1966). Fil'm bez intrigi [Film without intrigue]. Moscow, 1966. 220 p. (in Russian)
- Demin V. (1987). No. 475. Recognition of a jury member. *Soviet Screen*. 17: 20-21.
- Demin V. (1990). So, the price has risen. Let's explain. *Soviet Screen*. 16: 3.
- Dmitriev V. (1987). Regarding “Angelica”. *Soviet Screen*. 9: 16-17.
- Eco U. (1975). Trattato di semiotica generale. Milano: Bompiani, 1975. 512 p.
- Eco U. (1976). A Theory of Semiotics. Bloomington: Indiana University Press, 1976. 354 p.

- Eshpai V. (1989). Yuppies in the rhythm of adventure. *Soviet Screen*. 15: 28.
- Geiko Yu. (1985). Why did Angelica come to us. Polemical notes about cinema. *Komsomolskaya Pravda*. 11.16.1985.
- Gledhill C., Williams L. (2000). *Reinventing Film Studies*. Oxford: *Arnold & Oxford University Press*. 2000. 464 p.
- Hess D. J. (1997). *Science Studies*. New York: *New York University Press*, 1997. 197 p.
- Hill J., Gibson P. C. (1998). *The Oxford Guide to Film Studies*. Oxford: *Oxford University Press*, 1998. 624 p.
- Ivanova Yu. (1998). We love detective. *Soviet Screen*. 15: 29.
- Khloplyankina T. (1991). Love in the era of sex. *Screen*. 14: 6-7.
- Kichin V. (1991). IFF: Agony? Norm?. *Screen*. 14: 4.
- Kompanichenko G. (1987). "A good person is always needed." Conversation with Milos Forman. *Soviet Screen*. 18: 21-22.
- Kudryavtsev S. (1989). Video compass. *Soviet screen*. 17: 29.
- Kukarkin A. V. (1985). Bourgeois mass culture. Theories. Ideas. Varieties. Samples. Technique. Business. M.: *Politizdat*, 1985. 399 p.
- Lavrentyev S. (1989). Loser winner. *Soviet Screen*. 8: 8, 10.
- Malyshev V. (1986). Anatomy of terror. *Soviet Screen*. 8: 19.
- Mast G., Cohen M. (1985). *Film Theory and Criticism: Introductory Readings*. Oxford: *Oxford University Press*. 1985. 854 p.
- Metz C. (1974). *Language and cinema*. The Hague: *Mouton*, 1974. 303 p.
- Mikhalkovich V. (1989). Forward to the past... *Soviet Screen*. 17: 28.
- Orlov D. (2011). Replica to the hall. Notes of an actor. Moscow: *New elite*, 2011. 520 p.
- Plakhov A. (1986). The sadness of the "fading nature". *Soviet Screen*. 20: 10-11.
- Plakhov A. (1987). The miracle does not repeat itself. *Soviet Screen*. 22: 20-21.
- Razlogov K. (1988). Short circuit of love. *Soviet Screen*. 17: 21-22.
- Razlogov K. (1990). Is it worth straightening a crooked mirror. *Soviet Screen*. 11: 25.
- Rubanova I. (1991). Fans of film fireworks are asked not to worry. *Screen*. 10: 7.
- Savitsky N. (1986). "Big Screen" of Karlovy Vary. *Soviet Screen*. 22. 20-21.
- Savitsky N. (1986). Date with the past. *Soviet screen*. 9: 9-10.
- Shishkin N. (2020). Problems of the video boom in the magazine "Soviet Screen". *Mission of Confessions*. 49(9.8): 925-931.
- Simanovich G. (1989). One on one with the "Loner". *Soviet Screen*. 11: 28.
- Stam R. (2000). *Film Theory: an Introduction*. Malden, MA: *Blackwell*, 2000. 381 p.
- Stishov M. (1989). "Another" laughter of Francis Weber. *Soviet Screen*. 16: 26-27.
- Stishova E. (1990). Without a wall. *Soviet Screen*. 17: 27.
- Sulkin O. (1986). Aggression of pseudoculture. *Soviet Screen*. 11: 22.
- Sulkin O. (1988). Michael Dundee in America and at home. *Soviet Screen*. 12: 21-22.
- Tirdatova E. (1991). Unexposed tapes. *Screen*. 10: 12.
- To our readers. *Soviet Screen*. 1986. 18: 3.
- Villarejo A. (2007). *Film Studies: the Basics*. London: *Routledge*. 2007. 171 p.
- Vyatkin A. (1990). Bondiana. *Soviet Screen*. 4: 30-31.
- Vyatkin A. (1990). In the world of star wars. *Soviet Screen*. 5: 28-29.

СЮЖЕТНЫЙ АНАЛИЗ ОБРАЗА СЕМЬИ И СЕМЕЙНОГО ВОСПИТАНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ИГРОВОМ КИНЕМАТОГРАФЕ (1920-2020) В КОНТЕКСТЕ МЕДИАОБРАЗОВАНИЯ*

*Галина Викторовна Михалева,
orcid.org/0000-0002-7580-1334,
кандидат педагогических наук, доцент, научный сотрудник
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
экономический университет (РИНХ)»,
ул. Большая Садовая, д. 69
Ростов-на-Дону, 344002, Россия
galinamikhaleva@list.ru*

Аннотация. В статье представлен сюжетный анализ кинообраза семьи и семейного воспитания в отечественных художественных фильмах (1920-2020). Тематическое разнообразие сюжетов, связанное с репрезентацией семьи и семейного воспитания, включает такие традиционные темы как межпоколенческий конфликт (проблема «отцов и детей»), сохранение семейных ценностей в свете их исторической трансформации в жизни нескольких поколений семьи, проблемы молодых семей и их взаимоотношения с представителями старшего поколения, кинообраз приемных родителей и проблемы усыновленных детей, социальное сиротство и беспризорность, проблемы многодетных семей, утрата близких людей, воссоединение семьи, кинообраз счастливой семьи. Дальнейший анализ трансформации тематики семьи и семейного воспитания в отечественных аудиовизуальных текстах остается актуальным – как в культурологическом, так и медиаобразовательном аспектах.

Ключевые слова: семья, семейное воспитание, кино, экранизация, медиаобразование, кинообразование, фильм, критическое мышление.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ, проект № 24-28-00032) в Ростовском государственном экономическом университете. Тема проекта: «Образ семьи и семейного воспитания в произведениях отечественного художественного кинематографа и перспективы медиаобразования (1920-2020)». Руководитель проекта – канд. пед. наук, доцент И.В. Чельшева.

PLOT ANALYSIS OF THE FAMILY IMAGE AND FAMILY EDUCATION IN RUSSIAN FEATURE FILMS (1920-2020) IN THE CONTEXT OF MEDIA EDUCATION

*Galina V. Mikhaleva,
orcid.org/0000-0002-7580-1334,
Candidate of Education, Associate Professor, Research Associate
Rostov State University of Economics,
69, Bol'shaya Sadovaya
Rostov-on-Don, 344002, Russia
galinamikhaleva@list.ru*

Abstract. The article contains a plot analysis of the film image of the family and family education in Russian feature films (1920-2020). The thematic variety of plots is associated with the representation of family and family education. It includes such traditional topics as intergenerational conflict (the problem of “fathers and sons”), the preservation of family values in the light of their historical transformation in the lives of several family generations, challenges of young families and their relationships with representatives of the older generation, the film image of adoptive parents and the problems of adopted children, social orphanhood and homelessness, hardships of large families, loss of family members, family reunions, the film image of a happy family. Further analysis of the transformation of the theme of family and family education in Russian audiovisual texts remains relevant both in cultural and media education aspects.

Keywords: family, family education, cinema, film adaptation, media education, film education, film, critical thinking.

Введение

Приобщение подрастающего поколения к семейным ценностям через произведения кинематографа – это важный и актуальный вопрос, особенно в контексте современного развития общества, где масс-медиа и развлекательная индустрия оказывают сильное влияние на формирование ценностных ориентиров у детей и подростков. Поскольку кино, телевидение и интернет являются основными источниками информации и развлечений для молодежи, отображение семейных отношений, ценностей и поведенческих моделей в фильмах может оказывать существенное влияние на формирование мировоззрения, жизненных принципов и восприятие молодых людей.

Многие фильмы мирового и отечественного кинопроизводства в основе сюжета показывают семью и семейные отношения, взаимодействие между родителями и детьми, значимость семьи в жизни человека. Такие личностно и социально значимые темы как любовь, доверие, взаимоуважение, компромисс, также широко представлены в современном кинематографе и могут стать основой для обсуждения семейных ценностей с детско-юношеской аудиторией в контексте медиа- и кинообразования. В этой связи правильно подобранные фильмы для критического анализа и практической работы могут служить мощным инструментом для обсуждения важных семейных тем и ценностей: они могут помочь детям и подросткам лучше понять традиционные ценности, связанные с семьей и семейными взаимоотношениями, а также научиться анализировать и критически оценивать различные жизненные ситуации [Fedorov, 2015]. В работах Л. Мастермана определены основные принципы критического анализа медиатекстов и критической автономии личности: «Основная цель медиаобразования – не просто критическое осознание и понимание, а критическая автономия, способность и готовность обучающихся к критическому пониманию медиа, с которыми они столкнутся в будущем» [Masterman, 1996, с. 75].

Просмотр кинофильмов в семейном кругу также может способствовать укреплению семейных связей между родителями и детьми, обсуждению различных сложных межличностных конфликтных ситуаций и установлению открытого диалога между представителями разных поколений. Таким образом, приобщение подрастающего поколения к семейным ценностям через кинопроизведения остается актуальным и значимым направлением в

медиаобразовании и воспитании, которое требует внимательного подхода к выбору медиаконтента и его последующему анализу.

Материалы и методы

Материалом нашего исследования послужили советские и российские художественные фильмы и сериалы на тему семьи и семейного воспитания 1920-2020 гг. (общее количество – 458 игровых фильмов и сериалов отечественного кинопроизводства). Жанровый и сюжетный диапазон художественных кинофильмов данной тематики весьма разнообразен.

Основные методы исследования – контент-анализ, сравнительно-исторический анализ, сюжетный и жанровый анализ медиатекстов; теоретические методы: анализ, синтез, индукция, дедукция.

Дискуссия

Контент-анализ отечественных и зарубежных научных публикаций по теме исследования показал, что в научную сферу интересов как отечественных, так и западных исследователей до сих пор не входил сюжетный и жанровый анализ развития темы семьи и семейного воспитания в репрезентации аудиовизуальных медиатекстов (в кино, на ТВ, в Интернете и др.), хотя, на наш взгляд, он может быть весьма продуктивным в социологическом и культурологическом планах. Кроме того, отечественные исследователи – и в советское время, и в современный период – обращались в основном к эстетическому и идеологическому анализу игровых фильмов на тему семьи и семейного воспитания. Среди отечественных исследователей, исследовавших репрезентацию семьи в кинематографе, нужно отметить работы И.В. Челышевой, в которых рассматривались проблемы семейного воспитания и его взаимодействия с миром медиа [Chelysheva et al., 2022].

Что касается научных трудов зарубежных ученых [Dubois, 2007; Lawton, 2004; Shaw et al., 2010; Shlapentokh, 1993; Strada, 1989; Strada et al., 1997], которые в своих исследованиях анализировали советские и российские аудиовизуальные медиатексты, то они практически не касались эволюции и трансформации образа семьи и семейного воспитания в кино (Ayers, 1994; Bauer, 1998; Burbach, Figgins, 1993; Considine, 1985; Dalton, 1999; Edelman, 1990; Farber, Holm, 1994; Joseph, Burnaford, 1994; Keroes, 1999; Oliker, 1993; Schwartz, 1963; Trier, 2001 и др.).

Хотя, некоторые исследования, представленные зарубежными учеными, затрагивают следующие аспекты семейных образов, представленных в зарубежных средствах массовой информации: образ семьи в зарубежных комедиях [Douglas et al., 1995]; образы молодежи в зарубежном кино и на телевидении [Potter, 2022]; отцовство и мужественность в послевоенных голливудских фильмах [Bruzzi, 2005]; культура воспитания, подростковый возраст и семейный фильм в США [Antunes, 2017]; взгляд на взрослую жизнь в фильме на основе семейного жизненного цикла [Fulmer, 2017]; изображение американской семьи в современной голливудской кинематографии [Jenkins, 2015]; образы пар и семей в полнометражных мультфильмах Диснея

[Images..., 2003]; изображения семей разных поколений в анимационных фильмах Диснея [Zurcher et al., 2018]; анализ семьи-диаспоры в современном европейском кино [Lloyd, 2014]; образы семьи в послевоенных британских любительских фильмах [Kerry, 2016].

Р. Шанд также исследовал строение послевоенной британской семьи в любительских фильмах [Shand, 2015]. Б. Кюммерлинг-Мейбауэр изучила новые перспективы развития детского киноведения [Kümmerling-Meibauer, 2013]. А. Селлс проанализировала семью в американских фильмах ужасов [Sells, 2014]. Э. Леви подробно изучил репрезентацию семьи в современном мейнстриме американского кино и американскую мечту о семье в кино [Levy, 1991].

Результаты

В данном исследовании мы обратились к анализу отечественных художественных кинопроизведений, затрагивающих проблемы семьи и семейного воспитания в разные исторические периоды, с целью воспитания и приобщения подрастающего поколения к семейным ценностям в процессе кино- и медиаобразования. «Роль семьи в гражданско-патриотическом воспитании личности невозможно переоценить, поскольку именно в семье человек учится любить и заботиться о близких, уважать старших, заботиться о младших и нетрудоспособных, защищать слабых, оберегать свой дом, дружить и помогать другим людям. Поэтому художественные фильмы о семейных и общечеловеческих ценностях, о взаимопонимании и общечеловеческих ценностях, о связи между поколениями, верности и преданности, взаимоотношениях, семейных традициях полезны в контексте гражданского воспитания молодёжи» [Михалева, 2021, с. 109-110].

В данном контексте в воспитательной работе с детьми и молодёжью целесообразно использовать критический анализ отечественных художественных фильмов о семье, семейных ценностях, самопожертвовании, морально-нравственных ценностях, личной и социальной ответственности.

Кинообраз молодой семьи в отечественном игровом кинематографе советского и постсоветского периодов представлен в разных ракурсах и часто отражает широкий спектр семейных реалий и вызовов, с которыми молодые пары могут столкнуться в современном мире. Они помогают зрителям понять и разобраться в разных аспектах семейной жизни и межличностных взаимоотношений.

Это прежде всего фильмы о новобрачных молодых супругах, например, советская мелодрама «Медовый месяц» (1956), «Чужая родня» (1956). Очень часто это комедии, описывающие первые годы их совместной жизни, адаптации к совместному быту, связанные с решением проблем и конфликтов, а также радости и трудности, сопутствующие началу новой семейной жизни («Взрослые дети», 1961; «Зонтик для новобрачных», 1986).

С другой стороны, это фильмы драматического жанра, повествующие о молодой семье в той или иной кризисной ситуации: такие кинофильмы часто рассматривают семейные конфликты, недоразумения и подозрения, измены

или другие сложные ситуации, с которыми молодые супруги могут столкнуться. Анализ таких фильмов в молодёжной аудитории помогает исследовать причины и последствия кризиса, а также возможности преодоления возникших трудностей и восстановления семейных отношений («Повесть о молодоженах», 1959; «Первое свидание», 1960; «Дверь без замка», 1973; «Единственная», 1976; «С любимыми не расставайтесь», 1980; «С тех пор, как мы вместе», 1982).

И, наконец, это фильмы о молодой семье или паре, оказавшихся в сложной жизненной ситуации по причине каких-то неблагоприятных внешних факторов: фильмы такого рода помогают исследовать, как молодая семья справляется с негативными внешними факторами, такими как финансовые трудности, карьерные амбиции, бытовые проблемы или влияние социального окружения на их семейную жизнь («Только вдвоем», 1976; «Школьный вальс», 1977; «Всё наоборот», 1981; «Вам и не снилось», 1981; «Валентин и Валентина», 1986; «СашаТаня», 2013).

Конфликт поколений, внутрисемейный конфликт, проблема «отцов и детей» — это тема, которая часто присутствует в отечественном кинематографе, так как Россия, как и многие другие страны, сталкивается с различиями в ценностях, убеждениях и опыте между разными поколениями. В кинопроизведениях это может проявляться через разные сюжетные линии, отражающие противоречия и непонимание между представителями разных возрастных групп («Сын», 1955; «Отцы и дети», 1958; «Шумный день», 1960; «Монолог», 1972; «Дети Ванюшина», 1973; «Теща», 1974; «Старший сын», 1975; «По семейным обстоятельствам», 1978; «Родня», 1981; «Никто не заменит тебя», 1982; «Ван Гоги», 2018; «Батя / Dad», 2020). Например, в современных российских фильмах можно найти многообразие сюжетов, отображающих конфликты между поколениями: от противостояния молодежи и старшего поколения из-за различий во взглядах и ценностях до изображения сложных отношений между родителями и детьми, вопросов идентичности, стремления к самоопределению и т.д.

Тема семейных конфликтов, непонимания и ревности, неверности и предательства, разводов является довольно распространенной в кинематографе по всему миру, включая отечественный кинематограф. В советских и российских фильмах драматического и мелодраматического жанров эти темы также активно освещаются, иногда с уникальными культурными и социально-историческими контекстами («Город просыпается рано», 1967; «Русское поле», 1971; «Опасный возраст», 1981; «Любовь и голуби», 1984; «Брат», 1997; «Развод», 2012; «Близкие», 2017; «Семейное дело», 2018). Тема любовного «треугольника» чрезвычайно популярна в кинематографе, в том числе и в отечественном («Дело было в Пенькове», 1958; «Песня первой любви», 1958; «Евдокия», 1961; «Суeta суeta», 1979; «Осенний марафон», 1980; «Свадьба старшего брата», 1985; «Храни меня, мой талисман», 1986; «Забытая мелодия для флейты», 1987; «Любовный треугольник», 2019; «Трое», 2020). Анализ медиатекстов данной тематики в молодёжной аудитории поможет обсудить сложные человеческие эмоции,

столкновения интересов и моральные дилеммы. В российских фильмах часто встречаются сюжеты, основанные на этой теме. Тема любовного «треугольника», например, используется как способ показать внутренние конфликты персонажей, а также их развитие и принятие решений в сложных жизненных ситуациях. Брак и брачные отношения нередко акцентируются в отечественных кинопроизведениях, отражая различные аспекты любовных отношений, семейной жизни и межличностных конфликтов («Испытание верности», 1955; «Урок жизни», 1955).

Тема семейного счастья и поиска счастья, или, наоборот, разочарования в браке является одной из наиболее распространенных и глубоких в мировом и отечественном кинематографе. Советские и российские фильмы данной тематики представляют разнообразные сценарии и характеры («Семейное счастье», 1969; «Анна Каренина», 1967; «Три тополя на Плющихе», 1968; «Полеты во сне и наяву», 1982; «Зависть богов», 2000; «Другая женщина, другой мужчина», 2003). Тема любви, преданности и супружеской верности часто присутствует в советском и российском кино, отражая идеалы и ценности общества, а также различные аспекты человеческих взаимоотношений («Чистое небо», 1961; «Не могу сказать ‘Прощай’», 1982; «Ты у меня одна», 1993; «Благословите женщину», 2003; «Проверка на любовь», 2013).

С другой стороны, тема семейных конфликтов в отечественном кинематографе иногда раскрывается в контексте сложных взаимоотношений неродных или приемных родителей и их усыновленных детей. Эти фильмы отражают различные аспекты отношений между неродными родителями и их детьми, от конфликтов до принятия и взаимной любви («Отчий дом», 1959; «Мама вышла замуж», 1970; «Мачеха», 1973; «Странные взрослые», 1974; «Отец», 2011; «Маша», 2012).

Тема беспризорности и детского сиротства – это широкий и довольно часто встречающийся кинематографический сюжет, который пронизывает множество фильмов различных жанров («Чужие дети», 1958; «Девочка ищет отца», 1959; «Два Фёдора», 1959; «Когда деревья были большими», 1962; «Иван Макарович», 1968; «Дочки-матери», 1975; «Безотцовщина», 1977; «Подранки», 1977; «Человек на полустанке», 1983; «Без семьи», 1984; «Дикий хмель», 1985; «Где ваш сын?», 1986; «Итальянец», 2005; «Мать и мачеха», 2012; «Ничей», 2017; «Сестренка», 2019). Эти фильмы обращают наше внимание на острые социальные проблемы, с которыми сталкиваются сироты, и показывают их борьбу, надежды и стремление найти своё место в этом мире.

Отдельного внимания и анализа заслуживает кинообраз матери, который может быть представлен в различных сюжетных линиях, отражая разнообразные стороны материнства, включая любовь, жертвенность, борьбу, трудности и радости. Такие фильмы часто вызывают сильные эмоции у зрителей и помогают лучше понять и оценить роль матери в жизни человека. Тема материнства в кино является одной из самых распространенных и эмоционально насыщенных. Некоторые фильмы отображают безусловную любовь матери к своему ребенку и её готовность пожертвовать всем ради его

благополучия. Тема материнства в кино часто ассоциируется с борьбой с различными социальными препятствиями, экономическими или психологическими трудностями («Мать», 1926; «Возвращение сына», 1977; «Марш славянки», 2002, «Мама», 2014). Матери часто изображаются готовыми пожертвовать своими собственными желаниями и потребностями ради своих детей («Блуждающие», 2016). Этот аспект материнства часто раскрывается через персональные жертвы и отказ от личного счастья ради благополучия детей.

Некоторые фильмы данной тематики обращаются к сложным взаимоотношениям между матерью и ребенком, исследуя конфликты, разногласия и преодоление непонимания между ними («Мать», 2014). Материнская любовь часто изображается как сила, способная преодолевать самые трудные испытания и преобразовывать судьбы («Мать», 1955; «Мать», 1989; «Мать», 2014). Этот мотив подчёркивает важность материнства в жизни каждого человека и общества в целом. С другой стороны, в современном российском кинематографе можно встретить и некий «антиобраз» матери, которая отказывается от своего ребенка, обрекая его на страдания («Мать и мачеха», 1964; «Мать», 2017).

Тема потери близких людей или воссоединения с семьей в советском и российском кино всегда была чрезвычайно значима и часто отражала сложные и трагические моменты истории нашего народа. Во времена Советского Союза она обычно была представлена в контексте войны, репрессий или других социальных и политических трагедий («Она защищает Родину», 1943; «Сыновья», 1946; «Дети партизана», 1954; «Летят журавли», 1957; «Аннушка», 1959; «Колыбельная», 1959; «Иваново детство», 1962; «Среди добрых людей», 1962; «Сыновья уходят в бой», 1965; «Отец солдата», 1965; «Журавушка», 1969; «Батяка», 1972; «Иди и смотри», 1985). В российском кинематографе постсоветской эпохи тема утраты близких и дорогих людей не теряет актуальности, хотя уже и с другими социокультурными акцентами («Брат», 1997; «Тихий омут», 2010; «Сын», 2017).

Тема неполных семей, матерей-одиночек или отцов-одиночек является достаточно распространённой в отечественном кинематографе и часто отражает различные аспекты родительства и семейных отношений, а также социальные и психологические аспекты. В таких фильмах обычно рассматриваются трудности, с которыми сталкиваются родители, воспитывающие детей в одиночку, их стремления, жертвы и достижения («Человек родился», 1956; «Мужской разговор», 1969; «Пусть он останется с нами», 1974; «Приезжая», 1978; «Впервые замужем», 1980; «Мужики!», 1981; «Будьте моим мужем», 1981; «День бумажного змея», 1986; «Зимняя вишня», 1985; «Сын», 1989; «Жена Штирлица», 2012; «Я буду рядом», 2012).

С другой стороны, тема многодетных семей присутствует в отечественном кинематографе разных лет гораздо реже, и зачастую это фильмы комедийного жанра («Дети Дон-Кихота», 1966; «Однажды, 20 лет спустя», 1981; «Мама, 1999; «Папины дочери», 2007-2012; «Погнали», 2020).

Тема преемственности традиционных ценностей или их трансформации в жизни нескольких поколений семьи является ключевой в советском и российском кино, особенно это касается фильмов-сериалов, повествующих о жизни нескольких поколений одной семьи. Такие фильмы отображают трансформации в обществе, ценностях и культуре через призму семейных отношений («Большая семья», 1954; «Москва слезам не верит», 1979; «Радости земные», 1988; «Братья Карамазовы», 2009; «Вера. Надежда. Любовь», 2010; «Семейный очаг», 2010; «Аромат шиповника», 2014; «Офицерские жены», 2015; «Осиное гнездо», 2017).

Экранизации классических литературных произведений, затрагивающих тему семьи и семейных взаимоотношений, также можно продуктивно использовать для критического анализа в молодежной аудитории. Они позволяют зрителям пережить знакомые истории в новом свете, а также помогают сохранить и транслировать культурное наследие. Эти фильмы представляют собой попытки перенести на экран мир, созданный великими классиками литературы, и внести свой вклад в интерпретацию их произведений («Анна на шее», 1954; «Дом с мезонином», 1960; «Тихий Дон», 1957; «Дама с собачкой», 1960; «Война и мир», 1966-1967; «Угрюм-река», 1968; «Дворянское гнездо», 1969; «Братья Карамазовы», 1969; «Вечный зов», 1973-1983; «Жестокий романс», 1984; «Жизнь Клима Самгина», 1986-1988; «Сердце не камень», 1989; «Отцы и дети», 2008). К слову сказать, сюда можно также отнести экранизации не только русской классической литературы, но и зарубежных классических литературных произведений, снятых отечественными режиссерами («Ошибка Тони Вендиса, 1981; «Домби и сын», 1974; «Идеальный муж», 1980). В жанровом отношении здесь преобладают драмы и мелодрамы. Поскольку многие из вышеупомянутых фильмов являются экранизациями литературных произведений, то желательно при анализе кинофильмов обратиться к первоисточнику – литературному произведению, по мотивам которого создавался фильм, и обсудить, какие ключевые эпизоды нашли отражение в сюжете фильма, а какие, возможно, остались за кадром. При этом целесообразно, по возможности, провести герменевтический и идеологический анализ нескольких экранизаций одного и того же литературного произведения, снятых в разное время и разными режиссёрами, возможно, в отечественном и зарубежном кинематографе, с учётом социокультурного, общественно-политического и идеологического контекста времени их создания. Британские педагоги К. Бэээлгэт, Д. Букингэм также подчёркивают, что «экранные медиа не «превосходят» печатные, хотя вполне можно было бы предположить, что фильм более мультимодален, чем печатные медиа; а основные формальные и институциональные различия между этими двумя формами заслуживают изучения и понимания» [Bazalgette et al., 2012, с. 100].

Заключение

Сюжетный анализ образа семьи и семейного воспитания в отечественном игровом кинематографе (1920-2020) позволил нам выявить

широкий диапазон тем и сюжетов, связанных с репрезентацией семьи: конфликт поколений, внутрисемейный конфликт, проблема «отцов и детей»; кинообраз матери; преемственность традиционных ценностей или их трансформации в жизни нескольких поколений семьи; кинообраз молодой семьи; взаимоотношения неродных или приемных родителей и их усыновленных детей; тема беспризорности и детского сиротства; проблемы неполных семей; репрезентация многодетных семей на экране; тема семейного счастья; тема потери близких людей или воссоединения с семьей.

Медиаобразование на материале отечественного художественного кинематографа обладает значительным воспитательным и развивающим потенциалом в контексте формирования «семецентричной» культуры молодёжи и повышением социального статуса семьи и имиджа семьи, если оно опирается на развитие критического мышления молодёжной зрительской аудитории.

Библиографический список

- Михалева Г. В.* Гражданско-патриотическое воспитание студенческой молодежи на материале отечественного художественного кинематографа // Знак: проблемное поле медиаобразования. 2021. №4 (42). С. 105-112. DOI 10.47475/2070-0695-2021-10412. – EDN XCRTNO.
- Antunes F.* Attachment anxiety: parenting culture, adolescence and the family film in the US // Journal of Children and Media. 2017. № 11(2). pp. 214-228.
- Bazalgette C.* Literacy, media and multimodality: a critical response / C. Bazalgette, D. Buckingham // Literacy. 2012. № 47(2). pp. 95-102.
- Bruzzi S.* Bringing up daddy: fatherhood and masculinity in post-war Hollywood. London: Bloomsbury Publishing, 2005. 234 p.
- Chelysheva I.* Prospects for contemporary media education in Russia based on feature films in the focus of family education: a theoretical review of the problem / I. Chelysheva, G. Mikhaleva // Media Education. 2022. № 4. pp. 546-551. DOI 10.13187/me.2022.4.546. – EDN IFOHYW.
- Douglas W.* Beyond family structure: the family in domestic comedy / W. Douglas, B. M. Olson // Journal of Broadcasting & Electronic Media. 1995. № 39(2). pp. 236-261.
- Dubois R.* Une histoire politique du cinema. Paris: Sulliver, 2007. 216 p.
- Fedorov A.* Film criticism. Moscow: ICO “Information for All”, 2015. 382 p. EDN YWQANV.
- Fulmer R. H.* Rebel without a cause: a psychoanalytic and family-life-cycle view of emerging adulthood in the film // The Psychoanalytic Quarterly. 2017. № 86(3). pp. 665-691.
- Images of couples and families in Disney feature-length animated films / L. R. Tanner, S. A. Haddock, T. S. Zimmerman, L. K. Lund // The American Journal of Family Therapy. 2003. № 31(5). pp. 355-373.
- Jenkins C.* Home movies. The American family in contemporary Hollywood cinema. London: Bloomsbury Publishing, 2015. 224 p.
- Kerry M.* Representations of the family in postwar British amateur film: family histories in the Lane and Scrutton collection at the East Anglian Film Archive // The History of the Family. 2016. № 21(2). pp. 231-242.
- Kümmerling-Meibauer B.* Introduction: new perspectives in children’s film studies // Journal of Educational Media, Memory & Society. 2013. № 5(2). pp. 39-44.
- Lawton A.* Imaging Russia 2000. Films and Facts. Washington, DC: New Academia Publishing, 2004. 348 p.
- Levy E.* The American dream of family in film: from decline to comeback // Journal of Comparative Family Studies. 1991. № 22. pp. 187-204.

- Lloyd A. Far flung families in film: the diasporic family in contemporary European cinema // *Journal of Contemporary European Studies*. 2014. № 22(2). pp. 207-208.
- Masterman L. Media education and human rights // *Continuum*. 1996. № 9(2). pp. 73-77.
- Potter A. Youth on screen. Representing young people in film and television // *Media Practice and Education*. 2022. № 23(1). pp. 91-92.
- Sells A. *Hearths of Darkness: The Family in the American Horror Film*. Tony Williams, editor. Rev. ed. Jackson: University of Minnesota Press. 2014. 360 p.
- Shand R. The “family film” as amateur production genre: Frank Marshall’s comic narratives // *The Moving Image*. 2015. № 15(2). pp. 1-27.
- Shaw T. *Cinematic Cold War: The American and Soviet Struggle for Heart and Minds* / T. Shaw, D. J. Youngblood Lawrence: University Press of Kansas, 2010. 301 p.
- Shlapentokh D. V. *Soviet Cinematography 1918-1991: Ideological Conflict and Social Reality*. N.Y.: Aldine de Gruyter, 1993. 278 p.
- Strada M. A Half Century of American Cinematic Imagery: Hollywood’s Portrayal of Russian Characters, 1933-1988 // *Coexistence*. 1989. № 26. pp. 333-350.
- Strada M. J. *Friend or Foe? Russian in American Film and Foreign Policy* / M. J. Strada, H. R. Troper. Lanham, Md., & London: The Scarecrow Press, 1997. 255 p.
- Zurcher J. D. The portrayal of families across generations in Disney animated films / J. D. Zurcher, S. M. Webb, T. Robinson // *Social Sciences*. 2018. № 7. P. 47.

References

- Antunes F. (2017). Attachment anxiety: parenting culture, adolescence and the family film in the US. *Journal of Children and Media*. 11(2): 214-228.
- Bazalgette C., Buckingham D. (2012). Literacy, media and multimodality: a critical response. *Literacy*. 47(2): 95-102.
- Bruzzi S. (2005). *Bringing up daddy: fatherhood and masculinity in post-war Hollywood*. London: Bloomsbury Publishing. 2005. 234 p.
- Chelysheva I., Mikhaleva G. (2022). Prospects for contemporary media education in Russia based on feature films in the focus of family education: a theoretical review of the problem. *Media Education*. 4: 546-551.
- Douglas W., Olson B. M. (1995). Beyond family structure: the family in domestic comedy. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*. 39(2): 236-261.
- Dubois R. (2007). *Une histoire politique du cinema*. Paris: Sulliver, 2007. 216 p.
- Fedorov A. (2015). *Film criticism*. Moscow: ICO “Information for All”, 2015. 382 p.
- Fulmer R. H. (2017). Rebel without a cause: a psychoanalytic and family-life-cycle view of emerging adulthood in the film. *The Psychoanalytic Quarterly*. 86(3): 665-691.
- Jenkins C. (2015). *Home movies. The American family in contemporary Hollywood cinema*. London: Bloomsbury Publishing. 2015. 224 p.
- Kerry M. (2016). Representations of the family in postwar British amateur film: family histories in the Lane and Scrutton collection at the East Anglian Film Archive. *The History of the Family*. 21 (2): 231-242.
- Kümmerling-Meibauer B. (2013). Introduction: new perspectives in children’s film studies. *Journal of Educational Media, Memory & Society*. 5(2): 39-44.
- Lawton A. (2004). *Imaging Russia 2000. Films and Facts*. Washington, DC: New Academia Publishing, 2004. 348 p.
- Levy E. (1991). The American dream of family in film: from decline to comeback. *Journal of Comparative Family Studies*. 22: 187-204.
- Lloyd A. (2014). Far flung families in film: the diasporic family in contemporary European cinema. *Journal of Contemporary European Studies*. 22(2): 207-208.
- Masterman L. (1996). Media education and human rights. *Continuum*. 9(2): 73-77.

- Mikhaleva G. V. (2021). Civil and patriotic education of university students on the material of Russian cinematography. *Znak: problemnoe pole mediaobrazovanija*. 4(42): 105-112. (In Russian)
- Potter A. (2022). Youth on screen. Representing young people in film and television. *Media Practice and Education*. 23(1): 91-92.
- Sells A. (2014). *Hearths of Darkness: The Family in the American Horror Film*. Tony Williams, editor. Rev. ed. Jackson: *University of Minnesota Press*. 2014. 360 p.
- Shand R. (2015). The “family film” as amateur production genre: Frank Marshall’s comic narratives. *The Moving Image*. 15(2): 1-27.
- Shaw T., Youngblood D. J. (2010). *Cinematic Cold War: The American and Soviet Struggle for Heart and Minds*. Lawrence: *University Press of Kansas*, 2010. 301 p.
- Shlapentokh D. V. (1993). *Soviet Cinematography 1918-1991: Ideological Conflict and Social Reality*. N.Y.: *Aldine de Gruyter*, 1993. 278 p.
- Strada M. (1989). A Half Century of American Cinematic Imagery: Hollywood’s Portrayal of Russian Characters, 1933-1988. *Coexistence*. 26: 333-350.
- Strada M. J., Troper H. R. (1997). *Friend or Foe? Russian in American Film and Foreign Policy*. Lanham, Md., & London: *The Scarecrow Press*, 1997. 255 p.
- Tanner L. R., Haddock S. A., Zimmerman T. S., Lund L. K. (2003). Images of couples and families in Disney feature-length animated films. *The American Journal of Family Therapy*. 31(5): 355-373.
- Zurcher J. D., Webb S. M., Robinson T. (2018). The portrayal of families across generations in Disney animated films. *Social Sciences*. 7: 47.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

УДК 372.881.1

DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_212

ВИРТУАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ КАК СОЦИОКУЛЬТУРНОЕ ЯВЛЕНИЕ В ЛИНГВОДИДАКТИКЕ

Татьяна Сергеевна Суший,
orcid.org/0009-0006-3649-5369,

аспирант

Московский городской педагогический университет,

2-й Сельскохозяйственный пр., 4, корп. 1

Москва, 129226, Россия

sushiits859@mgpu.ru

Аннотация. Данная статья исследует роль виртуальных музеев в лингводидактике и их влияние на социокультурное развитие обучающихся. Актуальность темы обусловлена тем, что виртуальные музеи представляют собой новую форму музейного опыта, которая позволяет пользователям дистанционно погрузиться в историю и культуру страны изучаемого языка. Целью исследования является выявление потенциала виртуальных музеев в обучении иностранным языкам и развитии социокультурной компетенции студентов. Показано то, как он способствует формированию понимания и уважения к различным культурам. Результаты исследования позволяют выявить преимущества использования виртуальных музеев в лингводидактике. Статья имеет практическую значимость для преподавателей и студентов, которые стремятся эффективно использовать данную технологию в обучении иностранным языкам и развитии социокультурной компетенции.

Ключевые слова: виртуальный музей, информационно-коммуникационные технологии, социокультурная компетенция, лингводидактика.

VIRTUAL MUSEUM AS A SOCIO-CULTURAL PHENOMENON IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES

Tatiana S. Sushii,
orcid.org/0009-0006-3649-5369,

Postgraduate Student

Moscow City University,

4, 2-nd Selskhozoyastvenny street

Moscow, 129226, Russia

sushiits859@mgpu.ru

Abstract. This article explores the role of virtual museums in the context of teaching foreign languages and their impact on the socio-cultural development of students. The relevance of the issue is due to the fact that virtual museums represent a new form of museum experience that allows users to remotely immerse themselves in the history and culture of the foreign language. The purpose of the study is to identify the potential of virtual museums in teaching foreign languages and developing students' socio-cultural competence. It is shown how they contribute to the formation of understanding and respect for different cultures. The results of the study reveal the advantages of using virtual museums in teaching foreign languages. The article

can be useful for teachers and students who seek to effectively use this technology in teaching foreign languages and developing socio-cultural competence.

Key words: virtual museum, information and communication technology, socio-cultural competence, teaching foreign languages.

Введение

Потенциал информационно-коммуникационных технологий (далее – ИКТ) в современном развивающемся мире трудно переоценить. Глобальный процесс информатизации затронул практически все сферы жизни людей. Система образования, в свою очередь, старается приспособиться к условиям быстроразвивающихся технологических изменений. Отмечается, что с возникновением информационно-технологического общества связано развитие идей постмодернизма. Присущие ему принципы (антибинаризм, гетерогенность, децентрация, множественность и др.) способствуют распространению инновационных изменений в системе образования, отличающейся вариативностью, многообразием взглядов, обновленным содержанием, индивидуальной траекторией обучения, которая принимает во внимание уникальность каждого участника образовательного процесса [Бокова, 2021, с. 66].

Подобные изменения находят отклик и в современных процессах модернизации образования в высшей школе. Таким образом, в образовательной среде, в частности, в лингводидактике все большую актуальность приобретает обращение к виртуальному пространству сети Интернет. Это определено федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования 45.03.02 Лингвистика (далее – ФГОС ВО), согласно которому обучающиеся по программам бакалавриата по направлению «Лингвистика» должны обладать системным и критическим мышлением, владеть навыками межкультурного взаимодействия, уметь работать с компьютером как средством получения, обработки и управления информацией, а также понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности¹⁹.

В условиях многогранности современного мира особо актуальной становится проблема развития социокультурной компетенции в обучении иностранным языкам. Это обусловлено тем, что процесс знакомства обучающихся с культурой страны изучаемого языка, ее историей, социокультурными традициями и особенностями национальной картины мира народа является частью обучения иностранному языку [Тарева, 2016, с. 15]. Формирование данной компетенции предполагает социокультурную адаптацию и интеграцию личности в новую культуру. Она отвечает за формирование у обучающихся ряда умений, без которых изучение иностранного языка не имеет практического смысла. Среди них можно

¹⁹ Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 45.03.02 Лингвистика от 12 августа 2020 г. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-45-03-02-lingvistika-969> (дата обращения: 01.12.2023).

выделить, например, владение способами проигрывания типичных социальных ролей; умение выбирать социокультурно приемлемый стиль общения; овладение культурными нормами, традициями и ценностями изучаемого языка; умение переводить социокультурно окрашенный материал на родной язык; способность преодолевать и разрешать социокультурные конфликты; проявление толерантности при общении [Сладкова, 2018].

Любой человек, использующий иностранный язык, должен научиться понимать, почему люди иноязычной культуры действуют определенным образом в каждой конкретной коммуникативной ситуации. Отсутствие или недостаточная сформированность вышеописанной компетенции является причиной возникновения ошибок социокультурного характера, что приведет к дискommunikации (нарушение хода иноязычного общения) [Азимов и др., 2019, с. 323]. Чем многообразнее знания о чужой культуре и традициях, чем больше обучающиеся осознают важность данных знаний, тем меньше шансов появления коммуникативных неудач с носителями языка в будущем. Для решения вопроса касательно развития социокультурной компетенции обратимся к технологии «виртуальный музей».

Материалы и методы

В ходе исследования был проведен анализ научно-исследовательских работ отечественных и зарубежных ученых, в которых затрагиваются различные аспекты трактовки определения «виртуальный музей». Были изучены нормативные документы, в частности, ФГОС ВО Лингвистика и «Технические рекомендации по созданию виртуальных музеев Министерства культуры РФ». В качестве дополнительного источника используется цифровая платформа – Google Art & Culture («Google Искусство и культура»). На основе системного анализа и обобщения были разработаны примеры учебной работы с применением виртуальных музеев с целью изучения языка и культуры, а также развития социокультурной компетенции обучающихся.

Дискуссия

Согласно техническим рекомендациям Министерства культуры Российской Федерации под виртуальным музеем понимается «интерактивный мультимедийный программный продукт, представляющий музейные коллекции в электронном виде» [Технические рекомендации ..., 2014]. Т. Е. Максимова в своих работах отмечает, что данное явление представляет собой «качественно новый культурный феномен» [Максимова, 2014, с. 58]. Автор предложила следующее определение: «виртуальные музеи – новая самостоятельная культурная форма интегративного характера, многофункциональный комплекс, существующий в виртуальном пространстве и несводимый к существующим сайтам традиционных музеев в сети Интернет». Т. Б. Смирнова предполагает, что данный термин можно рассматривать в узком и широком значениях. В первом случае, «виртуальный музей» определяется как «информационный ресурс, созданный средствами компьютерных технологий и представляющий в виртуальном пространстве

цифровые версии объектов материального и нематериального наследия». Во втором случае – «это музей, который не существует в реальном пространстве» [Смирнова, 2010, с. 25].

В зарубежных исследованиях «виртуальный музей» воспринимается как цифровой продукт, организованный на постоянной или временной основе для общественного пользования с целью его развития, который приобретает, сохраняет, исследует, передает и демонстрирует материальное и нематериальное наследие человечества и его окружающую среду с помощью цифровых технологий [Farouk et al., 2014]. Другие исследователи полагают, что виртуальный музей является коллекцией цифровых изображений, набором звуковых, текстовых и иных данных, представляющих научный или культурный интерес, доступ к которым имеется благодаря электронным средствам [Virtual Reality..., 2008]. Существует и другая трактовка понятия. Виртуальный музей считается коммуникационным продуктом, доступ к которому есть у широкой аудитории. Он может содержать как объекты материального наследия, так и нематериального. Такого рода музей использует различные формы интерактивности для образовательных, исследовательских и иных целей [Hermon et al., 2013, p. 625]. Стоит дополнить, что согласно электронной версии Британской энциклопедии (Britannica) виртуальные музеи в определенном смысле соединяют в себе выставку, путеводитель, фотографию и видеозапись в виде способа продвижения музея и его коллекции [Britannica..., 2017].

Анализ научно-педагогической литературы по вопросу существующих подходов к трактовке понятия «виртуальный музей» показывает, что музеи такого рода создаются в пространстве Интернет с целью распространения информации о материальных и нематериальных экспонатах, являющихся культурными ценностями для представителей конкретного общества. Отмечается, что виртуальный музей – это не только сайт традиционных музеев в режиме онлайн. Подобные музеи создаются учреждениями культуры и образовательными организациями. Есть и собственно виртуальные музеи, существующие только на просторах сети Интернет. Некоторые частные лица также «открывают» свои музеи [Максимова, 2012, с. 198]. Подобного рода музеи являются своеобразными комплексами, которые способны вместить в своих коллекциях экспонаты из разных сфер культуры и видов искусства. Создатели виртуального пространства музеев стараются наиболее полно представить экспонаты и обеспечить взаимодействие с ними [Кузьменко, 2021, с. 172]. Некоторые современные музеи имеют мультимедийные технологии и игровые виды интерактивной деятельности с пользователями. Большинство музейных систем основаны на таких веб-стандартах и технологиях, которые позволяют музеям создать качественное представление о выставке. Эти стандарты включают в себя и 3D-технологии [Virtual museums..., 2018, p. 132]. Исследуя подобные музеи, пользователи могут приобретать новые знания, развивать и оценивать их, учиться ориентироваться, осуществлять поиск интересной информации, приобретать новый опыт взаимодействия с ними, а также развивать собственные

компетенции. Посещение виртуального музея можно рассматривать как возможность повысить уровень эрудиции и мотивации [Exploring..., 2017, p. 63]. Так, посетители вовлекаются в мир культуры своей или чужой страны.

Существует классификация виртуальных музеев по следующим принципам:

1. В соответствии с профилем: художественные, архитектурные, исторические, литературные, естественнонаучные, технические, театральные, музыкальные и др.

2. В соответствии с технологиями разработки: статичные (включающие статическую информацию); динамичные виртуальные музеи (содержащие комплекс динамических элементов и предусматривающие технологии обратной связи с пользователем) [Гвазава, 2014, с. 100].

Иностранные авторы выделяют три основные составляющие виртуальных музеев:

- информационная часть (информация о самом музее, его местоположении, часах работы и расписании мероприятий);

- содержательная часть (веб-страница, на которой доступна подробная информация о всех коллекциях, данные которых хранятся в базе данных, а также точные и подробные сведения о выставках и различных экспонатах);

- образовательная часть [Virtual museums..., 2018, p. 131]. Образовательная часть виртуального музея, согласно исследованию S. Sylaiou и др., представляет собой веб-сайт с разнообразными возможностями для просмотра коллекций. Варианты просмотра представлены в зависимости от возраста, уровня образования и уровня знаний посетителя. На сайте также имеются ссылки на дополнительную информацию по различным темам, которые могут быть интересны посетителю [Virtual museums..., 2009, p. 521].

Зарубежные исследователи отмечают, что, если виртуальные музеи планируются использоваться в образовательных целях, то у них также будут разные подходы к презентации и описанию объектов, которые они предоставляют, и, как следствие, будут применяться различные технологии, лежащие в их основе [Antonaci et al., 2013, p. 186].

Виртуальные музеи имеют различные функции. Д. С. Василина выделяет следующие:

- социально-ориентированная: доступ к культурному наследию для всех социальных групп;

- гносеологическая: знакомство с общемировыми и национальными ценностями культуры в цифровой форме;

- коммуникативная: возможность размещения экспонатов с возможностью организации обсуждения среди посетителей;

- образовательная: интеграция содержания музеев в учебный процесс;

- интегрирующая: объединение посетителей по интересам;

- досуговая: «посещение» виртуальных музеев в свободное время;

- общественно-преобразующая: выделение виртуальных музеев в отдельный вид творческой деятельности [Василина, 2016, с. 99].

Далее важно указать факты, которые свидетельствуют о значимости виртуальных музеев согласно мнению Т. Е. Максимовой:

- представляют собой новый механизм культурного наследия;
- являются фактором развития культуры;
- создают единое культурное пространство;
- являются каналом приобщения населения к миру культуры;
- являются средством вовлечения населения в социально-культурное творчество;
- осуществляют бесплатный массовый доступ всех слоёв населения к культурным достижениям;
- создают доступные условия вовлечения в мир культуры для людей с ограниченными возможностями, обеспечивая широкий доступ всех слоёв населения к ценностям мировых культур;
- расширяют международное культурное сотрудничество;
- содействуют развитию новых культурных форм и видов искусства, существующих только в Интернете, развивают творческий потенциал нации;
- развивают творческий потенциал нации и инновационное мышление;
- развивают культурный туризм, тем самым стимулируют повышение образовательного и культурного уровня населения [Максимова, 2014, с. 102; Максимова, 2014, с. 108].

Также исследователями подчеркивается, что электронная площадка музея будучи значительно важной формой музейной коммуникации предоставляет возможность работать в особом дискурсивном пространстве, несмотря на тот факт, что коммуниканты разделены в пространстве [Викулова и др., 2017, с. 26].

Таким образом, можно прийти к выводу, что виртуальный музей на современном этапе развития является не просто традиционным способом передачи информации об объектах культуры. Пространство современного виртуального музея может включать в себя целые мультимедийные интерактивные комплексы, включающие 3D-технологии. Обладая достаточно большим потенциалом, они могут активно использоваться в образовательной деятельности.

Результаты

Виртуальные музеи оказали определенное влияние на процесс обучения, вследствие чего они были приняты учебными заведениями во многих странах мира в качестве образовательной технологии, которая обогащает процесс обучения и делает его более качественным [Ismaeel et al., 2016, p. 33].

Формат виртуального музея особо привлекателен творческими возможностями [Виртуальный музей..., 2013, с. 111]. Это является актуальным и для методики преподавания иностранных языков. Кроме того, данная технология преследует цель – сформировать представление о культуре как о механизме социального наследования через овладение культурными кодами, являющимися основой развития личностного смыслов творчества и

мировоззренческой основы жизни. Внедрение данной технологии в образовательный процесс будет способствовать тому, что возможен диалог обучающихся с культурными явлениями и ценностями [Таранова, 2020, с. 133]. Помимо эффективного изучения культурного наследия, они также могут содействовать поддержанию и развитию социокультурной компетенции [Antonaci et al., 2013, p. 192].

Визуальное и текстовое содержание виртуальных музеев возможно использовать в качестве интерактивного контента в тематических блоках на соответствующих занятиях по иностранному языку. Приведем несколько примеров для работы преподавателя:

- подготовить собственный виртуальный тур;
- подготовить игру, викторину или квиз в соответствии с темой;
- попросить обучающихся задавать вопросы по теме задания;
- предложить дискуссию на общекультурные темы и т.п.

Предлагаются варианты и для самостоятельной работы обучающихся:

- составить устный или письменный текст о любом экспонате музея на иностранном языке;
- написать комментарий на иностранном языке на электронной дискуссионной площадке музея;
- прослушать аудиогид или виртуальную экскурсию, подготовленные музеем, и выполнить задания к ним;
- предложить обучающимся самостоятельно или в группах составить игру, викторину или квиз по теме занятия;
- предложить обучающимся самостоятельно подготовить виртуальную экскурсию на иностранном языке (с учетом требований норм изучаемого языка, культуры речи и речевого этикета) [Ермолаева, б.г.].

К достоинству виртуальных музеев также относится тот факт, что они могут применяться как в рамках классических аудиторных занятий, так и при дистанционной и гибридной формах обучения. Таким образом, можно заключить, что технология обучения иностранным языкам, как «виртуальный музей», выступает как современный вспомогательный ресурс для проведения интерактивных занятий, затрагивающих аспекты иноязычной культуры.

Среди многообразия виртуальных музеев стоит выделить одну из самых популярных платформ для знакомства с мировыми артефактами музейных фондов – «Google Art & Culture» / «Google Искусство и культура» [Google Art..., s.a.]. Она представляет собой мультимедийный интерактивный цифровой ресурс, на котором представлены изображения в высоком разрешении, позволяющие совершить виртуальную экскурсию по галереям и музеям [Verde et al., 2021, p. 49].

На платформе можно найти следующие ресурсы по искусству и культуре:

- доступ к более чем 2000 крупнейшим мировым музеям, галереям и историческим организациям мира;
- видео- и аудиоматериалы, готовые виртуальные экскурсии и онлайн-выставки по более чем 1000 историческим и культурным местам;

- доступ к тысяче произведений искусства с возможностью масштабирования;

- междисциплинарные интерактивные задания на разные тематические блоки (музыка, искусство, биология, экология, литература) и др.

Сайт Google Art & Culture может быть полезен для преподавателей как источник для творческих занятий, подобранных в соответствии с учебной программой. На платформе есть готовые планы занятий по различным тематическим блокам, рассчитанные на разные возрастные группы обучающихся. Также у пользователей есть возможность создавать собственные «коллекции» заданий и использовать их на аудиторных занятиях или в качестве самостоятельной работы для обучающихся.

Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что на современном этапе развития виртуальный музей представляет собой особую цифровую технологию, включающую в себя многофункциональный интерактивный комплекс информационно-коммуникационного взаимодействия пользователя с национальной культурной средой страны изучаемого языка.

В условиях работы с виртуальным музеем преподаватель выступает в качестве наставника, который помогает обучающимся в развитии языковых и социокультурных навыков. Студенты, в свою очередь, учатся работать с культурно-исторической информацией, взаимодействуют с «предметами» культурного наследия страны изучаемого языка, получают знания об особенностях речевого поведения в иноязычной культурной среде в изучаемых сферах общения в результате самостоятельной или групповой работы на занятиях. У них есть возможность изучать историю и культуру иноязычных народов, анализировать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах, а также представлять свою родную культуру в иноязычной среде. Грамотно построенное взаимодействие с данной технологией на занятиях способствует тому, что студенты овладевают социокультурной компетенцией. Это является актуальным и для организации процесса подготовки в вузах современных специалистов.

Библиографический список

Азимов Э. Г. Современный словарь методических терминов и понятий: Теория и практика обучения языкам / Э. Г. Азимов, А. Н. Щукин. 2-е издание, стереотипное. М.: Русский язык. Курсы, 2019. 496 с. EDN WAWCWY.

Бокова Т. Н. Инновационное развитие систем высшего образования в США и России в эпоху постмодерна // Инновационные процессы в высшем и профессиональном образовании и профессиональном обучении: Коллективная монография / Авторы-составители: Е. Н. Геворкян, Н. Д. Подуфалов, М. Н. Стриханов. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Экон-Информ», 2021. С. 60-71. EDN IYMO LB.

Василина Д. С. Виртуальный музей как феномен современной культуры // Международный журнал исследований культуры. 2016. № 3(24). С. 96-102. EDN WZJGFH.

- Викулова Л. Г. Виртуальное образовательное пространство: музей И.С. Тургенева во Франции / Л. Г. Викулова, С. А. Герасимова, И. В. Макарова // *Kant*. 2017. № 3(24). С. 24-28. EDN ZHCSBL.
- Виртуальный музей в учебном процессе / Н. Л. Панина, Н. Ю. Бартош, В. В. Казаков [и др.] // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. 2013. Т. 11, № 1. С. 105-112. EDN QMVZWN.
- Гвазава В. И. Виртуальный музей в вузовском образовании // *Мир русского слова*. 2014. № 3. С. 99-102. EDN TOAIUD.
- Ермолаева Ж. Е. Виртуальные музеи как пространство обучения языкам // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eduneo.ru/virtualnye-muzei-kak-prostranstvo-obucheniya-yazykam> (дата обращения: 10.10.2023).
- Кузьменко Е. А. Виртуальные музеи: проблема цифровизации культурного пространства / Е. А. Кузьменко, В. А. Моторина // *Знание. Понимание. Умение*. 2021. № 3. С. 169-179. DOI 10.17805/zpu.2021.3.13. EDN ROUVWE.
- Максимова Т. Е. Виртуальные музеи: типология и функциональная специфика. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Экон-Информ», 2014. 160 с. EDN XDREPH.
- Максимова Т. Е. Виртуальные музеи: анализ понятия // *Вестник Московского государственного университета культуры и искусств*. 2012. № 2(46). С. 196-200. EDN OYCGYJ.
- Сладкова Д. Р. Социокультурный подход в обучении иностранному языку // [Электронный ресурс] // *Время науки – The Times of Science*. 2018. № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnyy-podhod-v-obuchenii-inostrannomu-yazyku> (дата обращения: 01.12.2023).
- Смирнова Т. Б. Виртуальный музей в современном культурно-информационном пространстве // *Музей*. 2010. № 8. С.24-26. EDN DTMNYL.
- Таранова Т. Н. Виртуальные музейные технологии и современный образовательный процесс // *Перспективы и приоритеты педагогического образования в эпоху трансформаций, выбора и вызовов : Сборник научных трудов VI Виртуального Международного форума по педагогическому образованию*, Казань, 27 мая – 09 июня 2020 г. Том Часть IV. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2020. С. 129-135. EDN BFJNUW.
- Тарева Е. Г. Обучение межкультурному диалогу как инструмент «мягкой силы» // *Вопросы методики преподавания в вузе: ежегодный сборник*. 2016. № 5(19-2). С. 13-19. EDN ZAEHMZ.
- Технические рекомендации по созданию виртуальных музеев Министерства культуры РФ // [Электронный ресурс]. – 2014. URL: <https://culture.gov.ru/documents/po-sozdaniyu-virtualnykh-muzeev-250714> (дата обращения: 04.12.2023).
- Antonaci M. Virtual museums, cultural heritage education and 21st century skills / M. Antonaci, M. Ott, F. Pozzi // *Learning & Teaching with Media & Technology*. 2013. pp. 185–195.
- Britannica. The Editors of Encyclopedia. "virtual museum" // *Encyclopedia Britannica* // [Электронный ресурс]. – 2017. URL: <https://www.britannica.com/topic/virtual-museum> (дата обращения: 23.01.2024).
- Exploring the educational impact of diverse technologies in online virtual museums / S. Sylaiou, K. Mania, I. Paliokas, L. Pujol-Tost, V. Killintzis, F. Liarokapis // *International Journal of Arts and Technology*. 2017. № 10(1). pp. 58-84.
- Farouk M. Terminology, Definitions and Types for Virtual Museums / M. Farouk, S. Pescarin // [Электронный ресурс]. – 2014. URL: http://www.vmust.net/sites/default/files/D2.1b_terminology.pdf (дата обращения: 23.01.2024).
- Google Art & Culture // [Электронный ресурс]. – URL: <https://artsandculture.google.com> (дата обращения: 04.01.2024)

Hermon S. Rethinking the virtual museum / S. Hermon, S. Hazan // Digital Heritage International Congress 2013, Marseille, France, 28 October - 1 November 2013. 2013. Vol. 2. pp. 625-632.

Ismaeel D. A. The Impact of an Interactive Virtual Museum on Students' Attitudes Toward Cultural Heritage Education in the Region of Al Hassa, Saudi Arabia / D. A. Ismaeel, A. M. Al-Abdullatif // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). 2016. № 11(04). pp. 32–39. DOI 10.3991/ijet.v11i04.5300

Virtual museums and Google arts & culture: Alternatives to the face-to-face visit to experience art // A. Verde, J. M. Valero // International Journal of Education and Research. 2021. № 9(2). pp. 43-54.

Virtual museums, a survey and some issues for consideration / S. Sylaiou, F. Liarokapis, K. Kotsakis, P. Patias // Journal of Cultural Heritage. 2009. № 10(4). pp. 520-528.

Virtual museums-technologies, opportunities and perspectives / M. Anton, G. Nicolae, A. Moldoveanu, O. Balan // Romanian Journal of Human-Computer Interaction. 2018. № 11(2). pp. 127-144.

Virtual Reality and Museum: An Educational Application for Museum Education // C. Tsolakidis, N. Zouboula, E. Fokides, C. Vratsalis // International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2008. Vol. 3(1). pp. 89-95. DOI 10.3991/ijet.v3i1.759.

References

- Anton M., Nicolae G., Moldoveanu A., Balan O. (2018). Virtual museums-technologies, opportunities and perspectives. *Romanian Journal of Human-Computer Interaction*. 11(2): 127-144.
- Antonaci M., Ott M., Pozzi F. (2013). Virtual museums, cultural heritage education and 21st century skills. *Learning & Teaching with Media & Technology*. 185–195.
- Azimov E. G., Schukin A. N. (2019). Modern dictionary of methodical terms and definitions: theory and practice of language teaching. Moscow: *Russkii iazyk. Kursy*, 2019. 496 p. (In Russian)
- Bokova T. N. (2021). Innovative development of higher education systems in the USA and Russia in the postmodern era // Proceeding of the collective monograph "Innovative processes in higher and professional education and vocational training. Moscow: *Izdatelstvo Ekon-Inform*. 60-71. (In Russian)
- Britannica. The Editors of Encyclopedia. "virtual museum". (2017). Available at: <https://www.britannica.com/topic/virtual-museum> (accessed 23 January 2024).
- Ermolaeva Zh. E. Virtual museums as a language learning space. Available at: <https://www.eduneo.ru/virtualnye-muzei-kak-prostranstvo-obucheniya-yazykam> (accessed 10 October 2023). (In Russian)
- Farouk M., Pescarin S. (2014). Terminology, Definitions and Types for Virtual Museums. Available at: http://www.vmust.net/sites/default/files/D2.1b_terminology.pdf (accessed 23 January 2024).
- Google Art & Culture. Available at: <https://artsandculture.google.com> (accessed 4 January 2024).
- Gvazava V. I. (2014). Virtual museum in university education. *Mir Russkogo slova*. 3: 99-102. (In Russian)
- Hermon S., Hazan S. (2013). Rethinking the virtual museum. *Digital Heritage International Congress 2013, Marseille, France, 28 October - 1 November 2013*. 2: 625-632.
- Ismaeel D. A., Al-Abdullatif A. M. (2016). The Impact of an Interactive Virtual Museum on Students' Attitudes Toward Cultural Heritage Education in the Region of Al Hassa, Saudi Arabia. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 11(04): 32–39. DOI 10.3991/ijet.v11i04.5300.
- Kuzmenko E. A., Motorina V. A. (2021). Virtual museums: the problem of digitalization of cultural space. *Znanie. Ponimanie. Umenie*. 3: 169-179. (In Russian)
- Maksimova T. E. (2012). Virtual museums: an analysis of the concept. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta kultury i iskusstv*. 2(46): 196-200. (In Russian)

- Maksimova T. E. (2014). Virtual museums: typology and functional specifics. Moscow: Izdatelstvo Ekon-Inform, 2014. 160 p. (In Russian)
- Panina N. L., Bartosh N. L., Kazakov V. V., Emelyanov P. G., Vereschagina A. V. (2013). Involving virtual museum into the educational process. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. 11(1): 105-112. (In Russian)
- Sladkova D. R. (2018). Sociocultural approach to teaching a foreign language. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnyy-podhod-v-obuchenii-inostrannomu-yazyku> (accessed 1 December 2023). (In Russian)
- Smirnova T. B. (2010). Virtual museum in the modern cultural and information space. *Muzei* 8: 24-26. (In Russian)
- Sylaiou S., Liarokapis F., Kotsakis K., Patias P. (2009). Virtual museums, a survey and some issues for consideration. *Journal of Cultural Heritage*. 10(4): 520-528.
- Sylaiou S., Mania K., Paliokas I., Pujol-Tost L., Killintzis V., Liarokapis F. (2017). Exploring the educational impact of diverse technologies in online virtual museums. *International Journal of Arts and Technology*. 10(1): 58-84.
- Taranova T. N. (2020). Virtual museum technologies and the modern educational process. *Prospects and priorities of teacher education in the era of transformations, choices and challenges: Proceedings of the Sixth Virtual International Forum on Teacher Education*. Kazan: Kazanskii (Privolzhskii) Federalnyi Universitet, 2020. 129-135. (In Russian)
- Tareva E. G. (2016). Training intercultural dialogue as a “soft power” tool. *Voprosy metodiki prepodavaniia v vuze ezhegodnyi sbornik*. 5(19-2): 13-19. (In Russian)
- Technical recommendations for the creation of virtual museums of the Ministry of Culture of the Russian Federation. (2014). Available at: <https://culture.gov.ru/documents/po-sozdaniyu-virtualnykh-muzeev-250714> (accessed 4 December 2023). (In Russian)
- Tsolakidis C., Zouboula N., Fokides E., Vratsalis C. (2008). Virtual Reality and Museum: An Educational Application for Museum Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 3(1): 89-95. DOI 10.3991/ijet.v3i1.759.
- Vasilina D. S. (2016). Virtual museum as a phenomenon of modern culture. *Mezhdunarodnyi zhurnal issledovaniia kultury*. 3(24): 96-102. (In Russian)
- Verde A., Valero J. M. (2021). Virtual museums and Google arts & culture: Alternatives to the face-to-face visit to experience art. *International Journal of Education and Research*. 9(2): 43-54.
- Vikulova L. G., Gerasimova S. A., Makarova I. V. (2017). Virtual educational space: the museum I.S. Turgenev in France. *Kant*. 3(24): 24-28. (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: 15.06.2024

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/>