

Иркутский филиал
Московского
государственного
технического
университета
гражданской
авиации



CREDE EXPERTO:

транспорт, общество, образование, язык

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫПУСК 3

2025

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

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

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

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

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

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Технические науки: И.Е.Агуреев, д.т.н., профессор (Тула), О.С.Аблялимов, к.т.н., профессор (Ташкент), Л.Г.Большеворская, д.т.н., доцент (Москва), Е.Е.Витвицкий, д.т.н., профессор (Омск), О.А.Горбачев, д.т.н., проф. (Иркутск), А.Г.Гузий, д.т.н., профессор (Москва), В.В.Ерохин, д.т.н., доц. (Иркутск), Д.И.Илесалиев, д.т.н., профессор (Ташкент), В.М.Курганов, д.т.н., профессор (Тверь), С.М.Кривель, к.т.н., доцент (Иркутск), А.Л.Митин (Жуковский, Московская обл.), Е.М.Лунёв, к.т.н. (Москва), Е.С.Неретин, к.т.н., доцент (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), Е.Д.Псеровская, к.т.н., доцент (Новосибирск), В.И.Рассоха д.т.н. (Оренбург), В.Н.Ратушняк к.т.н. (Красноярск, Россия), Димитър Русев, д.т.н., доцент (Бургас), О.Н.Скрыпник, д.т.н., профессор, почётный работник ВПО РФ (Минск), З.З.Шамсиев, д.т.н., профессор (Ташкент), Р.З.Шамсиев, д.ф. (PhD) по тех.н., доцент (Ташкент), 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), 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), К.Дюк, д.филос.н. (Мангейма Мангейм), Н.С.Иванова, доктор, профессор, (Бургас), Г.Е.Имамбаева, д.ф.н., профессор (Павлодар), Н.Н.Казыдуб, д.ф.н., профессор (Красноярск), А.В.Колмогорова, д.ф.н., доцент (Красноярск), Л.Б.Копчук, д.ф.н., профессор (Санкт-Петербург), В.Б.Меркульева, д.ф.н., профессор (Иркутск), О.А.Мельничук, д.ф.н., доцент (Якутск), И.Н.Новгородов, д.ф.н., профессор (Якутск), Оспанова Ж.Т., д. философии (PhD) (Астана, Казахстан), В.И.Постовалова, д.ф.н., профессор (Москва), 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.Чукшик, 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.Баларъева, к.ф.н., доцент (Иркутск), Цэвээндэл 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), Ш.Ж.Курманкулов, к.т.н., д.пед.н. (Талас), М.В.Николаева, д.пед.н., профессор (Волгоград), О.Л.Осадчук, д.пед.н., доцент (Москва), Р.М.Петрунева д.пед.н. (Волгоград), Н.П.Поличка, д.пед.н., профессор (Хабаровск), Е.М.Рогалева, к.пед.н., доцент (Иркутск), Т.А.Стефановская, д.пед.н., профессор (Иркутск), С.Ц.Содномов, д.пед.н., доцент (Улан-Удэ), Е.И.Тихомирова, д.пед.н., профессор (Самара), А.В.Фёдоров, д.пед.н., профессор (Ростов-на-Дону), Л.Е.Халудорова, д.пед.н., доцент (Улан-Удэ), М.П.Целых, д.пед.н., профессор (Ростов-на-Дону), А.В.Шумакова, д.пед.н., доцент (Ставрополь).

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

Адрес учредителя

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

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

Адрес редакции:

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

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

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

Журнал имеет международный номер ISSN 2312-1327

Выходит 1 раз в квартал

Издаётся с 2014 года

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 2025

**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.Abyalimov, 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), D.E.Eshmuradov, Candidate of Technical Sciences (Tashkent), D.I.Ilesaliev, Doctor of Technical Sciences (Tashkent), 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), A.L.Mitin (Zhukovsky, Moscow region), E.M.Luney, Candidate of Technical Sciences (Moscow), E.S.Neretin, Candidate of Technical Sciences, Associate 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), E.D.Pserovskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Novosibirsk), V.I.Rassokha Doctor of Technical Sciences (Orenburg), V.N.Ratushniak Candidate of Technical Sciences (Krasnoyarsk), Dimitir Rousev, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Burgas), Z.Z.Shamsiev, Doctor of Technical Sciences, Professor (Tashkent), R.Z.Shamsiev Rasul, Doctor of Philosophy of Technical Sciences, Associate professor (Tashkent), O.N.Skrypnik, Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (Minsk), D.E.Eshmuradov, Candidate of Technical Sciences (Tashkent).

Philological Sciences: O.A.Aleksandrov, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Tomsk), 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.Chukhshis, Doctor of Philological Sciences, docent (Orekhovo-Zuyevo), K.Dück, doctor of philosophy scientific (Mannheim), A.G.Fomin, D.Ss. (Philology), professor (Kemerovo), N.S.Ivanova, Doctor, Professor (Burgas), 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'nicuk, Doctor of philological sciences, associate professor (Yakutsk), I.N.Novgorodov, Doctor of Philological Sciences, professor (Yakutsk), Ospanova Z.T., PhD (Astana, Kazakhstan), 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.Verhovoykh, candidate of Philological Sciences, associate Professor (Moscow), Lanju Wang, Candidate of Philological Sciences, associate professor (Baoding).

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), 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), A.V.Fedorov, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Rostov-on-Don), L.E.Khaludorova, Doctor of Pedagogical Sciences, associate professor (Ulan-Ude), J.A.Komarova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg), S.Zh.Kurmankulov, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences (Talas, Kyrgyzstan), 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), A.V.Shumakova, Doctor of Pedagogical Sciences, associate professor (Stavropol), 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), V.V.Voronkova, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Moscow), M.P.Vojushina, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (St. Petersburg).

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

Address of the Founder

20 Kronshtadtsky blvd, Moscow, GSP-3, 125993

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

Editorial office address:

Kommunarov St. 3, Irkutsk, Russia, 664047

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

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

The journal is registered with ISSN 2312-1327

Publication 1 time in 3 months.

ОГЛАВЛЕНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

Алекс Евгеньевна Ранверсман

Теоретическая модель профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности 6

Геннадий Владимирович Коваленко, Илья Александрович Ядрев

Способ определения маршрута обхода воздушным судном грозы методом нахождения кратчайшего пути на граfe 35

Николай Сергеевич Херсонский, Людмила Геннадьевна Большеворская

Статистические методы контроля прессованных деталей 56

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гусейн Гусейнов, Олег Федорович Машошин

К вопросу экспериментальной постановки апробации алгоритма обработки диагностических параметров авиационных ГТД на основе многослойных нейронных сетей 71

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Александр Юрьевич Княжеский, Сергей Валентинович Баушев

Современное состояние и перспективы развития систем планирования использования воздушного пространства. Часть 2 87

Нелли Михайловна Романенко, Эдуард Анатольевич Болелов, Анжела Сергеевна Борзова

Постановка задачи синтеза алгоритмов комплексной обработки информации о движении объектов на рабочей площади аэродрома с возможностью реконфигурации информационных каналов 119

Григорий Арменович Гаспарян

Обнаружение критически важных звеньев в пространственно-временных маршрутах с использованием теории сложных сетей 131

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК (ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ)

Анна Константиновна Мозалевская, Екатерина Викторовна Маловецкая, Роман Сергеевич Большаков

Анализ распределения статистических данных о вагонопотоках. Часть I 162

НА ПЕРЕКРЕСТКЕ МНЕНИЙ

Сергей Николаевич Кузнецов, Андрей Мирсасимович Сафарбаков, Марина Александровна Кондратьева, Сергей Валентинович Снимчиков

Анализ понятия термина «Летная годность» воздушного судна как одного из основных факторов обеспечения безопасности полетов 178

ПРОБЛЕМЫ КОГНИТИВНОЙ ЛИНГВИСТИКИ

Татьяна Ивановна Семенова, Анастасия Павловна Налобина

Ценностное измерение концепта SUSTAINABLE FASHION и его объективация в
англоязычном медиадискурсе 195

ДИСКУРС, ДИСКУРСИВНЫЕ ПРАКТИКИ И ТЕКСТ: ВЕКТОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анна Леонидовна Шадрина

Лингвистические особенности сказочного кинодискурса на примере экранизации сказки
братьев Гrimm «Der teufel mit den drei goldenen haaren» 208

ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Дилноза Дилшод кизи Сайфуллаева

Психологическая эволюция героев и социальное расслоение в романе «Мунгли кузлар»
(*«Грустные глаза»*) Худайберды Тухтабаева 218

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Раиса Морадовна Петрунева, Евгений Геннадьевич Ефимов, Татьяна Дмитриевна
Чудасова, Егор Андреевич Матушкин*

О цифровой дидактике в вузе (на примере Волгоградского государственного технического
университета) 229

Ирина Владимировна Богомаз, Елена Анатольевна Чабан

Инженерно-техническая направленность проектной деятельности обучающихся как
основа профессионального самоопределения 243

ЛИЧНОСТЬ И МЕДИА: ГУМАНИТАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В МЕДИАОБРАЗОВАНИИ

Галина Викторовна Михалева

Изучение гендерных ролей в семейном воспитании на материале отечественных
художественных фильмов в студенческой аудитории 258

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 331.101.3:656.7

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_6

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ РАБОТНИКА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Алекс Евгеньевна Ранверсман
orcid.org/0009-0008-9363-2563,

соискатель

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

Санкт-Петербург, 196210, Россия
a.ranversman@mail.ru

Аннотация. В статье представлена теоретическая модель профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности. Модель отражает три последовательных этапа становления личности в профессиональной деятельности: профессиональное обучение, профессиональная адаптация и развитие профессионала, реализация профессионала и возможный спад. Каждый этап описан через совокупность поведенческих характеристик, формирующихся в процессе выполнения должностных обязанностей. Модель построена на основе эмпирического наблюдения и опирается на нормативные требования и профессиональный стандарт. Результаты позволяют проследить динамику формирования и развития профессиональных качеств личности и использовать модель в целях анализа и совершенствования системы подготовки работников транспортной безопасности.

Ключевые слова: профессиональное развитие личности, транспортная безопасность, инспектор по досмотру, профессионально важные качества, этапы профессионального развития, включённое наблюдение, профессиональная адаптация, качества личности, модель профессионального развития.

THEORETICAL MODEL OF THE PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF A TRANSPORT SECURITY UNIT EMPLOYEE'S PERSONALITY

Aleks E. Ranversman,

orcid.org/0009-0008-9363-2563,

degree seeking applicant

St. Petersburg State University of civil aviation
named after Chief Marshal of aviation A. A. Novikov,
38, Pilotov Street,
St. Petersburg, 196210, Russia
a.ranversman@mail.ru

Abstract. The article presents a theoretical model of the professional development of a transport security employee's personality who performs screening, additional screening, and secondary screening for the purpose of ensuring transport security. The model reflects three consecutive stages of personal formation in professional activity: professional training, professional adaptation and development, professional implementation and potential decline. Each

stage is described through a set of behavioral characteristics formed in the course of performing official duties. The model is based on empirical observation and relies on regulatory requirements and the professional standard. The results make it possible to trace the dynamics of forming and developing professionally important personal qualities and to use the model for the analysis and improvement of the training system for transport security personnel.

Keywords: professional development of personality, transport security, screening officer, professionally important qualities, stages of professional development, participant observation, professional adaptation, personal qualities, model of professional development.

Введение

В современных условиях уязвимость объектов воздушного транспорта перед актами незаконного вмешательства достаточно высока. Одним из ключевых элементов обеспечения безопасности на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах воздушного транспорта гражданской авиации является эффективная деятельность подразделений транспортной безопасности. Эти подразделения выполняют комплекс задач, направленный на защиту пассажиров, экипажа, сотрудников и инфраструктуры воздушного транспорта, обеспечивая безопасность функционирования всего транспортного комплекса. Ранее функции предполётного досмотра пассажиров и багажа, а также обеспечение безопасности авиационной инфраструктуры выполняла полиция, однако впоследствии полномочия были переданы подразделениям транспортной безопасности [Сагоцкий и др., 2022; Сарычев и др., 2021].

С учётом возложенных на работников задач и условий их деятельности становится очевидным, что для эффективного выполнения трудовых функций необходима не только высокая профессиональная подготовка, но и развитые профессионально важные качества личности. Ответственность за безопасность большого количества людей, необходимость постоянного взаимодействия с физическими лицами и принятия решений в условиях неопределённости, соблюдения строгих регламентов требуют от работников как профессиональных знаний и умений, так и выраженных личностных качеств. В связи с этим важно учитывать личностные и психологические особенности работников уже на начальном этапе профессионального становления. От того, как будет организован этот процесс, во многом зависит успешность адаптации в профессиональной среде, усвоение профессиональных стандартов и ценностей, а также качество выполнения служебных обязанностей.

В связи с этим автором статьи было проведено исследование, *целью* которого являлась разработка *теоретической* модели «Профессиональное развитие личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности». Модель позволяет оценить формирование и развитие отдельных качеств личности в процессе профессионального развития, влияющих на квалификацию, компетентность и рост профессионализма.

Под теоретической моделью профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности понимается логически выстроенная последовательность из трёх этапов, отражающих характерные изменения в становлении специалиста как профессионала – от момента трудоустройства до достижения им значительного стажа работы в подразделении. Каждый из этапов сопровождается типичными личностными, эмоциональными и профессиональными проявлениями и описан через совокупность поведенческих индикаторов, формирующихся в процессе выполнения должностных обязанностей. Модель основана на результатах эмпирического наблюдения и представляет собой качественную конструкцию, отражающую динамику формирования и развития отдельных качеств личности. От классических подходов (например, моделей В. А. Бодрова и Е. А. Климова) разработанная модель отличается тем, что основана не только на концептуальной проработке стадий профессионального становления, но и на реальных поведенческих индикаторах, выявленных в процессе включённого наблюдения за профессиональной деятельностью работников. Это позволило построить модель, отражающую этапы профессионального развития личности с учётом реальных условий работы.

В то же время она соотносится с рядом зарубежных подходов, таких как модель развития профессионализма Дрейфуса (novice – advanced beginner – competent – proficient – expert) [Dreyfus, 1986], идея формирования профессионального сознания и компетентности [Eraut, 1994], концепция когнитивного ученичества [Collins et al., 1989], теория запланированной случайности [Krumboltz, 1999], а также теория психосоциального климата безопасности [Dollard et al., 2010], которые подчёркивают значимость контекстного обучения, индивидуального опыта и влияния организационной среды на развитие профессионально значимых качеств личности.

Задачами исследования являлись:

- изучение профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности от момента трудоустройства до достижения им значительного трудового стажа;
- изучение влияния качественных изменений личности на профессиональную деятельность этого работника.

Исследование ставило перед собой ряд вопросов:

- Какие проблемы возникают в трудовой деятельности работника на этапе его профессионального развития?
- Какие факторы влияют на профессиональное развитие личности работника в процессе его трудовой деятельности?
- Как происходит профессиональное развитие личности работника с учетом влияния факторов и наличия проблем?
- Что можно сделать для решения выявленных проблем?

Материалы и методы

Материалом исследования послужили поведенческие проявления работников подразделения транспортной безопасности АО «Шереметьево Безопасность», осуществляющих досмотровую деятельность в период с декабря 2022 года по февраль 2023 года.

В качестве основного метода использовалось *включённое систематическое наблюдение*.

Дополнительно применялись *качественный анализ* и *сравнительно-групповой метод*, позволившие выявить поведенческие индикаторы и проследить их динамику в зависимости от стажа профессиональной деятельности.

Дискуссия

Полученные результаты включенного наблюдения позволили выявить устойчивую зависимость между профессиональным стажем, выраженной зависимостью профессионально важных качеств личности и уровнем адаптации к условиям профессиональной деятельности. В рамках дискуссии рассмотрим выявленные проблемы, факторы и особенности профессионального развития работников подразделения транспортной безопасности, осуществляющих досмотр, дополнительный досмотр и повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности в сопоставлении с существующими моделями и нормативными ориентирами. В дальнейшем для обозначения данной категории работников будет использоваться также обобщённый термин «инспектор по досмотру», семантически эквивалентный приведённому определению.

Профессиональная деятельность выступает ключевым фактором формирования и развития личности. Она представляет собой не только способ самореализации, но и инструмент повышения социального статуса и личностного роста [Мак и др., 2017]. Под её влиянием происходит трансформация структуры личности, обусловленная спецификой выполняемых трудовых функций¹.

Для анализа взаимосвязи между профессиональным развитием и формированием профессионально важных качеств личности необходимо рассмотреть специфику обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте, а также содержание деятельности инспектора по досмотру.

До 1 марта 2025 года в нормативной практике применялось понятие авиационной безопасности, под которой понималось состояние защищенности авиации от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации. М. А. Николаева определяет обеспечение авиационной безопасности как «комплекс действий, направленный на предупреждение и предотвращение несанкционированного посягательства на безопасность гражданской авиации»

¹ Профессиональное развитие личности : Учебное пособие / С. Б. Тюрин, А. Д. Бурыкин, В. Е. Гультьяев [и др.]. Ярославль : Образовательное учреждение профсоюзов высшего образования «Академия труда и социальных отношений», 2023. 154 с.

[Николаева, 2023, с. 111]. Основы правового регулирования в данной сфере содержались в главе 12 Воздушного кодекса Российской Федерации.

С вступлением в силу изменений в Федеральный закон от 9 февраля 2007 года № 16-ФЗ «О транспортной безопасности»² глава 12 ВЗК РФ утратила силу. С 1 марта 2025 года обеспечение безопасности в гражданской авиации регулируется исключительно в рамках системы транспортной безопасности, охватывающей объекты транспортной инфраструктуры и транспортные средства воздушного транспорта. Согласно обновлённой редакции Закона, обеспечение транспортной безопасности на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах воздушного транспорта включает реализацию комплекса мер по защите гражданской авиации от актов незаконного вмешательства, в том числе с соблюдением международных стандартов, установленных Международной организацией гражданской авиации (ИКАО).

В соответствии с Приказом Минтруда России от 13.04.2021 № 235н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист транспортной безопасности на воздушном транспорте гражданской авиации» пункта 3.1, части 3, инспектор по досмотру – это специалист, обеспечивающий транспортную безопасность транспортной инфраструктуры и транспортных средств воздушного транспорта гражданской авиации³.

В основные обязанности инспектора по досмотру входит:

- проводить досмотр, повторный досмотр, дополнительный досмотр пассажиров, членов экипажей воздушных судов, обслуживающего персонала, ручной клади, багажа и перемещаемых ими предметов в зону транспортной безопасности или ее часть;
- проводить сверку документов, удостоверяющих личность с личностью физических лиц;
- проводить наблюдение за физическими лицами и собеседование с ними;
- применять технические средства и утвержденную технологию досмотра;
- опознавать и определять в процессе досмотра взрывчатые вещества, взрывные устройства, оружие, боеприпасы и другие опасные вещества и предметы;
- до прибытия специалистов обеспечивать безопасное обращение с опасными веществами и предметами;
- вести установленную отчетную документацию.

Работа инспектора по досмотру организована преимущественно по сменному графику 12 часов (день/ночь). Однако в условиях увеличения пассажиропотока, высокой текучести кадров и частой временной нетрудоспособности возникает необходимость компенсировать нехватку

² Федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ (ред. от 21.04.2025) «О транспортной безопасности».

³ Приказ Минтруда России от 13.04.2021 № 235н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист транспортной безопасности на воздушном транспорте гражданской авиации».

сменного состава. В связи с этим вводятся альтернативные графики, включая смены продолжительностью от 18 до 24 часов.

Практика отбора специалистов включает в себя предварительную оценку профессиональной пригодности, проводимую до начала испытательного срока [Марихин и др., 2022]. Как подчёркивает И. Н. Мерзликин, при отборе оцениваются логическое мышление, коммуникативные способности, эмоциональная саморегуляция, исполнительность и стрессоустойчивость [Мерзликин и др., 2022]. Особое значение приобретает профессиональный психологический отбор, направленный на выявление нервно-психической нестабильности, асоциальных установок и уровня профессиональной адаптации [Марихин и др., 2019].

Первая проблема в трудовой деятельности инспектора по досмотру возникает уже на этапе собеседования и отбора. *Кандидаты, успешно прошедшие профессиональный отбор и принятые на работу, оказываются не готовыми к психологическим нагрузкам, сопутствующим работе с большим количеством людей.* Это обусловлено недостаточным информированием о специфике будущей деятельности. Формально предусмотренное собеседование с кадровыми представителями не всегда обеспечивает полное раскрытие всех условий работы, включая особенности графика, уровень ответственности и эмоциональную нагрузку. Ознакомление с реальными условиями часто происходит только на этапе стажировки.

Как следствие, в начале трудовой деятельности возникает *вторая проблема* – *ухудшение психоэмоционального состояния, как реакция на продолжительную нагрузку.* Согласно В. В. Логвиненко, психоэмоциональное состояние определяется как реакция на нагрузку, индивидуальные особенности и биологические ритмы психофизиологических функций организма, которое включает в себя такие понятия как самочувствие, активность и настроение [Логвиненко, 2023].

Исследование Д. И. Сагайдака и соавторов выделяет ключевые психофизиологические характеристики, формирующие профессионально важные качества личности:

- оперативное внимание;
- точность алгоритма действий;
- устойчивость в условиях сенсорных помех;
- соблюдение инструкций;
- диспетчерские и операторские навыки;
- стрессоустойчивость;
- высокая работоспособность [Кадровый фактор..., 2020].

Зарубежные исследования также подтверждают влияние профессиональных условий на здоровье. Г. Кекланд и Дж. Акселссон отмечают, что сменная работа вызывает сильную усталость и сокращает длительность сна [Kecklund et al., 2016]. Аналогично, исследование UK

Biobank (2024) фиксирует снижение когнитивных функций при нарушении режима сна [Sleep duration..., 2024].

Третья проблема заключается в *отсутствии реальной практики работы с объектами досмотра, в том числе с использованием технических средств досмотра до момента выхода на работу в должности инспектора по досмотру* (статья 12.1 п.2. ФЗ-16). Стажеры в процессе обучения проходят тренажерную подготовку, которая проводится на тренажерах, имитирующих работу на досмотровом оборудовании. Однако, тренажеры не позволяют сформировать необходимые практические навыки и умения по проведению досмотровой деятельности в реальных условиях. Отсутствие подобного опыта приводит к значительному увеличению психоэмоциональной нагрузки на неопытного/начинающего работника в условиях напряженного ритма работы и высокого уровня ответственности. При этом он может «отключаться» от трудового процесса, что будет выражаться в постоянном отвлечении и неспособности сконцентрироваться на рабочем процессе. Такое «отключение» возникает из-за негативной эмоциональной ответной реакции на восприятие. Как итог – неуправляемый и малоэффективный трудовой процесс, который не приносит ни пользы, ни удовлетворения от работы [Багян и др., 2019].

Кроме того, проведенное автором исследование позволило дополнительно выделить ряд социально-психологических факторов, осложняющих профессиональную деятельность:

- постоянное нахождение под видеонаблюдением в целях пресечения халатного отношения к работе;
- работа с оборудованием, которая требует постоянной концентрации и мыслительного напряжения;
- постоянная физическая активность (работа на ногах, вочные смены, отсутствие возможности полноценного отдыха, связанное с непрерывным технологическим процессом);
- нахождение в постоянной готовности к внезапному возникновению нештатной ситуации и ее ликвидации;
- обязанность руководствоваться и грамотно применять различные документы, регламентирующие досмотровую деятельность (административная и уголовная ответственность);
- профессиональное выгорание.

В совокупности, три вышеобозначенные проблемы и выявленные социально-психологические факторы в процессе трудовой деятельности приводят к:

- отсутствию единства в работе и предъявляемых требованиях к объектам досмотра;
- посредственной способности к обнаружению и идентификации опасных предметов и веществ;
- неготовности к решению проблем в нестандартных и критических ситуациях;
- возникновению страха, излишней скрупулезности, ошибок в работе;

- проявлению неадекватных реакций на постоянно изменяющуюся ситуацию (отсутствие терпения, нетактичность, конфликтность, неуверенность в своих действиях и т.д.) на фоне эмоционального напряжения при выполнении рабочих обязанностей;
- возникновению конфликтных ситуаций;
- высокой текучести кадров.

Профессия, по Климову, представляет собой особую форму проявления личности⁴. В ходе проведения исследования были выявлены различные качества личности, наиболее часто присущие работникам подразделения транспортной безопасности. Важно акцентировать внимание на взаимосвязях между психологическими характеристиками личности, ее структурой и готовностью к профессиональной деятельности.

По А. Г. Ковалеву, структура личности – это три взаимосвязанные составляющие:

- темперамент, который предопределяет поведение в социуме, определяет духовную составляющую личности и содержит такие черты, как моральные и волевые качества;
- направленность, предопределяющая отношение к действительности, потребности, интересы и различные установки;
- способности, которыми пользуется человек для осуществления какой-либо деятельности [цит. по: Мельников и др., 2014; Тулenkova, 2019].

Теоретическое обоснование модели базируется на трудах В. А. Бодрова, В. М. Бехтерева, Е. А. Климова и И. П. Павлова^{5,6,7}, в которых раскрываются этапы профессионального развития, а также психофизиологические аспекты устойчивости.

В динамике профессионального развития личности ученые выделили ряд этапов и стадий, через которые последовательно проходит развивающаяся личность. Хотя эти понятия принято считать синонимами, разницу между ними можно описать следующим образом:

- *стадии* – так называемые фазы, ступени. Следовательно, главной характеристикой стадии будет ее качественное отличие от предыдущих и последующих стадий;
- *этап* – отрезок времени, который характеризуется какими-либо изменениями или событиями. Основной характеристикой каждого этапа будет временная протяженность⁸.

⁴ Климов Е. А. Психология профессионального самоопределения: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М. : Академия, 2004. 304 с.

⁵ Бехтерев В. М. Избранные произведения. М. : Медгиз, 1954. 527 с.

⁶ Климов Е. А. Психология профессионала. М. : Издательство «Институт практической психологии», 1996. 400 с.

⁷ Полное собрание трудов И. П. Павлова: В 5 т. Т. 3, кн. 2. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. Условные рефлексы. Сборник статей, докладов, лекций и речей. М., Л.: Издательство АН СССР, 1951. 438 с.

⁸ Профессиональное развитие личности : Учебное пособие / С. Б. Тюрин, А. Д. Бурыкин, В. Е. Гультьяев [и др.]. Ярославль : Образовательное учреждение профсоюзов высшего образования «Академия труда и социальных отношений», 2023. 154 с.

В различных научных подходах профессиональное развитие рассматривается как поэтапный процесс. В. А. Бодров описывает его как последовательность стадий: предыгры, игры, овладения учебной деятельностью, профессионального обучения, адаптации, развития, реализации и завершения профессиональной деятельности [Бодров и др., 2003; Эмильбекова, 2018]. Каждая стадия соответствует определённой степени сформированности ценностей, мотивации и профессионального сознания.

В рамках модели Е. А. Климова⁹ стадии включают предыгру, игру, овладение учебной деятельностью, оптацию, профессиональную подготовку и развитие профессионала. Эти стадии описывают становление профессиональной идентичности, осознанного выбора и готовности к профессиональной деятельности. Немаловажным фактором для успешного профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности является его психологическая устойчивость.

Психологическая устойчивость – ключевое условие успешного развития. В трудах В. М. Бехтерева и И. П. Павлова^{10, 11} рассматриваются механизмы сознательной и бессознательной регуляции поведения, лежащие в основе современных психофизиологических концепций устойчивости.

Л. А. Пьянкова подчёркивает, что психологическая устойчивость представляет собой базовое качество личности, обеспечивающее саморегуляцию и адаптацию к профессиональной среде [Пьянкова, 2020, с. 103]. Эмоциональная устойчивость, как одна из её форм, проявляется в способности сохранять активность при неблагоприятных условиях [Аллахверанова, 2019].

Таким образом, профессиональное развитие личности специалиста, обеспечивающего транспортную безопасность, является ключевым фактором устойчивости всей системы. В условиях высокой ответственности и риска именно психологическая зрелость работника становится критическим условием безопасности.

Теоретическая модель, представленная в работе, не претендует на универсальность, так как основана на эмпирических наблюдениях автора. Для её дальнейшей верификации требуется сочетание с другими методами исследования.

Понимание закономерностей профессионального становления позволяет:

- точнее диагностировать психологические качества работников;
- своевременно корректировать слабые стороны;
- оценивать эффективность профессиональной подготовки;
- совершенствовать процесс подготовки и сопровождения персонала.

⁹ Климов Е. А. Психология профессионала. М. : Издательство «Институт практической психологии», 1996. 400 с.

¹⁰ Бехтерев В. М. Избранные произведения. М. : Медгиз, 1954. 527 с.

¹¹ Полное собрание трудов И. П. Павлова: В 5 т. Т. 3, кн. 2. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. Условные рефлексы. Сборник статей, докладов, лекций и речей. М., Л.: Издательство АН СССР, 1951. 438 с.

Результаты

Исследование проводилось среди работников АО «Шереметьево Безопасность» в международном аэропорту «Шереметьево» (город Химки, Московская область, Россия) в период с декабря 2022 года по февраль 2023 года (включительно). Осуществлялось *включённое систематическое наблюдение* за деятельностью работников подразделения транспортной безопасности, осуществляющих досмотр, дополнительный досмотр и повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности.

Наблюдение проводилось автором лично, в период его профессиональной деятельности в соответствующей службе, без вмешательства в рабочие процессы и без информирования наблюдаемых о целях и параметрах оценки, что позволило зафиксировать поведение работников в естественной профессиональной среде. Работа велась в разные смены (дневные и ночные), с учётом реальных условий деятельности, и не носила характера контроля или аттестации.

С марта 2023 года автор продолжил работу в данной организации, но в другом структурном подразделении, в связи с чем проведение наблюдения было завершено. При этом аналитическая обработка собранных данных, их систематизация и научная интерпретация продолжались в полном объёме в рамках реализации поставленных исследовательских задач.

Объектом наблюдения являлось поведение и взаимодействие работников в процессе выполнения должностных обязанностей, включая:

- соблюдение регламентов досмотровых процедур;
- уровень проявляемой компетентности (внимательность, точность, скорость действий и так далее);
- особенности взаимодействия с коллегами и физическими лицами, проходящими процедуры досмотра;
- реакции в нестандартных или напряжённых ситуациях.

В таблице 1 приведены данные по списочной численности смены на момент проведения наблюдения:

Таблица 1 – Списочная численность смены

Начальник смены	1
Инструктор по транспортной безопасности	1
Инспектор по досмотру	139
Инспектор-стажёр	30

Большинство работников смены относились к возрастной категории от 20 до 45 лет. В таблице 2 представлено распределение состава смены по стажу работы (без учёта руководящего состава).

Таблица 2 – Структура персонала по стажу работы

Численность	Стажеры	До трех лет	Более трех лет	Более десяти лет
169	30	75	54	10
100%	17,8%	44,3 %	32 %	5,9 %

Для фиксации результатов наблюдения, в качестве основного инструмента, использовалась авторская таблица, включающая поведенческие индикаторы, представленные в форме описательных характеристик, отражающих наличие, выраженность или отсутствие профессиональных качеств личности у работников с различным стажем работы в подразделении. Таблица была разработана на основе анализа нормативных требований, личного опыта и предварительных наблюдений и применялась в качестве структурированной схемы фиксации, но не представляет собой стандартизированный психодиагностический метод. Такой подход позволил наблюдать за динамикой профессионального развития личности в реальных условиях и обеспечил сопоставимость данных между исследуемыми группами.

Наблюдение в данном исследовании рассматривается не только как способ получения эмпирических данных, но и как самостоятельный качественный метод, позволивший выявить поведенческие индикаторы, лежащие в основе формирования и развития профессиональных качеств личности. Его результаты стали аналитическим фундаментом для построения теоретической модели, отражающей этапы и особенности профессионального развития личности работников подразделения транспортной безопасности.

В процессе включённого наблюдения автор находился внутри рабочей среды в качестве действующего сотрудника, что обеспечивало постоянный неформальный контакт с коллегами. Несмотря на то, что целенаправленные интервью или анкетирование не проводились, профессиональное взаимодействие и повседневные разговоры в рабочей обстановке позволяли точнее интерпретировать некоторые поведенческие проявления. Эти наблюдения не фиксировались формально, однако способствовали более точному пониманию выраженности или отсутствия определённых качеств, не всегда очевидных при визуальной фиксации. При этом в таблицу вносились только наблюдаемые проявления, без демонстрационного характера со стороны сотрудников.

При интерпретации таких качеств, как тревожность, мотивация, аналитические способности и предприимчивость, автор опирался на совокупность поведенческих признаков, проявляющихся в характере действий, речевых высказываниях, реакциях на изменения ситуации, уровне инициативности и других наблюдаемых особенностях. При этом в таблицу вносились именно внешне фиксируемые проявления, а качественные оценки формировались на их основе без использования формальных тестов.

Полученные данные были сгруппированы следующим образом:

- инспектора-стажёры – сотрудники, проходящие стажировку;

- новые инспектора – стаж работы до трёх лет;
- инспектора со стажем – свыше трёх лет.

В таблице применены следующие условные обозначения:

- «+» – качество преимущественно присутствует;
- «–» – качество преимущественно отсутствует;
- «+/-» – проявляется выборочно или в умеренной степени.

Показатели оценки, представленные в таблице, следует понимать как качественные индикаторы, отражающие наблюдаемые поведенческие проявления, соответствующие определённым профессиональным качествам личности.

Такое распределение позволило проследить динамику профессионального развития, выявить характерные поведенческие особенности на разных этапах становления специалиста, а также использовать его результаты при построении теоретической модели.

Для построения теоретической модели на первом этапе были определены качества личности, условно разделённые на две группы: *полезные* (способствующие эффективному выполнению служебных обязанностей) и *недопустимые* (препятствующие профессиональной адаптации и надёжному исполнению функций).

В ходе *наблюдения* проводилась фиксация наличия, выраженности или отсутствия указанных качеств в исследуемых группах. По результатам наблюдений была составлена таблица и выполнено *аналитическое описание* по каждому из параметров.

Анализ полученных данных позволил проследить динамику формирования и развития качеств личности на различных этапах профессионального становления.

В качестве объективной базы, обеспечивающей беспристрастность и соответствие профессиональным требованиям, при построении теоретической модели были использованы:

- нормативные требования к необходимым знаниям, умениям, навыкам, личностным (психофизиологическим) качествам сил обеспечения транспортной безопасности¹²;
- профессиональный стандарт «Специалист транспортной безопасности на воздушном транспорте гражданской авиации»¹³;
- внутренние технологии и стандарты, действующие в рамках деятельности Общества, доступные работникам для служебного пользования.

¹² Приказ Министерства транспорта РФ от 21 августа 2014 г. № 231 «Об утверждении Требований к знаниям, умениям, навыкам сил обеспечения транспортной безопасности, личностным (психофизиологическим) качествам, уровню физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности, включая особенности проверки соответствия знаний, умений, навыков сил обеспечения транспортной безопасности, личностных (психофизиологических) качеств, уровня физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности применительно к отдельным видам транспорта».

¹³ Приказ Минтруда России от 13.04.2021 № 235н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист транспортной безопасности на воздушном транспорте гражданской авиации».

Такой подход обеспечил обоснованность разработанной теоретической модели, опирающейся как на эмпирические данные, так и на нормативно-профессиональные ориентиры.

Таким образом, собранный эмпирический материал, основанный на наблюдении и отражённый в обобщённой таблице, лёг в основу анализа динамики формирования и развития профессиональных качеств личности и послужил базой для построения теоретической модели профессионального развития личности, которая представлена и интерпретирована в следующих разделах исследования.

В наблюдении приняли участие 169 работников подразделения транспортной безопасности АО «Шереметьево Безопасность», осуществляющих досмотр, дополнительный досмотр и повторный досмотр. Персонал был распределён на три основные группы в зависимости от стажа работы:

- инспектора-стажёры – 30 человек (17,8 %);
- новые инспектора (стаж до трёх лет) – 75 человек (44,3 %);
- инспектора со стажем (свыше трёх лет) – 64 человека (37,9 %), включая 10 человек со стажем более десяти лет.

В соответствии с выбранной методологией, первым аналитическим этапом исследования стало выделение полезных и недопустимых качеств, оказывающих влияние на эффективность профессиональной деятельности инспектора по досмотру (рисунок 1).

Полезные качества		Недопустимые качества	
Адаптивность	Мотивированность	Конфликтность	
Амбициозность	Предприимчивость	Принципиальность	
Аналитические способности	Стрессоустойчивость	Отвлекаемость	
Внимательность	Требовательность	Скрупулезность	
Инициативность	Уравновешенность	Чрезмерная амбициозность	
Командная работа	Усидчивость	Эмоциональность	
Коммуникабельность	Энергичность		
	Этичность		

Рисунок 1 – Полезные и недопустимые качества

Полученные результаты наблюдения были обобщены в таблице, включающей поведенческие индикаторы, представленные в форме описательных характеристик, отражающих наличие, выраженность или отсутствие указанных качеств личности у работников с различным стажем работы в подразделении (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка выраженности поведенческих индикаторов профессиональных качеств личности в группах по стажу работы

Качество		
Инспектора-стажёры	Новые инспектора	Инспектора со стажем
Показатель оценки «Адаптивность»		
+/-	+	+
<ul style="list-style-type: none"> - медленно реагируют на перемены; - присваивают нормы и ценности общества, но не все готовы менять свои; - не всегда адекватно воспринимают окружающую среду; 	<ul style="list-style-type: none"> - быстро реагируют на перемены; - присвоены нормы и ценности общества; - установки и ценности соответствуют существующим в окружающем обществе 	<ul style="list-style-type: none"> - не всегда адекватно воспринимают окружающую среду; - не всегда готовы корректировать свои решения
Показатель оценки «Амбициозность»		
+	+	-
<ul style="list-style-type: none"> - стремятся к получению новых знаний, саморазвитию; - правильная постановка личных и профессиональных целей и их достижение 	<ul style="list-style-type: none"> - некоторые обладают повышенным эгоизмом 	<ul style="list-style-type: none"> - в основном амбиции не проявляют, стараются работать в спокойном режиме; - нередко жалуются на несправедливость со стороны руководства; - рассматривают наиболее удачливых коллег через призму скептицизма
Показатель оценки «Аналитические способности в нестандартных ситуациях»		
-	-	+
<ul style="list-style-type: none"> - проявляется страх и неуверенность в ситуациях, требующих быстрого принятия решения 	<ul style="list-style-type: none"> - теряются при необходимости быстрого принятия решения; - принимают спонтанные решения 	<ul style="list-style-type: none"> - способны обрабатывать большое количество информации; - способны определять взаимосвязи; - способны критически оценивать полученную информацию; - способны выделять главное; - способны находить оптимальное решение из множества вариантов
Показатель оценки «Внимательность»		
-	+	+
<ul style="list-style-type: none"> - быстро устают, внимание рассеивается 	<ul style="list-style-type: none"> - влияние страха 	<ul style="list-style-type: none"> - внимательны к деталям
Показатель оценки «Инициативность»		
-	+/-	+/-
<ul style="list-style-type: none"> - медленно включаются в процесс работы; - быстро устают; - стараются не выделяться 	<ul style="list-style-type: none"> - стремятся быть замеченными и услышанными; - отстаивают свою точку зрения; 	<ul style="list-style-type: none"> - в основном безинициативны вследствие усталостного фактора
Показатель оценки «Командная работа»		
-	-	+
<ul style="list-style-type: none"> - формируют мини-группы по интересам 	<ul style="list-style-type: none"> - каждый считает себя правым; - резко реагируют на критику 	<ul style="list-style-type: none"> - присутствует доверие; - присутствует взаимопомощь; - работают на результат; - совместное принятие решений

Показатель оценки «Мотивация»		
+	+	-
- стремятся к самореализации; - проявляют любопытство; - нацелены на качественное выполнение поставленной задачи	- стремятся к самореализации и самоутверждению; - проявляют инициативу; - проявляют активность	- преимущественно сниженная мотивация к труду вследствие усталостного фактора
Показатель оценки «Коммуникабельность»		
+	+	+
- стараются находить общий язык с коллегами	- наличие понимания цели общения; - умеют изменить тему, стиль и направление диалога	- четкое изложение мыслей; - наличие понимания цели общения; - умеют изменить тему, стиль и направление диалога; - умеют вести диалог в правильном русле; - способны общаться с кем угодно на равных
Показатель оценки «Конфликтность»		
+/-	+	+/-
- часто импульсивны; - склонны к обвинениям других; - могут хамить в ответ на хамство - деятельность планируют ситуативно; - самоуверенны, завышенная самооценка и самомнение; - выражение недоброжелательности воспринимают как обиду; - отношение к коллегам определяют исходя из отношения коллег к себе	- стремятся к компромиссу; - обладают силой воли; - хорошо видят перспективу; - обладают достаточно устойчивой оценкой во мнениях; - преимущественно самокритичны; - соотносят поступки с целями; - подозрительны; - стараются уходить от конфликтных ситуаций; - быстро раздражаются в период максимальной усталости; - могут хамить в ответ на хамство	- стремятся уходить от конфликтных ситуаций; - стремятся к компромиссу
Показатель оценки «Отвлекаемость»		
+	+	+
- потеряя предметов; - часто отвлекаются на посторонние раздражители	- забывчивость; - потеря предметов; - совершают ошибки по невнимательности; - часто отвлекаются на посторонние раздражители; - отрицательное отношение к заданиям, требующим напряжения	
Показатель оценки «Предприимчивость»		
+	+	+
- склонны к обману; - используют ситуацию в личных целях; - характеризуются практичностью, деловитостью, наличием смекалки		- характеризуются практичностью, деловитостью, наличием смекалки; - способны принять правильное решение; - обладают жизненной мудростью; - склонны к обману; - используют ситуацию в личных целях

Показатель оценки «Принципиальность»		
+/-	+	+
- скованы; - открыты к познанию нового; - не все готовы корректировать свои принципы и цели	- активно выражают собственное мнение и отношение; - самоуверенны; - неизменная манера поведения; - формируют принципы исходя из сформированных целей; - недостаток умения идти на компромисс	- способны говорить нет; - принципы соответствуют целям; - активно выражают собственное мнение и отношение; - уверены в себе
Показатель оценки «Стрессоустойчивость»		
-	-	+
- теряются в конфликтных и нестандартных ситуациях	- резко реагируют на конфликтные ситуации	- умеют прогнозировать; - способны к одновременному выполнению нескольких задач; - наличие опыта в переживании стресса; - уверены в себе
- излишне эмоциональны		
Показатель оценки «Требовательность»		
+/-	+	+
- требовательны к пассажирам и посетителям, но не всегда могут отстоять свою точку зрения	- требовательны к пассажирам и посетителям; - при отстаивании своей точки зрения идут на открытый конфликт; - обладают излишней самоуверенностью и верой в собственные способности	- высокие стандарты и ожидания; - критичны и требовательны к окружающим; - организованы; - внимательны к деталям
Показатель оценки «Уравновешенность»		
+/-	+/-	+/-
- настроение часто меняется; - не способны сохранять уровень напряжения; - наблюдается сложность с рациональным восприятием происходящих событий; - частые эмоциональные срывы из-за больших моральных и физических нагрузок		- рационально воспринимают происходящие события; - наблюдаются эмоциональные срывы в период сильной усталости; - способны сохранять уровень напряжения до предельного момента; - способны противостоять трудностям
Показатель оценки «Усидчивость»		
-	-	+
- постоянно в движении	- быстро устают от однообразной работы; - сидячая работа рассматривается в качестве отдыха на рабочем месте с частичным включением в деятельность	- способны к продолжительной концентрации внимания на какой-либо деятельности; - сидячая работа рассматривается в качестве отдыха на рабочем месте с полным включением в деятельность
Показатель оценки «Энергичность»		
-	+	-
- медленно включаются в процесс работы; - быстро устают	- энергичны в начале смены, к концу наблюдается снижение; - обладают желанием быть в центре внимания	- преобладает размеренность
Показатель оценки «Эмоциональность»		
+	+	+/-

<p>- проявляются непроизвольные реакции в связи со сложившейся ситуацией или с субъективным состоянием</p>		<p>- проявляются кратковременные непроизвольные реакции в связи со сложившейся ситуацией или с субъективным состоянием;</p> <p>- могут контролировать эмоциональное состояние</p>
<p>- стараются контролировать эмоциональное состояние</p>		
Показатель оценки «Этичность»		
+	+	+
<p><i>непредвзяты; доброжелательны; не допускают уничижительных комментариев; не допускают нападок на участников процесса; не используют ненормативную лексику в процессе общения с пассажирами и посетителями; единично: допускают злые насмешки в адрес коллег, пассажиров и посетителей «за глаза»</i></p>		
<p>- склонны к обвинениям других</p>	<p>- не допускают необоснованных обвинений</p>	
Показатель оценки «Скрупулёзность»		
Единичные случаи	Единичные случаи	Единичные случаи
<p><i>чрезмерно чувствительны к деталям; обладают повышенной тревожностью; переживают свои просчеты и неудачи, вплоть до болезни; предъявляют повышенные требования к себе и окружающим</i></p>		
<p style="text-align: center;">- склонны придавать излишнее значение замечаниям</p>		

Развитие личности работника подразделения транспортной безопасности осуществляется под воздействием разнонаправленных факторов:

- негативных факторов, связанных с социально-психологическими условиями труда и ведущих к снижению адаптационного потенциала;
- позитивных факторов, реализующихся через формирование и закрепление профессиональных навыков в процессе работы, способствующих личностному развитию и устойчивости профессионального становления (рисунок 2).

<p>Развивающиеся навыки в процессе профессиональной деятельности:</p> <p>а) приобретение способности понимания людей (общение, опыт взаимодействия, наблюдение);</p> <p>б) развитие личности (работа над собой);</p> <p>в) повышение квалификации;</p> <p>г) самоактуализация в профессиональной деятельности (определение профессиональных перспектив и их достижение, у становление новых профессиональных целей);</p> <p>д) приобретение нового опыта и знаний.</p>	<p>Социально-психологические факторы:</p> <p>1) напряжение от постоянного нахождения под видеонаблюдением;</p> <p>2) усталость от работы с оборудованием;</p> <p>3) усталость от физической активности;</p> <p>4) напряжение от постоянной готовности к внезапному возникновению ЧС;</p> <p>5) профессиональное выгорание.</p>
---	---

Рисунок 2 – Позитивные и негативные факторы

На основании требований к знаниям, умениям, навыкам, личностным психофизиологическим качествам сил обеспечения транспортной безопасности ¹⁴ были выделены группы навыков, предполагаемых к

¹⁴ Приказ Министерства транспорта РФ от 21 августа 2014 г. № 231 «Об утверждении Требований к знаниям, умениям, навыкам сил обеспечения транспортной безопасности, личностным (психофизиологическим

формированию в процессе профессионального обучения (включающего как теоретическую, так и практическую подготовку). Эти навыки рассматриваются в качестве целевых ориентиров, обеспечивающих эффективное выполнение должностных обязанностей инспектором по досмотру.

Динамическая блок-схема (рисунок 3) представляет собой визуализацию взаимосвязей между ключевыми профессиональными навыками и соответствующими им личностными качествами, развитие которых способствует овладению тем или иным навыком. Структура схемы включает четыре логически взаимосвязанных элемента:

- первая колонка содержит перечень целевых профессиональных навыков;
- вторая содержит перечень качеств, выраженность которых, по наблюдаемому поведению, представляется значимой для формирования соответствующих профессиональных навыков;
- третья демонстрирует динамику выраженности соответствующих качеств на трёх этапах профессионального становления (от стажёра до зрелого специалиста);
- четвёртая обозначает целевой результат развития личности – «самореализация в профессиональной деятельности. СПЕЦИАЛИСТ».

Визуальная динамика каждого качества представлена посредством линейных индикаторов: полезные качества отображаются зелёной линией, недопустимые – красной. Характер колебаний отражает тенденции усиления, ослабления или нестабильности выраженности соответствующих качеств в процессе профессионального роста.

качествам, уровню физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности, включая особенности проверки соответствия знаний, умений, навыков сил обеспечения транспортной безопасности, личностных (психофизиологических) качеств, уровня физической подготовки отдельных категорий сил обеспечения транспортной безопасности применительно к отдельным видам транспорта».

Самореализация в профессиональной деятельности. СПЕЦИАЛИСТ

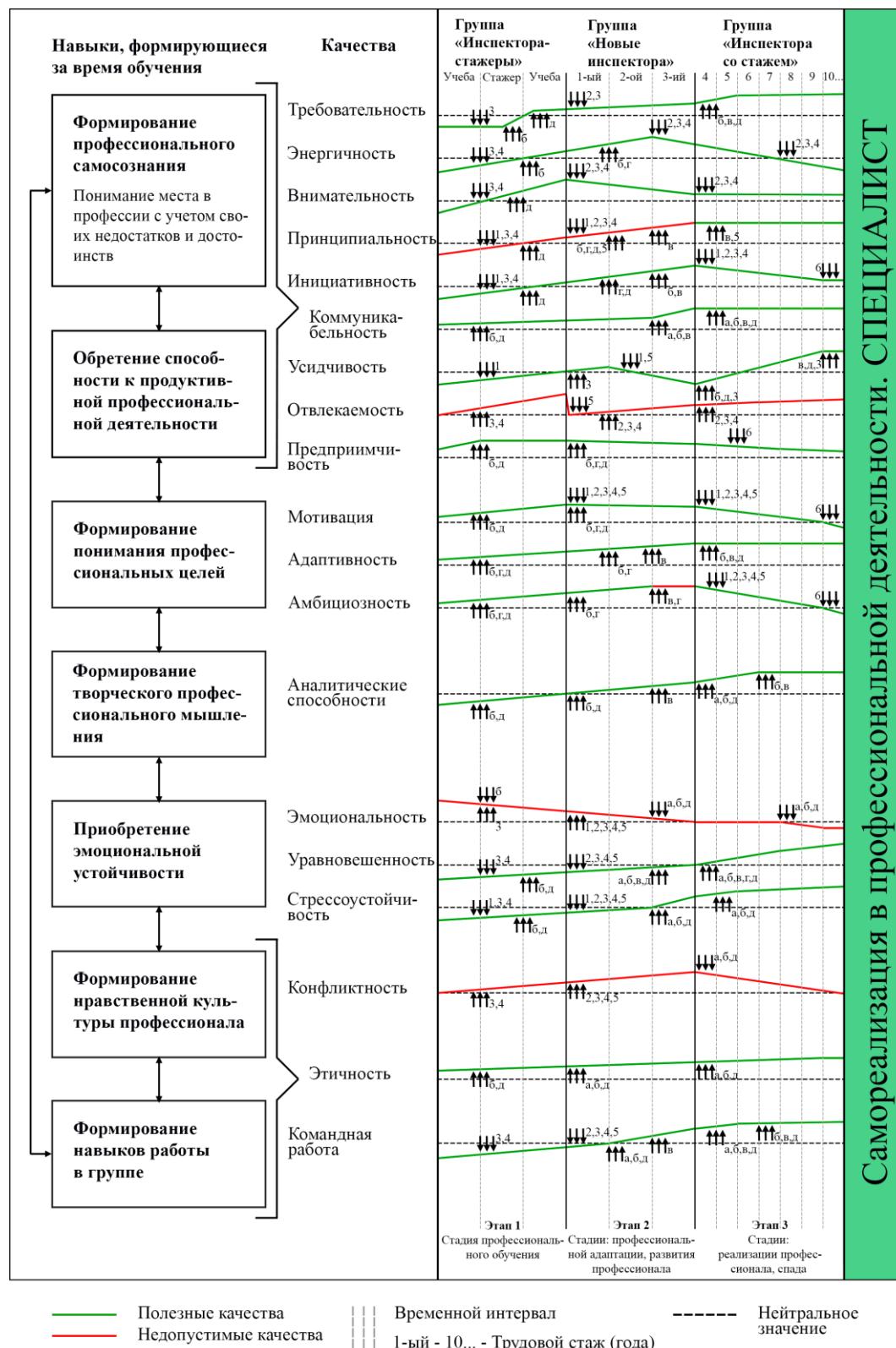


Рисунок 3 – Динамическая блок-схема профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности

Разработанная теоретическая модель профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности представляет собой три последовательных этапа в процессе профессиональной деятельности, на которых реализуются стадии профессионального развития личности.

Теоретическая модель профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности:

Этап 1. Стадия профессионального обучения.

На этапе профессионального обучения (стажировки) наблюдаются процессы первоначальной адаптации сотрудника к организационной среде, регламентам и профессиональным ожиданиям. Вновь принятые работники демонстрируют *формальную адаптивность*: достаточно быстро присваивают внешние нормы и ценности, стараются соответствовать требованиям должностных инструкций, однако этот процесс носит поверхностный характер и не всегда сопровождается внутренним принятием профессиональных установок.

На ранней стадии отмечается относительная сбалансированность поведения, эмоционального фона и мышления, что связано с высокой мотивацией на входе и стремлением произвести положительное впечатление. Однако по мере увеличения нагрузки и накопления усталости возникает *эмоциональная неустойчивость*, проявляющаяся в виде раздражительности, тревожности, снижения внимательности и отвлекаемости.

Низкий уровень *стрессоустойчивости* и отсутствие практических навыков часто становятся причиной неуверенности в ситуациях, требующих быстрого реагирования. *Аналитические способности* в нестандартных ситуациях, как правило, не проявляются – решения принимаются интуитивно, с выраженным компонентом тревоги.

Внимательность присутствует, но обусловлена скорее страхом допустить ошибку, чем сформированной когнитивной установкой. Психоэмоциональное истощение может наступать уже в середине смены, что ограничивает возможность длительной сосредоточенности и усидчивости.

Также характерны выраженная потребность в социальной поддержке и стремление избегать выделения в группе, что *снижает инициативность*. *Командная работа* на данном этапе слабо выражена, наблюдаются формирование микрогрупп и недостаток доверия между сотрудниками.

Вывод. Этап профессионального обучения характеризуется высоким уровнем мотивации, формальной адаптивностью и выраженными эмоциональными колебаниями. Основные риски связаны с нестабильностью внимания, низкой стрессоустойчивостью и недостаточной включённостью в командное взаимодействие.

Этап 2. Стадии: профессиональной адаптации; развития профессионала.

После завершения стажировки и введения в инспекторский состав работник вступает в фазу активной профессиональной адаптации. Этот этап характеризуется постепенным формированием индивидуальной позиции, стремлением к признанию в коллективе, а также активным поиском собственного места в системе ролевых и функциональных отношений. У сотрудников, находящихся на данном этапе, начинают проявляться *амбициозность, инициативность, повышенное стремление к самостоятельности*, нередко сопровождаемые *занятым самоценкой и самоуверенностью*.

На данном уровне развития наблюдается *высокий уровень конфликтности*, особенно в ситуациях критики со стороны более опытных коллег или при взаимодействии с физическими лицами, проходящими процедуры досмотра. Коммуникативные нарушения, жёсткость суждений, неспособность гибко реагировать на замечания могут приводить к жалобам со стороны физических лиц и дестабилизации внутри смены. Основу таких проявлений составляют *чрезмерная принципиальность, прямолинейность и низкая толерантность* к альтернативным точкам зрения.

Амбициозность, несмотря на свою потенциальную конфликтогенность, имеет и конструктивные стороны: она способствует развитию *предприимчивости, требовательности, активному включению в работу*. Однако без зрелой саморефлексии и обратной связи такие качества могут переходить в деструктивные формы.

Внимательность и исполнительность на данном этапе начинают стабилизироваться, но всё ещё могут быть обусловлены не внутренней ответственностью, а страхом допустить ошибку – особенно в работе с досмотровым оборудованием. В отдельных случаях отмечается *формирование скрупулёзности*, выражаящейся в чрезмерной фиксации на деталях, которая не всегда повышает эффективность.

Физиологическая и эмоциональная утомляемость остаются выраженными. У работников наблюдается снижение устойчивости к монотонной деятельности, склонность к частой смене задач (в попытке «перезагрузки»), что приводит к *падению концентрации внимания и мотивации*.

Мотивационный фон на данном этапе неоднороден. С одной стороны, сохраняется установка на профессиональный рост и реализацию, с другой – начинают проявляться первые признаки *эмоционального выгорания*, обусловленные недостатком обратной связи, разочарованием в ожиданиях, рутиной и материальной неудовлетворённостью. Эти факторы ведут к снижению интереса к работе, частичным утратам продуктивности и росту внутреннего напряжения.

Вывод. Этап профессиональной адаптации и развития професионала представляет собой поворотный момент в профессиональной траектории работника подразделения транспортной безопасности. Именно в этот период формируется личностная и профессиональная идентичность, обостряются противоречия между ожиданиями и реальной практикой, проявляются первые

признаки профессионального выгорания. Несмотря на позитивную динамику ряда качеств – инициативности, внимательности, исполнительности – поведение работника остаётся эмоционально нестабильным, конфликтогенным и подверженным мотивационным срывам.

Выход из этого этапа в сторону зрелости и устойчивого профессионального функционирования напрямую зависит от наличия внешней организационной поддержки, психологически безопасной среды, устойчивых командных связей и системы конструктивной обратной связи. Без этих условий существует риск закрепления негативных моделей поведения и утраты мотивации, что может привести к профессиональному дрейфу, снижению эффективности или преждевременному уходу из профессии. В этом смысле второй этап модели – решающая точка роста, от которой зависит дальнейшая судьба специалиста в системе обеспечения транспортной безопасности.

Этап 3. Стадии: реализации профессионала; спада.

На завершающем этапе модели профессионального развития личность работника характеризуется устойчивостью поведенческих установок, высокой саморегуляцией и ориентацией на результат. Накопленный профессиональный опыт способствует укреплению волевых и этических качеств, проявляющихся в способности контролировать собственные реакции, рационально выстраивать рабочие взаимодействия и чётко организовывать процесс выполнения профессиональных задач.

Принципиальность, ранее проявлявшаяся как жёсткость или негибкость, трансформируется в этически обоснованную установку на соблюдение норм и правил, при этом не препятствует принятию решений, учитывающих конкретные профессиональные обстоятельства. Специалист стремится не просто отстаивать своё мнение, но соотносить его с целями обеспечения транспортной безопасности, интересами пассажиров и иных физических лиц, являющихся объектами досмотра.

На данном этапе поведение инспектора приобретает черты профессиональной зрелости: высокая концентрация внимания, устойчивость к отвлекающим факторам, способность к аналитической обработке информации и быстрому принятию оптимальных решений даже в условиях неопределённости. Повышается уровень стратегического мышления, умения прогнозировать последствия действий, формируется *готовность к работе в условиях многозадачности*.

Командное взаимодействие становится ключевой опорой: в группе досмотра наблюдается высокий уровень доверия к коллегам, взаимопомощь и коллективная ориентированность на результат. Такие сотрудники часто становятся неформальными лидерами, оказывая положительное влияние на новичков и общий климат подразделения.

Тем не менее, несмотря на внешнюю устойчивость, на фоне высокой вовлечённости и ответственности этот этап сопряжён с определёнными рисками. В условиях постоянной эмоциональной нагрузки, рутинности задач и отсутствия внешней оценки у некоторых работников снижается

инициативность и внутренняя мотивация. Работники, демонстрирующие высокую профессиональную надёжность, остаются уязвимыми к поздним формам *профессионального выгорания*, проявляющимся в эмоциональной тупости, раздражительности, ощущении отсутствия дальнейших перспектив и утрате смысла в деятельности.

Вывод. Этап реализации профессионала и возможного спада в рамках модели профессионального развития характеризуется наивысшей степенью сформированности профессионально важных качеств личности. Поведение сотрудника становится устойчивым, продуктивным и ориентированным на результат, усиливается командное взаимодействие и возрастает стратегичность принимаемых решений. Вместе с тем на данном этапе выявляются риски эмоционального и профессионального выгорания, снижение инициативности и внутренней мотивации, что требует организационного внимания и разработки поддерживающих механизмов для сохранения эффективности и психоэмоциональной стабильности специалиста.

В качестве обобщения результатов наблюдения и теоретического анализа была составлена сводная таблица (таблица 4), отражающая ключевые особенности каждого из этапов профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр и повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности. Таблица систематизирует характерные поведенческие проявления, механизмы перехода между этапами и возможные риски, способные повлиять на эффективность профессионального становления специалиста. Представленная структура позволяет наглядно проследить динамику изменений, происходящих в процессе профессионального роста, и определить критические точки, требующие организационного внимания.

Таблица 4 – Сводная таблица теоретической модели

Этап	Характерные проявления	Механизмы перехода к следующему этапу	Потенциальные риски
Этап профессионального обучения	1. Формальная адаптивность к требованиям; 2. Высокая мотивация, стремление произвести впечатление; 3. Эмоциональная неустойчивость, тревожность; 4. Поверхностное освоение норм; 5. Низкая стрессоустойчивость; 6. Быстрая утомляемость; 7. Низкая инициативность; 8. Потребность в поддержке со стороны наставника и команды	1. Эффективное наставничество и сопровождение; 2. Позитивное включение в команду; 3. Поддержка со стороны руководства; 4. Постепенное усложнение задач и рост доверия; 5. Формирование первичных профессиональных установок и ответственности	1. Эмоциональное истощение; 2. Неуверенность в нестандартных ситуациях; 3. Отказ от профессии на раннем этапе; 4. Закрепление пассивной роли в команде; 5. Поверхностное усвоение регламентов без внутренней мотивации; 6. Демотивация из-за перегрузки или отсутствия поддержки
Этап профессиональной адаптации и развития профессионала	1. Индивидуализация позиции в коллективе; 2. Рост инициативности, предпримчивости;	1. Развитие саморефлексии; 2. Конструктивная обратная связь; 3. Создание безопасной рабочей среды;	1. Эскалация межличностных конфликтов;

Этап	Характерные проявления	Механизмы перехода к следующему этапу	Потенциальные риски
	3. Завышенная самооценка, конфликтность; 4. Склонность к импульсивности, прямолинейности; 5. Нестабильная мотивация; 6. Страх перед ошибкой, осторожность; 7. Повышенная утомляемость; 8. Риски межличностных конфликтов в коллективе	4. Участие в командных и ролевых взаимодействиях; 5. Вовлечение в профессиональное обсуждение и делегирование полномочий; 6. Возможности горизонтального развития (наставничество, обучение)	2. Закрепление деструктивной амбициозности; 3. Утрата внутренней мотивации; 4. Профессиональное выгорание; 5. Формирование изолированной или оппозиционной позиции в коллективе; 6. Ранний уход из профессии
Этап реализации профессионала и возможного спада	1. Высокая саморегуляция и организованность; 2. Профессиональная зрелость, стратегическое мышление; 3. Устойчивые принципы и ориентация на результат; 4. Эффективное командное взаимодействие; 5. Неофициальное лидерство; 6. Гибкость и аналитичность в нестандартных ситуациях	1. Поддержание профессионального статуса и доверия; 2. Возможности вертикального развития; 3. Внешняя профессиональная оценка и признание; 4. Формирование ресурсных зон для восстановления	1. Эмоциональное и профессиональное выгорание; 2. Потеря интереса к деятельности; 3. Снижение инициативности; 4. Отсутствие карьерного роста или внешней поддержки; 5. Замыкание в рутине и потеря перспектив

На рисунке 4 представлена визуализированная структура теоретической модели профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности. Схема демонстрирует преемственность этапов и их ключевые характеристики, отражающие динамику становления специалиста от начального этапа обучения до реализации профессионала.

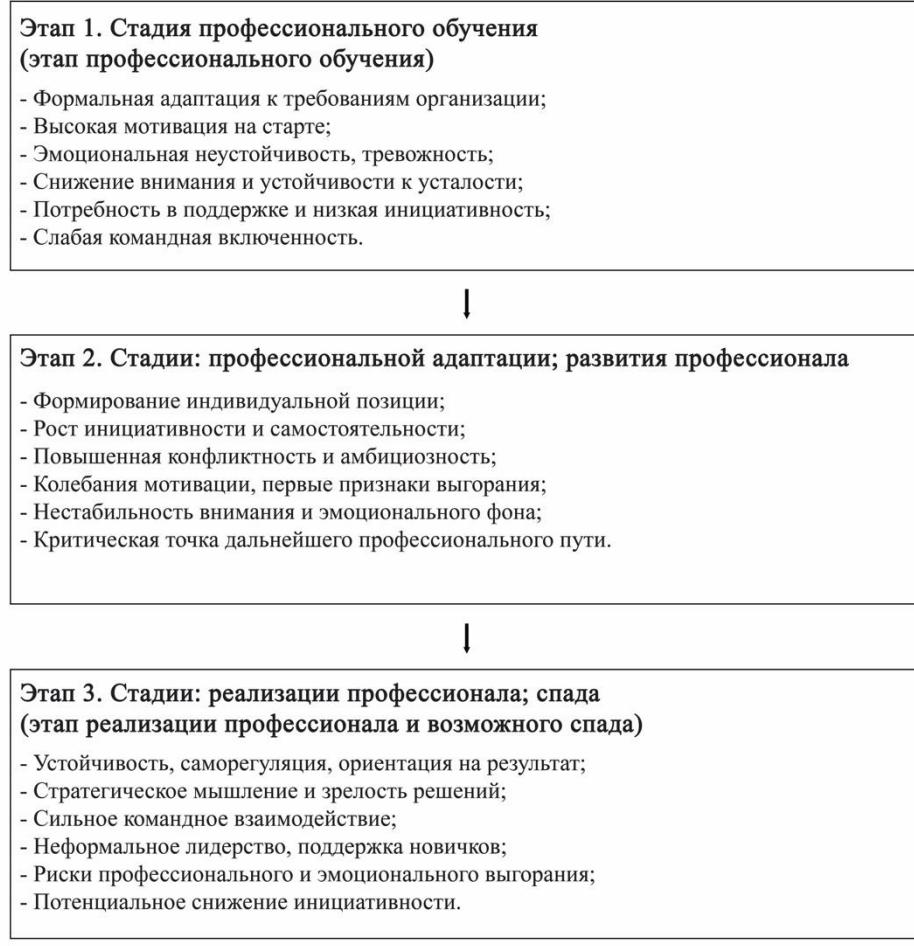


Рисунок 4 – Блок-схема теоретической модели профессионального развития личности работника подразделения транспортной безопасности, осуществляющего досмотр, дополнительный досмотр, повторный досмотр в целях обеспечения транспортной безопасности

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что профессиональное развитие личности работника подразделения транспортной безопасности представляет собой сложный многоэтапный процесс, в котором формирование ключевых психофизиологических и личностных качеств происходит неравномерно и зачастую неполноценно. Качества, определённые в приказе Минтранса № 231 – такие как интеллектуальное развитие, эмоциональная устойчивость, организованность, стрессоустойчивость, зрелость личности, адекватная самооценка и мотивация – формируются преимущественно на поздних этапах профессиональной деятельности. Это указывает на существенный пробел в существующей системе подготовки кадров, которая не обеспечивает полноценного и своевременного развития необходимых компетенций.

Ограниченнность практической подготовки до этапа аттестации препятствует приобретению реальных навыков именно на этапе стажировки, в ходе которого они должны формироваться. Это создаёт повышенную

нагрузку на начинающих специалистов, увеличивает вероятность ошибок и профессионального выгорания. В результате наблюдается высокая текучесть кадров и низкий процент сотрудников, достигших высокого уровня профессионализма.

Анализ разработанной теоретической модели позволяет сделать вывод, что формирование ключевых качеств, предусмотренных нормативными требованиями, возможно лишь при наличии условий, способствующих личностному развитию на всех этапах профессиональной деятельности. Это требует пересмотра методического подхода к подготовке кадров, осуществляющих досмотровую деятельность.

В связи с выявленными проблемами и на основе результатов исследования предлагается комплекс мероприятий по совершенствованию системы подготовки специалистов транспортной безопасности:

1) Внедрение педагогического сопровождения на этапе стажировки, обеспечиваемого квалифицированным и специально подготовленным инструктором-преподавателем, направленного на систематическое развитие профессиональных и личностных качеств, создание психологически поддерживающей среды и повышение мотивации стажёров.

2) Организация практико-ориентированных тренингов и симуляционных упражнений, максимально приближенных к реальным условиям досмотра, с целью формирования устойчивых навыков и повышения стрессоустойчивости ещё до выхода на самостоятельную работу.

3) Разработка индивидуальных программ развития и мониторинга прогресса, позволяющих выявлять слабые стороны и своевременно корректировать профессиональный рост каждого сотрудника.

4) Повышение роли наставничества и создание командных моделей взаимодействия, направленных на формирование доверия, поддержки и обмена опытом внутри подразделения.

5) Интеграция психологической подготовки и профилактики профессионального выгорания, включая регулярное психологическое сопровождение, а также обучение методам саморегуляции.

Таким образом, предлагаемый комплексный подход позволит обеспечить более эффективное и устойчивое профессиональное становление работников транспортной безопасности, повысить качество и безопасность досмотровой деятельности, снизить риски профессионального выгорания и текучести кадров.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на апробацию и совершенствование системы подготовки с учётом внедрения предложенного комплекса мероприятий, а также на оценку её влияния на качество профессиональной деятельности и психологическое благополучие работников.

Библиографический список

Аллахверанова Т. Ф. Психологическая устойчивость личности // Аллея науки. 2019. Т. 4, № 1(28). С. 270-274. EDN ZAAKDR.

Багян А. Г. Влияние психоэмоционального состояния работника на безопасность труда / А. Г. Багян, Е. В. Стасева // Молодой исследователь Дона. 2019. № 3(18). С. 7-9. EDN UKFDJR.

Бодров В. А. Диагностика и прогнозирование профессиональной мотивации в процессе психологического отбора / В. А. Бодров, Л. Д. Сыркин // Психологический журнал. 2003. Т. 24, № 1. С. 77-82. EDN OOXVZH.

Кадровый фактор – основа безопасности полетов и авиационной безопасности / Д. И. Сагайдак, А. Г. Казеко, С. С. Сагайдак, П. С. Бондарович // Актуальные проблемы и перспективы развития авиации: сборник материалов III Международной научно-практической конференции учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации». Минск, 22–23 мая 2019 г. / [ред. совет.: А. А. Жукова и др.; под научн. ред. А. А. Шегидевича]. Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2020. С. 12-19.

Логвиненко В. В. Влияние 24-часовой рабочей смены на психоэмоциональное состояние сотрудников МВД // XIII Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных : Сборник научных статей конференции, Новокузнецк, 10–21 апреля 2023 года. Новокузнецк: Кемеровский государственный университет, 2023. С. 161-162. EDN PZXXLU.

Мак Д. В. Профессиональное развитие личности: проблемы и решения / Д. В. Мак, И. А. Ерина // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты : сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей / Центр социально-экономических исследований. Том Выпуск 13. Пермь : ИП Сигитов Т. М., 2017. С. 110-111. EDN YGMVLZ.

Марихин С. В. Методы профессионального отбора сотрудников авиационной безопасности / С. В. Марихин, Д. П. Ванюхина // Заметки ученого. 2022. № 7. С. 169-173. EDN NVVNFG.

Марихин С. В. Психологическая работа с сотрудниками службы авиационной безопасности / С. В. Марихин, А. А. Ардашева // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. № 4(32). С. 286-289. EDN ELMQOU.

Мельников В. М. Структура личности в отечественной психологии / В. М. Мельников, И. А. Юров // Известия Сочинского государственного университета. 2014. № 4-2(33). С. 158-162. EDN TGFAHR.

Мерзликин И. Н. Психологические особенности сотрудников службы авиационной безопасности, влияющие на эффективность работы / И. Н. Мерзликин, М. А. Николаева // Наука. Техника. Человек: исторические, мировоззренческие и методологические проблемы. 2022. Т. 1, № 12. С. 302-306. EDN VOPIYM.

Николаева М. А. Роль кадровых технологий в обеспечении авиационной безопасности аэропорта // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2023. № 2(44). С. 110-114. EDN AJITRN.

Пьянкова Л. А. Психологическая устойчивость личности как основа профессионального самоопределения молодежи в современных социально-экономических условиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11-2(101). С. 103-109. DOI 10.23670/IRJ.2020.101.11.051. EDN ZCEEHN.

Сагоцкий А. С. Система транспортной безопасности в России и перспективы ее развития / А. С. Сагоцкий, Д. М. Петров, В. С. Барашков // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. 2022. № 40. С. 712-717. EDN BSAASI.

Сарычев А. В. К вопросу о совершенствовании деятельности службы авиационной безопасности в России / А. В. Сарычев, И. Н. Архипцев, Е. А. Карапурова // Правовая парадигма. 2021. Т. 20, № 4. С. 174-183. DOI 10.15688/lc.jvolsu.2021.4.24. EDN DSKVHN.

Туленкова Л. А. Структура личности в отечественной психологии // Наука через призму времени. 2019. № 8(29). С. 118-120. EDN WVDQDC.

Эмильбекова А. Э. Профессиональное становление и динамика профессиональной идентичности на разных этапах формирования личности // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Образование и педагогические науки. 2018. № 1(790). С. 153-163. EDN XREEMX.

Collins A. Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics / A. Collins J. S. Brown S. E. Newman // *Knowing, learning, and instruction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1989. P. 453–494.

Dollard M. F. Psychosocial safety climate as a precursor to conducive work environments, psychological health problems, and employee engagement / M. F. Dollard, A. B. Bakker, H. R. Winefield // *Journal of Occupational and Organizational Psychology*. 2010. Vol. 83(3). P. 579–599. DOI 10.1348/096317909X470690.

Dreyfus H. L. The Five-Stage Model of Adult Skill Acquisition // *Bulletin of Science, Technology & Society*. 1986. Vol. 24(3). P. 177–181. DOI 10.1177/0270467686243001.

Eraut M. Developing Professional Knowledge and Competence. London: Falmer Press, 1994. 256 p.

Kecklund G. Health consequences of shift work and insufficient sleep / G. Kecklund, J. Axelsson // *BMJ*. 2016. Vol. 355. i5210.

Krumboltz J. D. Planned Happenstance: Constructing Unexpected Career Opportunities // *Journal of Counseling & Development*. 1999. Vol. 77. P. 115–124. DOI 10.1002/j.1556-6676.1999.tb02431.x.

Sleep duration, chronotype, health and lifestyle factors affect cognition: a UK Biobank cross-sectional study / R. West, R. T. C. Wong, J. E. Park, S. W. Lee, D. Ekanayake Mudiyanselage, Z. Liu, D. Ma, L. Stockman // *BMJ Public Health*. 2024. Vol. 2. e001000.

References

Allakhveranova T. F. (2019). Psychological stability of personality. *Alley of Science*. 1(28): 270-274. (In Russian)

Bagian A. G., Staseva E. V. (2019). Influence of psycho-emotional state of an employee on labor safety. *Young Researcher of the Don*. 3(18): 7-9. (In Russian)

Bodrov B. A., Syrkin L. D. (2003). Diagnostics and forecast of professional motivation in psychological selection. *Psychological Journal*. 24(1): 77–82. (In Russian)

Collins A., Brown J. S., Newman S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. *Knowing, learning, and instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 453–494.

Dollard M. F., Bakker A. B., Winefield H. R. (2010). Psychosocial safety climate as a precursor to conducive work environments, psychological health problems, and employee engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*. 83(3): 579–599.

Dreyfus H. L. (1986). The five-stage model of adult skill acquisition. *Bulletin of Science, Technology & Society*. 24(3): 177–181.

Emilbekova A. E. (2018). Professional development and dynamics of professional identity at different stages of personality development. *Bulletin of Moscow State Linguistic University. Education and Pedagogical Sciences*. 1(790): 153–163. (In Russian)

Eraut M. (1994). Developing professional knowledge and competence. London: Falmer Press, 1994. 256 p.

Kecklund G., Axelsson J. (2016). Health consequences of shift work and insufficient sleep. *BMJ*. 355: i5210.

Krumboltz J. D. (1999). Planned happenstance: Constructing unexpected career opportunities. *Journal of Counseling & Development*. 77(2): 115–124. <https://doi.org/10.1002/j.1556-6676.1999.tb02431.x>

Logvinenko V. V. (2023). Influence of a 24-hour work shift on the psycho-emotional state of Ministry of Internal Affairs employees. *XIII Vserossiiskaia nauchno-prakticheskia konferentsiia studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* (13th All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists). Novokuznetsk: Kemerovo State University, 2023, pp. 161–162. (in Russian)

Mak D. V., Erina I. A. (2017). Professional personal development: problems and solutions. *Development of Modern Science: Theoretical and Applied Aspects*. 13: 110–111. (In Russian)

Marikhin S. V., Vaniukhina D. P. (2022). Methods of professional selection of aviation security personnel. *Scientist's Notes*. 7: 169–173. (In Russian)

Marikhin S. V., Ardasheva A. A. (2019). Psychological work with aviation security staff. *Scythian: Questions of Student Science*. 4(32): 286–289. (In Russian)

Mel'nikov V. M., Iurov I. A. (2014). Personality structure in domestic psychology. *Izvestiya of Sochi State University*. 4-2(33): 158–162. (In Russian)

Merzlikin I. N., Nikolaeva M. A. (2022). Psychological characteristics of aviation security service employees that affect work. *Science. Technology. Man: Historical, Worldview and Methodological Problems*. 12(1): 302–306. (In Russian)

Nikolaeva M. A. (2023). The role of personnel technologies in ensuring airport aviation security. *Actual Problems and Prospects of Economic Development: Russian and Foreign Experience*. 2(44): 110–114. (In Russian)

Pyankova L. A. (2020). Psychological stability of an individual as a basis for professional self-determination of young people in modern socioeconomic conditions. *International Research Journal*. 11(101): 103–109. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.051>. (In Russian)

West R., Wong R. T. C., Park J. E., Lee S. W., Ekanayake Mudiyanselage D., Liu Z., Ma D., Stockman L. (2024). Sleep duration, chronotype, health and lifestyle factors affect cognition: a UK Biobank cross-sectional study. *BMJ Public Health*. 2: e001000.

Sagaidak D. I., Kazeko A. G., Sagaidak S. S., Bondarovich P. S. (2020). The personnel factor – the basis of flight and aviation security. *Topical issues and prospects for the development of aviation: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. Minsk: Natsional'naia biblioteka Belarusi, 2020. pp. 12–19. (In Russian)

Sagotsky A. S., Petrov D. M., Barashkov V. S. (2022). Transport security system in Russia and prospects for its development. *Modern Problems of Linguistics and Methods of Teaching Russian at University and School*. 40: 712–717. (In Russian)

Sarychev A. V., Arkhiptsev I. N., Karaulova E. A. (2021). On the issue of improving the activities of the aviation security service in Russia. *Legal Paradigm*. 20(4): 174–183. <https://doi.org/10.15688/lc.jvolsu.2021.4.24>. (In Russian)

Tulenkova L. A. (2019). Personality structure in domestic psychology. *Science through the Prism of Time*. 8(29): 118–120. (In Russian)

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА ОБХОДА ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ ГРОЗЫ МЕТОДОМ НАХОЖДЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ НА ГРАФЕ

Геннадий Владимирович Коваленко,

orcid.org/0000-0002-4849-8878,

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет

гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова,

ул. Пилотов, 38

Санкт-Петербург, 196210, Россия

kgyf@inbox.ru

Илья Александрович Ядрев,

orcid.org/0009-0007-3978-6345,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет

гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова,

ул. Пилотов, 38

Санкт-Петербург, 196210, Россия

yadrov.ilya@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты разработки метода определения оптимального маршрута обхода воздушным судном (ВС) постоянной во времени (неподвижной) зоны грозовой деятельности и сильных ливневых осадков, основанного на нахождении кратчайшего пути на графе, при построении которого учитываются геометрии опасных метеоявлений и минимальные безопасные расстояния до них. Приведено сравнение стратегий, основанных на использовании при формировании зон обхода грозы выпуклых и вогнутых оболочек. Установлено наличие статистически значимого различия в центральных тенденциях соответствующих длин маршрутов, а также показано, что маршруты, при построении которых используются вогнутые оболочки, в среднем на 2% короче, при возможных абсолютных различиях длин до нескольких сотен километров. Основной практический результат работы заключается в том, что предлагаемый метод определения оптимального маршрута обхода грозы может быть использован как инструмент повышения ситуационной осведомлённости пилотов ВС и оптимизации работы экипажа при выполнении полётов в условиях неблагоприятной метеорологической обстановки, может позволить осуществлять обход грозы в автоматическом режиме с использованием автопилота, а также может способствовать повышению экономической эффективности полётов в неблагоприятных метеорологических условиях за счёт сокращения расхода топлива благодаря выбору оптимального маршрута их обхода.

Ключевые слова: авиация, безопасность полётов, оптимизация, обход грозы, кратчайший путь на графе, алгоритм Дейкстры, минимальная оболочка.

METHOD FOR DETERMINING AN AIRCRAFT ROUTE TO AVOID A THUNDERSTORM USING THE SHORTEST PATH ON A GRAPH

*Gennadiy V. Kovalenko,
orcid.org/0000-0002-4849-8878,
Doctor of technical sciences, professor
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, Pilotov
Saint-Petersburg, 196210, Russia
kgvf@inbox.ru*

*Ilya A. Yadrov,
orcid.org/0009-0007-3978-6345,
graduate student
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, Pilotov
Saint-Petersburg, 196210, Russia
yadrov.ilya@gmail.com*

Abstract. The article presents the results of developing a method for determining the optimal route for bypassing an aircraft (AC) of a temporally constant (stationary) zone of thunderstorm activity and heavy rainfall. The method is based on finding the shortest path on a graph. It takes into account the geometries of hazardous meteorological phenomena and the minimum safe distances to them. The authors compare strategies based on the use of convex and concave hulls in the formation of thunderstorm bypass zones. The analysis reveals a statistically significant difference in the central tendencies of the corresponding route lengths. It demonstrates that routes using concave hulls are on average 2% shorter, with possible absolute differences in lengths of up to several hundred kilometers. The main practical result of the work is that the proposed method for determining the optimal route to avoid a thunderstorm can be used as a tool to increase the situational awareness of aircraft pilots and optimize crew operations when flying in adverse weather conditions. It allows automatic thunderstorm avoidance using an autopilot and contribute to improved economic efficiency of flights by reducing fuel consumption through the selection of the optimal bypass routes.

Keywords: aviation, flight safety, optimization, thunderstorm avoidance, shortest path on a graph, Dijkstra's algorithm, minimum envelope.

Введение (Introduction)

За последние десятилетия около 15-20% авиационных происшествий (АП) с транспортными воздушными судами (ВС) гражданской авиации (ГА), а также около 25-35% происшествий с ВС ГА авиации общего назначения (АОН) были вызваны неблагоприятными метеорологическими условиями полёта [Fultz et al., 2016, p. 299; Gultepe, 2023, p. 11; Nita et al., 2024, p. 5487], а в соответствии со статистикой, представленной Международной организацией гражданской авиации ИКАО в очередном отчёте о безопасности полётов [ICAO..., 2024, p. 15], основной причиной 39,4% авиационных инцидентов (26 из 66), произошедших в 2023 г., стали сложные погодные условия – турбулентность, сдвиг ветра и гроза. АП, связанные с попаданием ВС в зону грозовой деятельности и сильных ливневых осадков, в среднем составляют по различным оценкам 8-20% от числа происшествий,

произошедших из-за сложных метеоусловий, однако при этом в 60-70% случаев являются авиационными катастрофами, т. е. приводят к гибели людей (что значительно выше среднего уровня происшествий с летальным исходом по иным причинам [Boyd, 2017, р. 1068]), и в 90% случаев становится причиной серьезных повреждений, либо полного разрушения ВС [Evans, 2013, р. 21; Fultz et al., 2016, р. 299].

Процесс принятия решения по выбору маршрута для обхода грозы – непростая задача, усложняющаяся необходимостью учитывать: 1) тенденцию развития грозового облака в ближайшем будущем; 2) скорость и направление движения ВС относительно грозового очага; а также 3) ограничения, установленные руководством по производству полётов авиакомпании, включая минимальное расстояние до грозового очага и минимальное расстояние от одного грозового очага до другого для безопасного пролета между ними (обход грозы сверху или снизу в настоящей работе не рассматривается). Нетривиальность процесса выбора оптимального способа обхода грозы подтверждается следующим:

1. Результаты экспериментов, описанных в работе¹⁵, демонстрируют, что, находясь в одних и тех же условиях, члены экипажей ВС ГА могут принять кардинально различающиеся решения по обходу зоны грозовой активности (вплоть до полного отказа от выполнения полёта): этот факт свидетельствует об отсутствии унифицированного метода, позволяющего стандартизировать процесс выбора оптимального маршрута обхода грозы.

2. Результаты исследования АП с ВС АОН за период с 1996 по 2014 гг. в США [Boyd, 2017, р. 1069] показывают, что среди этих происшествий в 77% случаев в полёте пилоты не соблюдали установленные Федеральным управлением ГА (Federal Aviation Administration, FAA) ограничения на минимально допустимое расстояние до грозы, в том числе по причине недостаточного уровня теоретической подготовки в области авиационной метеорологии и правил полётов, а также неадекватной оценки интенсивности и опасности грозовых очагов.

Предполагается, что предоставление членам экипажа на экране навигационного дисплея консультативной информации о предлагаемом оптимальном (кратчайшем при соблюдении всех установленных ограничений) маршруте обхода грозы может способствовать повышению ситуационной осведомлённости пилотов и оптимизации процесса работы экипажа при выполнении полётов в сложных метеорологических условиях [Коваленко и др., 2025, с. 24], а также позволит осуществлять обход грозы в автоматическом режиме с использованием автопилота. Кроме того, предлагаемый метод определения оптимального маршрута обхода грозы может быть интегрирован в интеллектуальную адаптивную систему поддержки принятия экипажем ВС решений по обходу очагов грозовой деятельности [Kovalenko et al., 2023, р. 554], а также требует внедрения особой связанной с особенностями полета

¹⁵ Стрелков Ю. К. Инженерная и профессиональная психология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия»; Высшая школа, 2001. 360 с.

в неблагоприятных метеорологических условиях программы подготовки [Коваленко и др., 2023, с. 35].

Представим траекторию ВС в промежутке времени $t \in [0, T]$ как функцию от времени t :

$$\mathbf{s}(t) = [x(t), y(t)]^\top, t \in [0, T]. \quad (1)$$

Пусть ВС выполняет полёт из точки $s(0) = A$ в точку $s(T) = B$. Тогда задачу минимизации пути, пройденного из A в B , можно представить как:

$$L = \int_0^T \left\| \frac{d\mathbf{s}}{dt} dt \right\| \rightarrow \min. \quad (2)$$

Произведя дискретизацию по t на N достаточно небольших отрезков, перейдем к множеству точек $\left\{ [x_i, y_i]^\top \right\}_1^N = \left\{ [x_1, y_1]^\top, [x_2, y_2]^\top, \dots, [x_N, y_N]^\top \right\}$, задающих маршрут полёта ВС; при этом длина пути, пройденного из A в B , может быть рассчитана как:

$$L = \sum_{i=1}^{N-1} d_{i,i+1} = \left\| [x_{i+1}, y_{i+1}]^\top - [x_i, y_i]^\top \right\|. \quad (3)$$

Предположим, что ВС выполняет полёт в зоне грозовой деятельности, и в непосредственной близости от расчетной траектории полёта ВС находится множество изолированных грозовых очагов \mathcal{T} , каждый из которых имеет границу $T_k \in \mathcal{T}$ и соответствующую замкнутую область внутри этой границы R_k , которая может быть как выпуклой, так и невыпуклой.

В ходе выполнения полёта из A в B должны соблюдаться ограничения:

1. ВС при обходе зоны грозовых очагов не должно заходить в область грозы:

$$[x_i, y_i]^\top \notin R_k, \forall k \in \mathcal{T}, \forall i; \quad (4)$$

2. Кратчайшее расстояние от границы любого грозового участка T_k до маршрута обхода $d([x_i, y_i]^\top, T_k)$ в каждой его точке i не должно быть меньше минимально допустимого значения d_{\min} :

$$d([x_i, y_i]^\top, T_k) \geq d_{\min}, \forall k \in \mathcal{T}, \forall i; \quad (5)$$

3. Кратчайшее расстояние между границами двух любых грозовых участков T_k и T_m для пролёта между ними не должно быть меньше минимально допустимого значения d_{gap} (как правило, $d_{\text{gap}} > 2d_{\text{min}}$):

$$d(T_k, T_m) \geq d_{\text{gap}}, \forall k, m \in \mathcal{T}, k \neq m. \quad (6)$$

В соответствии с утратившим силу Приказом¹⁶ об утверждении Федеральных авиационных правил полётов в воздушном пространстве Российской Федерации № 136/42/51, указанные минимально допустимые значения устанавливались равными $d_{\text{min}} = 15$ км и $d_{\text{gap}} = 50$ км.

Таким образом, рассматриваемая задача условной оптимизации может быть сформулирована следующим образом:

$$\left\| \left[\begin{matrix} x_{i+1}, y_{i+1} \end{matrix} \right]^{\top} - \left[\begin{matrix} x_i, y_i \end{matrix} \right]^{\top} \right\| \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$\left[\begin{matrix} x_1, y_1 \end{matrix} \right]^{\top} = A, \left[\begin{matrix} x_N, y_N \end{matrix} \right]^{\top} = B; \quad (8)$$

$$\left[\begin{matrix} x_i, y_i \end{matrix} \right]^{\top} \notin R_k, \forall k \in \mathcal{T}, \forall i; \quad (9)$$

$$d\left(\left[\begin{matrix} x_i, y_i \end{matrix} \right]^{\top}, T_k\right) \geq d_{\text{min}}, \forall k \in \mathcal{T}, \forall i; \quad (10)$$

$$d(T_k, T_m) \geq d_{\text{gap}}, \forall k, m \in \mathcal{T}, k \neq m. \quad (11)$$

Существуют различные способы нахождения кратчайшего пути между двумя точками с обеспечением обхода препятствий с заранее известным местоположением: так, известны примеры решения указанной задачи с использованием линейного программирования [Bahreinian et al., 2021, p. 5035; Yilmaz, 2008, p. 522], методов нелинейной оптимизации [Eele et al., 2009, p. 384; Comparative ..., 2023, p. 487], методов случайных выборок (семплирования), таких как быстрорастущие случайные деревья (Rapidly-Exploring Random Trees) [Li et al., 2021, p. 283] и вероятностные дорожные карты (Probabilistic Roadmaps) [Ravankar et al., 2020, p. 221744].

В настоящей работе предлагается метод определения оптимального маршрута обхода зоны грозовой деятельности, основанный на нахождении кратчайшего пути на графе. К достоинствам применения метода, основанного на теории графов, по сравнению с указанными ранее алгоритмами можно отнести следующие [Agarwal et al., 2018, p. 31; Path planning..., 2015, p. 10; Tan et al., 2021, p. 119322]:

1. Относительная простота и эффективность вычислений.
2. Возможность применения в ситуациях с множеством препятствий сложных форм и конфигураций.

¹⁶ Приказ от 31 марта 2002 года № 136/42/51 об утверждении Федеральных авиационных правил полётов в воздушном пространстве Российской Федерации. Отменён с 1 января 2021 года на основании постановления Правительства Российской Федерации от 26 октября 2020 года № 1742.

3. Детерминированность и воспроизводимость при одних и тех же начальных условиях.

В настоящей работе представлено подробное описание предлагаемого метода, а также результаты его применения для нахождения оптимального маршрута полёта между двумя точками для реальных конфигураций грозовых очагов, а также результаты сравнения двух модификаций алгоритма для выбора лучшей из них.

Отметим, что в настоящей работе приведено описание метода, предназначенного для обхода грозовых очагов при условии их постоянства во времени (неподвижности).

Материалы и методы (Materials and methods)

Предлагаемый метод определения оптимального маршрута обхода зоны грозовой деятельности, основанный на нахождении кратчайшего пути на графе, состоит из этапов:

1. Получение данных о конфигурации грозовых очагов.
2. Предобработка и агрегация данных.
3. Создание графа и нахождение кратчайшего пути.

Создание и применение алгоритма оптимального обхода грозы, а также предшествующие этапы получения и обработки данных о расположении грозовых очагов и построение самого графа осуществлялись с использованием языка объектно-ориентированного программирования Python и библиотек: NumPy с поддержкой операций над многоуровневыми массивами, GeoPandas и Shapely для обработки геопространственных данных, а также NetworkX, предоставляющей инструменты для работы с графами и прочими сетевыми структурами. Созданный авторами в рамках исследования код находится в открытом доступе¹⁷.

1. Получение данных

Для разработки и тестирования алгоритма использовались данные¹⁸ радиолокационных метеорологических наблюдений за грозовыми очагами и сильными ливневыми осадками Финского метеорологического института (Finnish Meteorological Institute, FMI). Метеорологические наблюдения проводятся на базе сети FMI из 12 импульсно-доплеровских двухполяризационных радаров С-диапазона, покрывающих территорию Финляндии (рис. 1а); полученные с их помощью значения радиолокационной отражаемости Z (dBZ) переводятся в значения интенсивности пикселя I (число от 0 до 255), после чего картина радиолокационной обстановки хранится в открытом доступе в виде растрового черно-белого изображения формата geotiff. Получить значение Z на основе интенсивности пикселя I можно по формуле $Z=0,5I - 32$. Растровый формат geotiff позволяет далее преобразовать растровое изображение в массив векторных фигур – геометрий

¹⁷ WxRADNet-PyTorch. URL: <https://github.com/yaaadrov/WxRADNet-PyTorch> (дата обращения: 25.06.2025)

¹⁸ FMI Open Data. URL: <http://fmi-opendata-radar-geotiff.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/?prefix=> (дата обращения: 25.06.2025)

– с сохранением информации о пространственном положении и координатах любой точки геометрии.

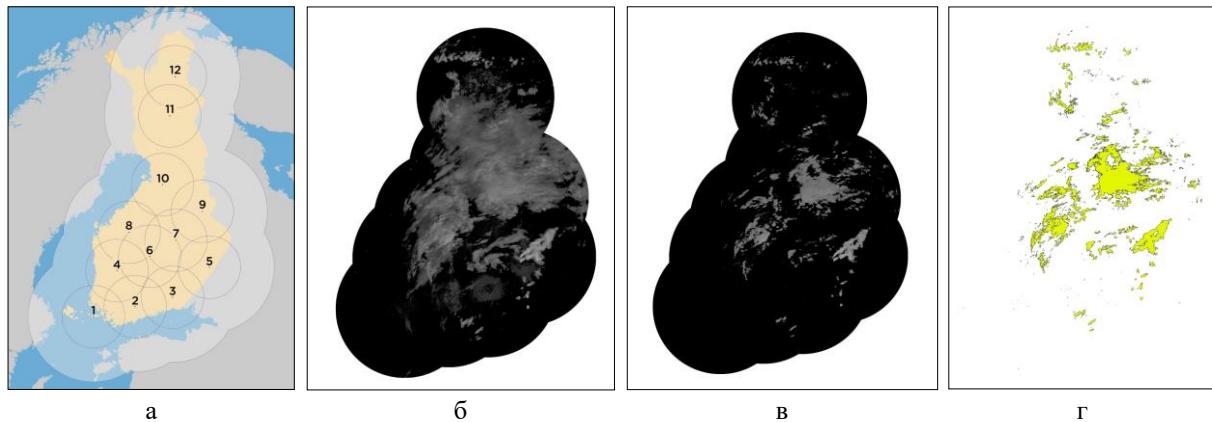


Рисунок 1 – Получение и предобработка данных о конфигурации грозовых очагов: а) покрытие сети радаров Финского метеорологического института¹⁹; б) растровое geotiff-изображение области грозовой деятельности за 09:15 01.07.2024; в) отфильтрованное растровое изображение; г) массив полигонов, полученный из отфильтрованного растрового изображения

Всего из множества наблюдений за период с 2022 по 2024 гг. для дальнейших работ по созданию и тестированию предлагаемого алгоритма нахождения оптимального маршрута обхода грозы было отобрано 25 конфигураций, отличающихся наличием обширных зон грозовой деятельности сложных форм, что значительно усложняло бы процесс их обхода пилотом в полёте.

2. Предобработка и агрегация данных

На этапе предобработки данных происходит загрузка растрового geotiff-изображения (рис. 1б), соответствующего определенной конфигурации грозовых очагов, а также фильтрация облаков, не относящихся к грозовым, и помех, вызванных наличием в воздухе в момент наблюдения отражающих объектов, не связанных с осадками (например, птиц): для этого пиксели со значениями интенсивности I менее 100 (с отражаемостью Z менее 20 dBZ, что соответствует слабому дождю) заменяются на 0, что, тем не менее, не приводит к потере информации о сильных ливневых осадках (рис. 1в). Отфильтрованное растровое изображение затем преобразуется в массив полигонов P_k [Geospatial Data Analysis..., 2024, р. 76] (рис. 1г) – векторных объектов, позволяющих производить над собой различные операции геометрического анализа (объединение, пересечение, проверка принадлежности точек и т. д.), таким образом, что все соседние пиксели с ненулевыми значениями интенсивности объединяются в единый полигон, а

¹⁹ FMI Radar Network. URL: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/fmi-radar-network> (дата обращения: 21.03.2025)

нулевые пиксели при этом отбрасываются. В итоге каждому грозовому очагу $T_k \in \mathcal{T}$ соответствует свой полигон P_k .

Для каждого из полученных таким образом полигонов P_k рассчитываются буферные зоны B_k – полигоны, охватывающие исходную геометрию с заданным значением отступа от её границы, – для двух значений отступов: 1) буфер B_k^{\min} с отступом d_{\min} , где d_{\min} – минимальное допустимое расстояние от ВС до границы грозового очага (изображены серым на рис. 2а); а также 2) буфер B_k^{gap} с отступом $d_{\text{gap}}/2$, где d_{gap} – минимальное расстояние между любыми двумя очагами для обеспечения возможности пролёта между ними (как правило, $d_{\text{gap}}/2 > d_{\min}$).

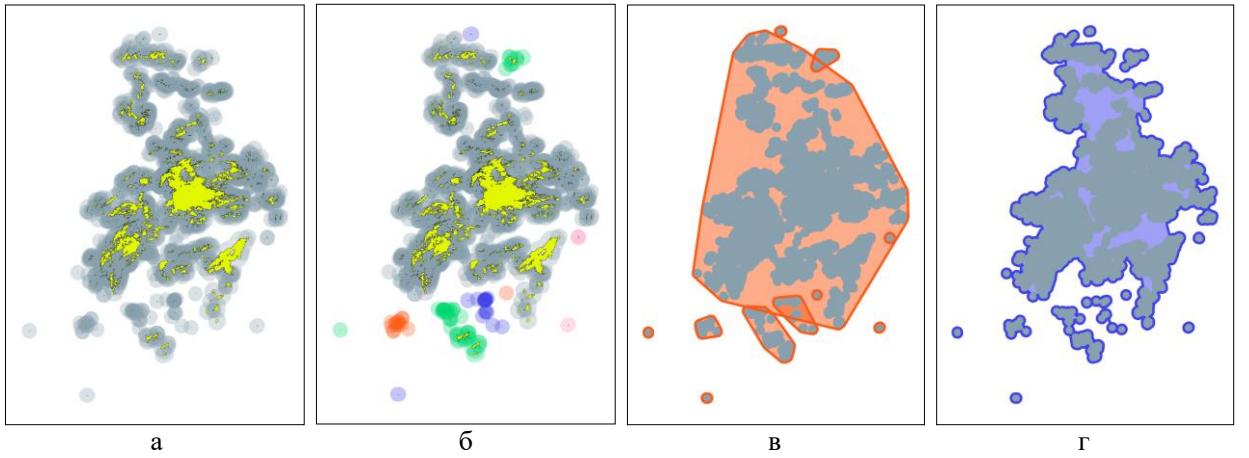


Рисунок 2 – Агрегация данных о грозовых очагах: а) буферные зоны B_k^{gap} с отступом $d_{\text{gap}}/2$, построенные для каждого полигона; б) объединение попарно пересекающихся буферных зон в группы \mathcal{G}_l ; в) выпуклые оболочки, построенные вокруг полученных групп для буферных зон B_k^{\min} ; г) вогнутые оболочки, построенные вокруг полученных групп для буферных зон B_k^{\min}

В том случае, если для двух полигонов P_k и P_m соответствующие им буферные зоны B_k^{gap} и B_m^{gap} пересекаются $B_k^{\text{gap}} \cap B_m^{\text{gap}} \neq \emptyset$, то минимальное расстояние между этими полигонами меньше минимально допустимого значения d_{gap} и пролёт между соответствующими им очагами T_k и T_m невозможен в силу нарушения условия (11). С другой стороны, если объединить все такие полигоны с попарно пересекающимися буферными зонами в группы $\mathcal{G}_l = \{P_{l_1}, P_{l_2}, \dots\}$ (разделение полигонов и соответствующих им буферных зон показано на рис. 2б цветом) и убедиться, что маршрут ВС не проходит между любыми двумя полигонами $P_k, P_m \in \mathcal{G}_l$ из одной группы, то условие (11) будет выполнено автоматически.

Таким образом, далее для каждого P_k находятся полигоны, буферные зоны которых пересекают B_k^{gap} , и формируется граф $G(V^{\text{poly}}, E^{\text{poly}})$, в котором V^{poly} – множество вершин, состоящее из индексов всех полигонов, а E^{poly} – множество рёбер, которые между любыми двумя вершинами k и m присутствуют в том случае, если $B_k^{\text{gap}} \cap B_m^{\text{gap}} \neq \emptyset$. С помощью полученного графа $G(V^{\text{poly}}, E^{\text{poly}})$ не составляется труда разделить все полигоны P_k на группы \mathcal{G}_l , каждая из которых соответствует некоторой компоненте связности графа. При этом, если для некоторого P_k не нашлось ни одного пересечения вида $B_k^{\text{gap}} \cap B_m^{\text{gap}}$, будем считать, что этот полигон образует собственную группу $\{P_k\}$.

Для объединения полигонов из одной группы в единую геометрию могут использоваться два подхода: в рамках обоих прежде всего из всех полигонов группы извлекаются массивы точек, задающих границу полигона, а затем для этих точек строится: 1) выпуклая оболочка (convex hull); либо 2) вогнутая оболочка (concave hull).

Пусть S – конечное множество точек в евклидовом пространстве \mathbb{R}^n . Тогда выпуклая оболочка $\text{Conv}(S)$ представляет собой минимальный выпуклый многоугольник, содержащий все точки множества S [Chaerani et al., 2021, p. 012075]. Существует множество алгоритмов нахождения минимальной выпуклой оболочки [Jayaram et al., 2016, p. 48] (например, алгоритмы Джарвиса, Грэхема, Чана и т. д.), и ее построение для множества точек не вызывает затруднений.

Тем не менее, минимальная выпуклая оболочка часто плохо аппроксимирует форму множества точек, так как игнорирует его вогнутые участки. Вогнутая оболочка $\text{Conc}(S)$, в свою очередь, представляет собой более гибкую границу, которая [A concave..., 2010, p. 2431]:

- 1) содержит все точки множества S , т. е. является его замкнутой оболочкой;
- 2) в отличие от выпуклой оболочки может иметь вогнутые участки;
- 3) зависит от параметра сглаживания α , определяющего степень вогнутости.

Для нахождения $\text{Conc}(S)$ может быть использован метод, основанный на алгоритме k -ближайших соседей (k -Nearest Neighbors, k -NN) [Park et al., 2012, p. 596], или, например, алгоритм α -shape [Asaeedi et al., 2017, p. 51]. В настоящем исследовании использовалась данная²⁰ реализация concave hull-алгоритма с эмпирически подобранным параметром $\alpha = 1$.

На этапе предобработки и агрегации данных для каждой группы полигонов \mathcal{G}_l строилась своя оболочка H_l – выпуклая H_l^{conv} (рис. 2в) и

²⁰ Concave Hull. URL: <https://concave-hull.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 25.06.2025)

вогнутая H_l^{conc} (рис. 2г). Важно отметить, что оболочки строятся не для самих полигонов, но для соответствующих им буферных зон B_k^{min} : это сделано для того, чтобы в дальнейшем при нахождении кратчайшего маршрута учесть условие (10), требующее от ВС в течение всего обхода находиться на расстоянии не менее d_{min} до границ грозовых очагов.

Таким образом, предлагаемый способ объединения отдельных полигонов грозовых очагов в группы \mathcal{G}_l позволяет перейти от задачи оптимизации (7)-(11) к задаче со следующими условиями, которые будут сформулированы уже не для каждой точки пути обхода и границ изолированных грозовых очагов, а для поворотных пунктов маршрута и оболочек H_l :

1. Маршрут обхода должен начинаться в заданной точке A и заканчиваться в заданной точке B , таких, что они лежат за пределами оболочек $\{H_l\}_{l=1}^L$.

2. Ни один из участков маршрута между любыми двумя последовательными поворотными пунктами не должен пересекать границы оболочек $\{H_l\}_{l=1}^L$.

3. Создание графа и нахождение кратчайшего пути

В предлагаемом алгоритме нахождения оптимального маршрута обхода грозы создание графа реализовано следующим образом:

1. Вокруг каждой из оболочек H_l (выпуклой H_l^{conv} либо вогнутой H_l^{conc}) строится дополнительный буфер B_l^{hull} с небольшим (в несколько км) отступом d_{hull} .

2. Границы каждой буферной зоны B_l^{hull} упрощаются²¹ – для этого применяется алгоритм Дугласа-Пекера [Saalfeld, 1999, р. 9], рекурсивно удаляющий точки, задающие границы буфера, минимально влияя на его форму и сохраняя его общую структуру практически неизменной. В результате каждая из буферных зон B_l^{hull} представляется в виде множества характерных точек \mathcal{H}_l : $\mathcal{H}_l^{\text{conv}}$ для выпуклых оболочек (рис. 3а) или $\mathcal{H}_l^{\text{conc}}$ для вогнутых (рис. 3в).

3. Инициализируется граф $G(V^{\text{hull}}, E^{\text{hull}})$, множество вершин которого V^{hull} представляет собой объединение: 1) множества точек, задающих границу буферных зон; и 2) множества, состоящего из начальной и конечной точек маршрута, т. е. $V^{\text{hull}} = \mathcal{H}_l \cup \{A, B\}$. Упрощение границ буферной зоны (п. 2) было произведено с целью снизить число вершин графа, упростив, таким

²¹ Для данной операции используется реализованный в модуле GeoPandas метод «simplify» с эмпирически подобранным для решаемой задачи значением параметра «tolerance», равным 5000.

образом, вычисления по нахождению валидных (т. е. не пересекающих геометрии $\{H_l\}_{l=1}^L$) рёбер графа.

4. Далее для каждой пары вершин графа $V_p^{\text{hull}}, V_q^{\text{hull}}$ проверяется, пересекает ли данный отрезок хотя бы одну из геометрий $\{H_l\}_{l=1}^L$, и если нет, то соответствующее ребро E_{pq}^{hull} считается валидным и добавляется в граф (валидные рёбра графа показаны зелёным на рис. 3б и рис. 3г для выпуклой и вогнутой оболочек соответственно), при этом вес ребра определяется как расстояние между двумя его вершинами. Отметим также, что построение дополнительной буферной зоны B_l^{hull} с небольшим отступом вокруг каждой из оболочек H_l (п. 1) сделано для того, чтобы рёбра между двумя соседними вершинами, принадлежащими одному и тому же грозовому очагу, не пересекались с соответствующей геометрией оболочки H_l .

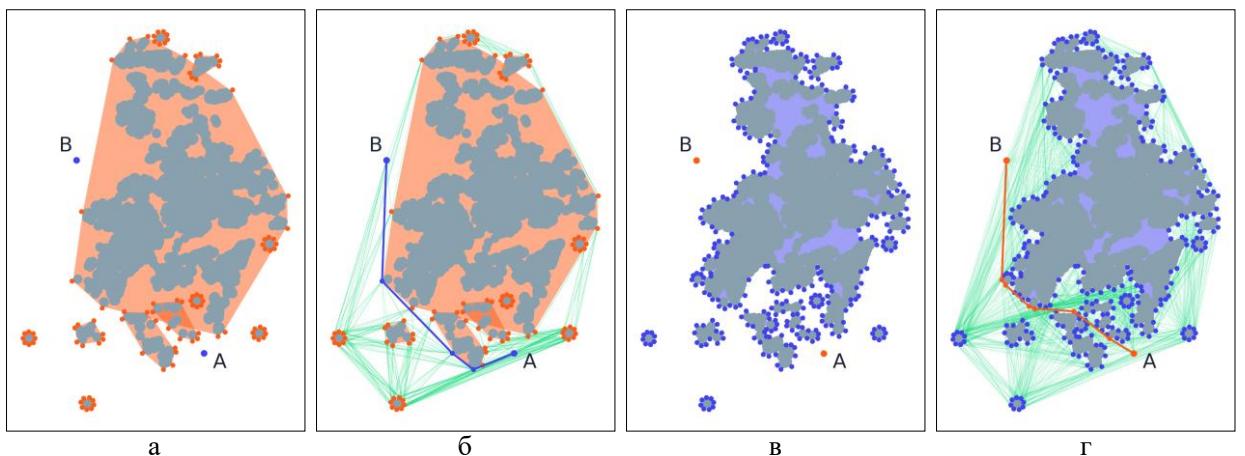


Рисунок 3 – Создание графа и нахождение кратчайшего пути: а) точки A и B и множество точек $\mathcal{H}^{\text{conv}}$, приближающих границу выпуклых оболочек; б) вершины графа для выпуклых оболочек и кратчайший путь из A в B на графике; в) точки A и B и множество точек $\mathcal{H}^{\text{conc}}$, приближающих границу вогнутых оболочек; г) вершины графа для вогнутых оболочек и кратчайший путь из A в B на графике

Таким образом, задача определения оптимального способа обхода грозы сводится к нахождению кратчайшего пути на полученном взвешенном графике. Для этого могут использоваться различные алгоритмы [A survey of..., 2017, р. 2], наиболее популярный из них – алгоритм Дейкстры [Rachmawati et al., 2020, р. 4], который и применён в настоящей работе.

Найденный кратчайший путь на графике – массив его вершин от точки A до точки B с известными координатами всех полученных поворотных пунктов – представляет собой предлагаемый оптимальный маршрут обхода зоны

грозовой деятельности (оптимальный маршрут показан синим на рис. 3б и красным на рис. 3г).

Результаты (Results)

Предлагаемый метод определения оптимального маршрута обхода зоны грозовой деятельности был применён для каждой из 25 конфигураций грозовых очагов, отобранных на этапе получения данных, как для случая обхода области, полученной из выпуклых оболочек, так и для обхода области, полученной из вогнутых оболочек, для различных начальных и конечных точек маршрута. Начальные и конечные точки для экспериментов выбирались следующим образом:

1. Вокруг множества буферных зон $\{B_k^{\text{gap}}\}_{k=1}^K$ строилась ограничительная рамка (bounding box) [Dinas et al., 2015, p. 54] (показана пунктиром на рис. 4а и 4б) – наименьший прямоугольник, содержащий в себе каждую геометрию из множества $\{B_k^{\text{gap}}\}_{k=1}^K$.
2. Выбирались 4 пары начальных и конечных точек: 1) противоположные вершины ограничительной рамки (точки A_1, B_1, A_3 и B_3 на рис. 4а и 4б); и 2) точки, соответствующие серединам противоположных сторон ограничительной рамки (точки A_2, B_2, A_4 и B_4 на рис. 4а и 4б).

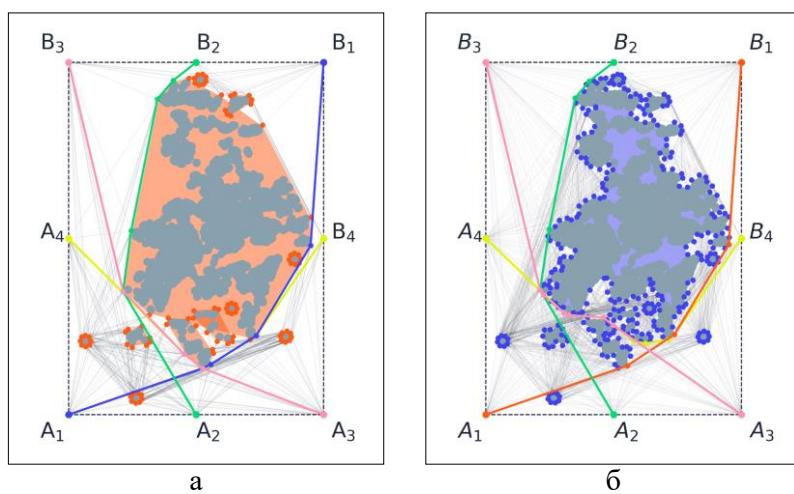


Рисунок 4 – Ограничительная рамка (bounding box) и оптимальные маршруты обхода для четырёх пар начальных и конечных точек: а) при обходе области, полученной из выпуклых оболочек; б) при обходе области, полученной из вогнутых оболочек

Всего, таким образом, было рассмотрено 100 случаев, причём для каждого из них (как для выпуклых, так и для вогнутых оболочек) полученные графы оказались связными, т. е. в них любые две вершины соединены ребром и, следовательно, можно было найти хотя бы один маршрут из начальной точки в конечную. Распределение длины маршрута обхода в зависимости от выбранной стратегии обхода – для области, полученной из выпуклых

оболочек (convex), либо из вогнутых оболочек (concave), – приведено на рис. 5.

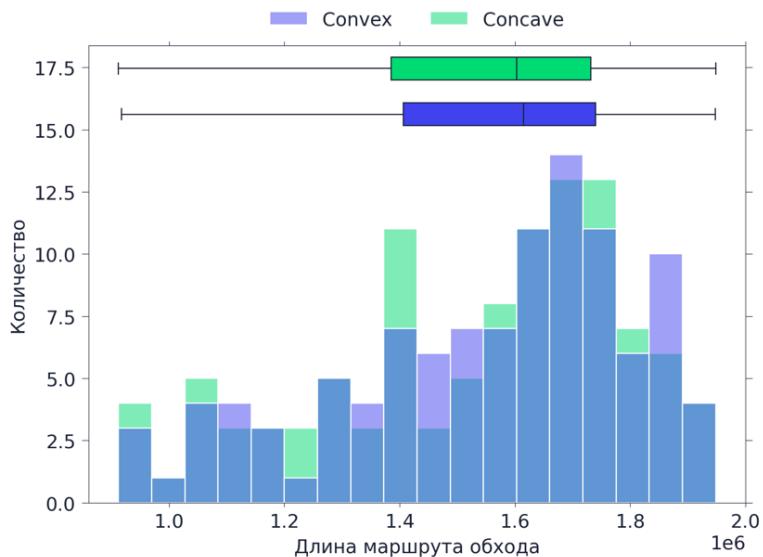


Рисунок 5 – Распределение длины маршрута обхода в зависимости от выбранной стратегии

Для 76 из 100 рассмотренных случаев длина маршрута при обходе зоны, образованной вогнутыми оболочками (concave-маршрут, средняя длина 1 530 км), в среднем меньше, чем длина маршрута при обходе зоны, образованной выпуклыми оболочками (convex-маршрут, средняя длина 1 548 км); эта закономерность заметна и на диаграмме, изображенной на рис. 5. Тем не менее, в среднем отношение длины concave-маршрута к длине convex-маршрута составляет $C\text{-ratio} = 0,98$ (медианное отношение равно 0,99) – это свидетельствует о незначительной разнице между длинами маршрутов для данных стратегий (в абсолютных величинах эта разница может достигать в рассматриваемых задачах нескольких десятков километров).

Примечателен случай, изображенный на рис. 6, для которого concave-маршрут оказался в 1,66 раз короче convex-маршрута (912 км для concave-маршрута против 1 515 км для convex-маршрута, что соответствует значению $C\text{-ratio} = 0,60$ и абсолютной разнице между маршрутами в 603 км): конфигурация грозовых очагов (рис. 6а) такова, что выпуклые оболочки двух наибольших по площади групп пересекаются (рис. 6б), что делает пролёт между ними невозможным. С другой стороны, в случае вогнутых оболочек данная проблема отсутствует, что позволяет значительно сократить путь из A в B .

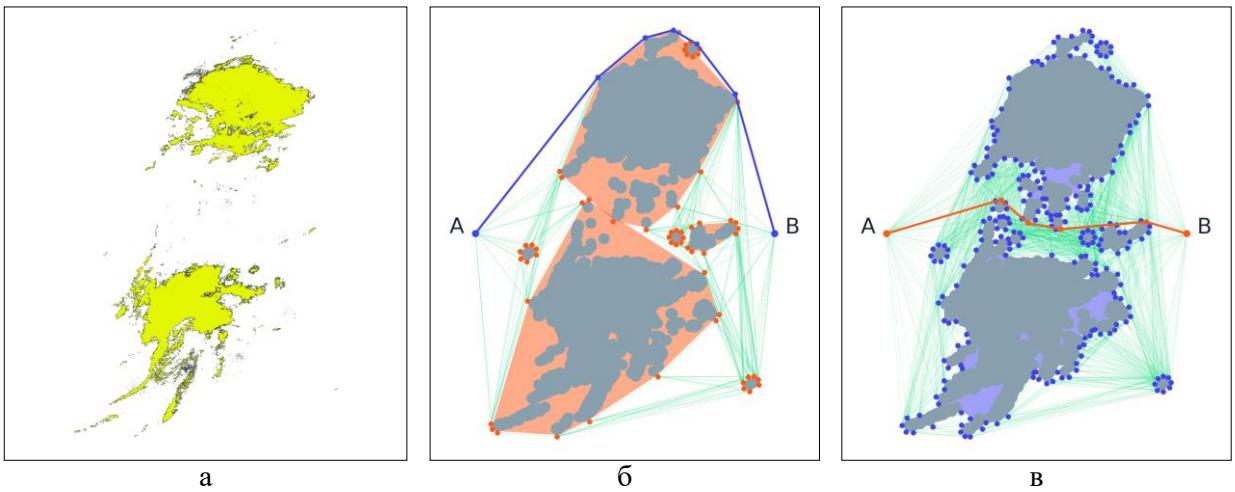


Рисунок 6 – Разница между convex- и concave-маршрутами может составлять до 40% длины большего из них: а) конфигурация грозовых очагов; б) convex- маршрут обхода данной конфигурации; в) concave-маршрут обхода данной конфигурации

Далее для каждого из рассматриваемых 100 случаев были найдены относительные разницы между длинами convex- и concave-маршрутов ΔL_{rel} :

$$\Delta L_{\text{rel}} = \frac{L_{\text{conv}} - L_{\text{conc}}}{(L_{\text{conv}} + L_{\text{conc}})/2},$$

где L_{conv} и L_{conc} – длины convex- и concave-маршрутов соответственно.

Результаты теста Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk test) [Das et al., 2016, p. 9] для проверки гипотезы о нормальности распределения ΔL_{rel} со значением уровня статистической значимости $\alpha = 0,05$ позволили сделать вывод о том, что данное распределение статистически значимо отличается от нормального (со значением p -уровня значимости $p = 3,22 \cdot 10^{-21}$). Следовательно, для проверки гипотезы о статистически значимом различии средних необходимо использовать непараметрический тест.

В настоящем исследовании для сравнения средних в силу парности данных был использован тест Уилкоксона для парных выборок (Wilcoxon signed-rank test) [Gerald et al., 2021, p. 78] со значением уровня статистической значимости $\alpha = 0,05$: результаты непараметрического теста позволили заключить, что медианная длина concave-маршрута статистически значимо отличается от медианной длины convex-маршрута со значением p -уровня значимости $p = 1,07 \cdot 10^{-7}$.

Обсуждение (Discussion)

Полученные результаты, свидетельствующие о наличии статистически значимого различия в центральных тенденциях L_{conv} и L_{conc} , могут быть проиллюстрированы рис. 4 и рис. 6. Действительно, в рассматриваемых примерах нередко встречаются пары грозовых очагов вогнутых форм, расположенные таким образом, что построенные вокруг соответствующих им

буферных зон выпуклые оболочки пересекаются, делая пролёт между данными грозовыми очагами невозможным, несмотря на то, что теоретически он допустим в силу выполнения условий (10) и (11) (рис. 4а и 6б). С другой стороны, такой проблемы не возникает в случае применения вогнутых оболочек, которые при определении границы группы из нескольких буферных зон учитывают их выпуклую структуру и более точно передают их форму, что является их очевидным преимуществом: так, маршруты A_3B_3 и A_4B_4 (рис. 4б), а также маршрут AB (рис. 6в) могут беспрепятственно пройти между несколькими буферными зонами вогнутой формы, что позволяет заметно сократить длину маршрута обхода по сравнению с соответствующими маршрутами на рис. 4а и 6б.

Тем не менее, использование для обхода зоны грозовой деятельности concave-стратегии связано и с некоторыми техническими недостатками:

1. Алгоритм построения вогнутой оболочки значительно сложнее, чем алгоритм построения выпуклой оболочки, – построение вогнутой оболочки требует больше времени и больше вычислительных ресурсов, причём тем больше, чем более сложной оказалась конфигурация буферных зон.

2. Из рис. 3 и 6 очевидно, что, в силу усложнения формы вогнутой оболочки по сравнению с выпуклой, на этапе упрощения границ оболочек («Создание графа и нахождение кратчайшего пути», п. 2) алгоритм Дугласа-Пекера выделяет для вогнутых оболочек куда большее по мощности множество точек $\mathcal{H}^{\text{conc}}$ (рис. 3в), нежели множество $\mathcal{H}^{\text{conv}}$ (рис. 3а), выделяемое для выпуклых оболочек, что, в свою очередь, увеличивает число вершин графа, и, следовательно, число рёбер, – так, при увеличении числа вершин в n раз число рёбер графа, требующих валидации («Создание графа и нахождение кратчайшего пути», п. 4), увеличивается в приблизительно n^2 раз: это значительно замедляет процесс валидации рёбер, а также (не настолько значительно) замедляет процесс поиска пути на графике, т. к. теперь он состоит из большего числа вершин и рёбер.

Кроме того, несмотря на безусловные преимущества concave-маршрута по сравнению с convex-маршрутом с точки зрения экономической эффективности полёта, сложно однозначно утверждать о его преимуществе с точки зрения безопасности: несмотря на то, что требования по соблюдению минимальных расстояний (10) и (11) полностью выполнены, маршруты A_3B_3 , A_4B_4 (рис. 4б) и AB (рис. 6в) проходят таким образом, что грозовые очаги остаются по обе стороны от них, – это является нежелательным по некоторым причинам:

1. При пролёте между двумя грозовыми очагами значительно увеличивается вероятность попадания ВС в зону турбулентности и сдвигов ветра [Turbulence characteristics..., 2021, р. 6; Wind shear..., 2024, р. 545], а также возрастает риск поражения ВС молнией или разрядом статического электричества [Hoole et al., 2022, р. 55; In-Flight Measurements..., 2025, р. 110038].

2. Неучёт тенденции развития грозы при выборе маршрута обхода может привести к ситуации, когда в момент пролёта между двумя близко расположенными грозовыми очагами они переместятся настолько близко друг к другу, что будет невозможно выполнить условие (11) о минимальном расстоянии d_{gap} между двумя грозовыми очагами для безопасного пролёта между ними: этот факт свидетельствует о необходимости при определении оптимального маршрута грозы учитывать также прогностическую информацию о предполагаемом изменении конфигурации грозовых очагов в ближайшем будущем [Kovalenko, 2023, p. 554], что выходит за рамки настоящей работы, однако дальнейшее развитие данного вопроса планируется осуществить в рамках будущих исследований. Кроме того, особого внимания заслуживает вопрос экспериментальной проверки предлагаемого метода на ВС [Муравьев, 2022, с. 20].

Как следует из показанного выше, выбор наилучшего маршрута грозы предполагает компромисс между безопасностью и экономической эффективностью полёта [Financial performance..., 2021, p. 149; Operational safety economics..., 2021, p. 105326], однако на настоящий момент не существует способа, позволявшего бы оценить безопасность маршрута, проходящего вблизи зоны грозовой деятельности: этот факт свидетельствует о необходимости создания некоторого критерия, который позволил бы стандартизировать процесс оценки того или иного маршрута обхода грозы с точки зрения безопасности полётов, и, таким образом, постановку задачи нахождения оптимального маршрута обхода можно было бы сформулировать не как «нахождение кратчайшего маршрута обхода среди всех возможных», но как «нахождение наиболее безопасного маршрута обхода среди кратчайших».

Заключение (Conclusion)

Таким образом, в настоящей работе предлагается метод определения оптимального маршрута обхода постоянного во времени (неподвижного) грозового фронта.

1. Математически formalизована задача нахождения оптимального маршрута обхода грозы, основные требования к маршруту обхода представлены в виде задачи условной оптимизации (7)-(11).

2. При подготовке к исследованию получены данные радиолокационных метеорологических наблюдений за грозовыми очагами и сильными ливневыми осадками Финского метеорологического института за период с 2022 по 2024 гг.; данные размещены авторами в открытом доступе и могут использоваться для валидации результатов дальнейших исследований.

3. Предложен метод определения оптимального маршрута обхода как кратчайшего пути на взвешенном графе, вершины которого получаются после упрощения границ минимальных оболочек, построенных вокруг буферных зон грозовых очагов.

4. Предложены две стратегии построения графа – с использованием минимальных выпуклых (convex-маршрут) и вогнутых (concave-маршрут) оболочек. Результаты непараметрического теста Уилкоксона для парных выборок со значением уровня статистической значимости $\alpha = 0,05$ позволили заключить, что медианная длина concave-маршрута статистически значимо отличается от медианной длины convex-маршрута со значением p -уровня значимости $p = 1,07 \cdot 10^{-7}$. В 76 из 100 рассматриваемых случаев длина concave-маршрута оказалась меньше длины convex-маршрута (в среднем на 2%, но в некоторых случаях это значение может достигать и 40%), однако усложнение формы вогнутой оболочки по сравнению с выпуклой приводит к увеличению числа точек, выступающих в качестве вершин графа (увеличении числа вершин в n раз приводит к увеличению числа требующих валидации рёбер графа в приблизительно n^2 раз), что значительно замедляет процесс валидации рёбер.

5. Основной практический результат работы заключается в том, что предоставление членам лётного экипажа ВС ГА на экране навигационного дисплея консультативной информации о предлагаемом оптимальном маршруте обхода грозы может способствовать повышению ситуационной осведомлённости пилотов и оптимизации процесса работы экипажа при выполнении полётов в сложных метеорологических условиях, а также может позволить осуществлять обход грозы в автоматическом режиме с использованием автопилота. Кроме того, предполагается возможность интеграции предложенного метода определения оптимального маршрута обхода грозы в интеллектуальную адаптивную систему поддержки принятия экипажем ВС решений по обходу очагов грозовой деятельности.

Полученные результаты предполагается развить в будущих исследованиях:

1. Пролёт между двумя достаточно близко расположенными грозовыми очагами может быть безопасно реализован только в случае наличия прогностической информации, гарантирующей, что в момент пролёта расстояние между их границами не станет меньше минимально допустимого: для этого необходимо, во-первых, реализовать способ предсказания развития грозовых очагов в ближайшем будущем и, во-вторых, обеспечить учёт этого развития при построении оптимального маршрута обхода.

2. Результаты, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о необходимости создания критерия, позволившего бы обеспечить комплексную оценку того или иного маршрута обхода грозы с точки зрения безопасности полётов, таким образом, чтобы задачу нахождения оптимального маршрута обхода сформулировать не как «нахождение кратчайшего маршрута обхода среди всех возможных», но как «нахождение наиболее безопасного маршрута обхода среди кратчайших».

Библиографический список

Коваленко Г. В. Методология построения методики обучения пилотов по управлению высокоавтоматизированным воздушным судном с использованием когнитивно-информационных преобразователей алгоритмов деятельности / Г. В. Коваленко, И. С. Муравьев, К. А. Куз // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2023. № 1. С. 35-41. EDN: TMSQFR

Коваленко Г. В. Применение Seq2seq-моделей для прогнозирования развития грозовой деятельности с целью повышения уровня ситуационной осведомленности пилота в полете / Г. В. Коваленко, И. А. Ядров // Научный вестник МГТУ ГА. 2025. №1 (28). С. 20-38. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-1-20-38. EDN: QMTDXA

Муравьев И. С. Экспериментальная проверка метода оценки функционирования автоматизированных систем на воздушных судах последнего поколения / И. С. Муравьев // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 3. С. 20-33. DOI: 10.51955/23121327_2022_3_20. EDN: FVZDIY

A concave hull algorithm for scattered data and its applications / J. Xu, Z. Zheng, Y. Feng, X. Qing // 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing. IEEE, 2010. № 5. P. 2430-2433. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CISP.2010.5648277>

A survey of shortest-path algorithms / A. Madkour, W. G. Aref, F. U. Rehman, M. A. Rahman, S. Basalamah // arXiv preprint arXiv:1705.02044. 2017. 26 p.

Agarwal D. A review on comparative analysis of path planning and collision avoidance algorithms / D. Agarwal, P. S. Bharti // Algorithms. 2018. №30. P 31.

Asaeedi S. α -Concave hull, a generalization of convex hull / S. Asaeedi, F. Didehvar, A. Mohades // Theoretical Computer Science. 2017. № 702. P. 48-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2017.08.014>

Bahreinian M. Robust path planning and control for polygonal environments via linear programming / M. Bahreinian, E. Aasi, R. Tron // 2021 American Control Conference (ACC). IEEE, 2021. P. 5035-5042. DOI: <http://dx.doi.org/10.23919/ACC50511.2021.9483196>

Boyd D. D. In-flight decision-making by general aviation pilots operating in areas of extreme thunderstorms // Aerospace Medicine and Human Performance. 2017. № 12 (88). P. 1066-1072. DOI: <http://dx.doi.org/10.3357/AMHP.4932.2017>

Chaerani D. A comprehensive survey on convex analysis in robust optimization / D. Chaerani, E. Rusyaman, K. R. A. Muslihin // Journal of Physics: Conference Series. 2021. № 1 (1722). P. 012075.

Comparative analysis of nonlinear programming solvers: performance evaluation, Benchmarking, and Multi-UAV optimal path planning / G. Lavezzi, K. Guye, V. Cichella, M. Ciarcià // Drones. 2023. № 8 (7). P. 487. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/drones7080487>

Das K. R. A brief review of tests for normality / K. R. Das, A. Imon // American Journal of Theoretical and Applied Statistics. 2016. № 1 (5). P. 5-12.

Dinas S. A literature review of bounding volumes hierarchy focused on collision detection / S. Dinas, J. M. Bañón // Ingeniería y Competitividad. 2015. № 1 (17). P. 49-62.

Eele A. Path-planning with avoidance using nonlinear branch-and-bound optimization / A. Eele, A. Richards // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 2009. № 2 (32). P. 384-394. DOI: <http://dx.doi.org/10.2514/1.40034>

Evans J. K. An Examination of Aviation Accidents Associated with Turbulence, Wind Shear and Thunderstorm. 2013. 42 p.

Financial performance and safety in the aviation industry / P. Fardnia, T. Kaspereit, T. Walker, S. Xu // International Journal of Managerial Finance. 2021. Vol. 17. № 1. P. 138-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJMF-03-2019-0095>

Fultz A. J. Fatal weather-related general aviation accidents in the United States / A. J. Fultz, W. S. Ashley // Physical Geography. 2016. № 5 (37). P. 291-312. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02723646.2016.1211854>

Geospatial Data Analysis: A Comprehensive Overview of Python Libraries and Implications / T. D. Bezabih, M. G. Glaety, D. A. Wako, S. G. Worku // Ethics, Machine Learning, and Python in Geospatial Analysis. 2024. P. 72-93. DOI <http://dx.doi.org/10.4018/979-8-3693-6381-2.ch004>

Gerald B. Parametric and nonparametric tests: A brief review / B. Gerald, T. F. Patson // International Journal of Statistical Distributions and Applications. 2021. № 3 (7). P. 78-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.11648/j.ijsd.20210703.12>

Gultepe I. A review on weather impact on aviation operations: Visibility, wind, precipitation, icing // Journal of Airline Operations and Aviation Management. 2023. № 1 (2). P. 1-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.56801/jaoam.v2i1.1>

Hoole P. R. P. Thunderstorms and Pre-lightning Electrostatics / P. R. P. Hoole, J. Fisher, S. R. H. Hoole // Lightning Engineering: Physics, Computer-based Test-bed, Protection of Ground and Airborne Systems. 2022. P. 51-83. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-94728-6_2

ICAO Safety Report. International Civil Aviation Organization. 2024. 29 p.

In-Flight Measurements of Lightning Locations Using an Aircraft-Mounted Lightning Mapper / Z. Milani, L. Nichman, E. Matida, L. Fleury, M. Wolde, E. Bruning, G. M. McFarquhar, P. Kollias // Aerospace Science and Technology. 2025. P. 110038. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2025.110038>

Jayaram M. A. Convex hulls in image processing: a scoping review / M. A. Jayaram, H. Fleyeh // American Journal of Intelligent Systems. 2016. № 2 (6). P. 48-58.

Kovalenko G. V. Intelligent Adaptive Flight Crew Decision Support System for Thunderstorm Avoidance / G. V. Kovalenko, I. A. Yadrov, K. A. Kuts // Russian Aeronautics. 2023. № 3 (66). P. 552-559. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068799823030170>

Li B. An adaptive rapidly-exploring random tree / B. Li, B. Chen // IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. 2021. № 2 (9). P. 283-294. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JAS.2021.1004252>

Nita I. A. Aviation accidents related to atmospheric instability in the United States (2000–2020) / I. A. Nita, C. Radu, S. Cheval // Theoretical and Applied Climatology. 2024. № 6 (155). P. 5483–5497.

Operational safety economics: Foundations, current approaches and paths for future research / C. Chen, G. Reniers, N. Khakzad, M. Yang // Safety Science. 2021. Vol. 141. P. 105326. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012075>

Park J. S. A new concave hull algorithm and concaveness measure for n-dimensional datasets / J. S. Park, S. J. Oh // Journal of Information Science and Engineering. 2012. № 3 (28). P. 587-600.

Path planning and trajectory planning algorithms: A general overview / A. Gasparetto, P. Boscaroli, A. Lanzutti, R. Vidoni // Motion and Operation Planning of Robotic Systems: Background and Practical Approaches. 2015. P. 3-27. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-14705-5_1

Rachmawati D. Analysis of Dijkstra's algorithm and A* algorithm in shortest path problem / D. Rachmawati, L. Gustin // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. № 1 (1566). 7 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1566/1/012061>

Ravankar A. A. HPPRM: hybrid potential based probabilistic roadmap algorithm for improved dynamic path planning of mobile robots / A. A. Ravankar, A. Ravankar, T. Emaru, Y. Kobayashi // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 221743-221766. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043333>

Saalfeld A. Topologically consistent line simplification with the Douglas-Peucker algorithm // Cartography and Geographic Information Science. 1999. № 1 (26). P. 7-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1559/152304099782424901>

Tan C. S. A comprehensive review of coverage path planning in robotics using classical and heuristic algorithms / C. S. Tan, R. Mohd-Mokhtar, M. R. Arshad // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 119310-119342. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3108177>

Turbulence characteristics of thunderstorms before the first flash in comparison to non-thunderstorms / C. Zhao, D. Zheng, Y. Zhang, X. Liu, Y. Zhang, W. Yao, W. Zhang // Geophysical Research Letters. 2021. Vol. 48. № 18. 10 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2021GL094821>

Wind shear and aircraft aborted landings: A deep learning perspective for prediction and analysis / A. Khattak, J. Zhang, P. W. Chan, F. Chen, A. Hussain, H. Almujibah // *Atmosphere*. 2024. Vol. 15. № 5. P. 545. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos15050545>

Yilmaz N. K. Path planning of autonomous underwater vehicles for adaptive sampling using mixed integer linear programming // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 2008. № 4 (33). P. 522-537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JOE.2008.2002105>

References

Agarwal D., Bharti P. S. (2018). A review on comparative analysis of path planning and collision avoidance algorithms. *Algorithms*. 30: 31.

Asaeedi S., Didehvar F., Mohades A. (2017). α -Concave hull, a generalization of convex hull. *Theoretical Computer Science*. 702: 48-59.

Bahreinian M., Aasi E., Tron R. (2021). Robust path planning and control for polygonal environments via linear programming. 2021 *American Control Conference (ACC), IEEE*. 5035-5042.

Bezabih T. D., Glaety M. G., Wako D. A., Worku S. G. (2024). Geospatial Data Analysis: A Comprehensive Overview of Python Libraries and Implications. *Ethics, Machine Learning, and Python in Geospatial Analysis*. 72-93.

Boyd D. D. (2017). In-flight decision-making by general aviation pilots operating in areas of extreme thunderstorms. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 88(12): 1066-1072.

Chaerani D., Rusyaman E., Muslihin K. R. (2021). A comprehensive survey on convex analysis in robust optimization. *Journal of Physics: Conference Series*. 1722(1): 012075.

Chen C., Reniers G., Khakzad N., Yang M. (2021). Operational safety economics: Foundations, current approaches and paths for future research. *Safety Science*. 141: 105326.

Das K. R., Imon A. (2016). A brief review of tests for normality. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*. 5(1): 5-12.

Dinas S., Bañón J. M. (2015). A literature review of bounding volumes hierarchy focused on collision detection. *Ingeniería y Competitividad*. 17(1): 49-62.

Eele A., Richards A. (2009). Path-planning with avoidance using nonlinear branch-and-bound optimization. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 32(2): 384-394.

Evans J. K. (2013). An Examination of Aviation Accidents Associated with Turbulence, Wind Shear and Thunderstorm. 42 p.

Fardnia P., Kaspereit T., Walker T., Xu S. (2021). Financial performance and safety in the aviation industry. *International Journal of Managerial Finance*. 17(1): 138-165.

Fultz A. J., Ashley W. S. (2016). Fatal weather-related general aviation accidents in the United States. *Physical Geography*. 37(5): 291-312.

Gasparetto A., Boscariol P., Lanzutti A., Vidoni R. (2015). Path planning and trajectory planning algorithms: A general overview. *Motion and Operation Planning of Robotic Systems: Background and Practical Approaches*. 3-27.

Gerald B., Patson T. F. (2021). Parametric and nonparametric tests: A brief review. *International Journal of Statistical Distributions and Applications*. 7(3): 78-82.

Gultepe I. (2023). A review on weather impact on aviation operations: Visibility, wind, precipitation, icing. *Journal of Airline Operations and Aviation Management*. 2(1): 1-44.

Hoole P. R. P., Fisher J., Hoole S. R. H. (2022). Thunderstorms and Pre-lightning Electrostatics. *Lightning Engineering: Physics, Computer-based Test-bed, Protection of Ground and Airborne Systems*. 51-83.

ICAO Safety Report. (2024). International Civil Aviation Organization. 29 p.

Jayaram M. A., Fleyeh H. (2016). Convex hulls in image processing: a scoping review. *American Journal of Intelligent Systems*. 6(2): 48-58.

Khattak A., Zhang J., Chan P. W., Chen F., Hussain A., Almujibah H. (2024). Wind shear and aircraft aborted landings: A deep learning perspective for prediction and analysis. *Atmosphere*. 15(5): 545.

Kovalenko G. V., Muravev I. S., Kuts K. A. (2023). Methodology for training pilots to control a highly automated aircraft using cognitive-information converters of activity algorithms [Metodologiya postroeniya metodiki obucheniya pilotov po upravleniyu vysokoavtomatizirovannym vozдушным судном с использованием когнитивно-информационных преобразователей алгоритмов деятельности]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Aeronautical engineering [Izvestiya vysshikh uchebnyh zavedenij. Aviacionnaya tekhnika]. 1: 35-41. (In Russian)

Kovalenko G. V., Yadrov I. A. (2025). Application of Seq2seq models for predicting the development of thunderstorm activity to enhance pilot situational awareness in flight [Primenenie Seq2seq-modelej dlya prognozirovaniya razvitiya grozovoj deyatel'nosti s cel'yu povysheniya urovnya situacionnoj osvedomlennosti pilota v polete]. Scientific Bulletin of MSTU GA [Nauchnyj vestnik MGTU GA]. 28(1): 20-38. (In Russian)

Kovalenko G. V., Yadrov I. A., Kuts K. A. (2023). Intelligent Adaptive Flight Crew Decision Support System for Thunderstorm Avoidance. Russian Aeronautics. 66(3): 552-559.

Lavezzi G., Guye K., Cichella V., Ciarcia M. (2023). Comparative analysis of nonlinear programming solvers: performance evaluation, Benchmarking, and Multi-UAV optimal path planning. Drones. 7(8): 487.

Li B., Chen B. (2021). An adaptive rapidly-exploring random tree. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. 9(2): 283-294.

Madkour A., Aref W. G., Rehman F. U., Rahman M. A., Basalamah S. (2017). A survey of shortest-path algorithms. arXiv preprint arXiv:1705.02044. 26 p.

Milani Z., Nichman L., Matida E., Fleury L., Wolde M., Bruning E., McFarquhar G. M., Kollas P. (2025). In-Flight Measurements of Lightning Locations Using an Aircraft-Mounted Lightning Mapper. Aerospace Science and Technology. 110038.

Muravyev I. S. (2022). Experimental test of the method for evaluating the functioning of automated systems on latest-generation aircraft [Eksperimental'naya proverka metoda ocenki funkcionirovaniya avtomatizirovannyh sistem na vozдушных судах последнего поколения]. Crede Experto: transport, society, education, language [Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык]. 3: 20-33. (In Russian)

Nita I. A., Radu C., Cheval S. (2024). Aviation accidents related to atmospheric instability in the United States (2000–2020). Theoretical and Applied Climatology. 155(6): 5483–5497.

Park J. S., Oh S. J. (2012). A new concave hull algorithm and concaveness measure for n-dimensional datasets. Journal of Information Science and Engineering. 28(3): 587-600.

Rachmawati D., Gustin L. (2020). Analysis of Dijkstra's algorithm and A algorithm in shortest path problem. Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing. 1566(1): 7.*

Ravankar A. A., Ravankar A., Emara T., Kobayashi Y. (2020). HPPRM: hybrid potential based probabilistic roadmap algorithm for improved dynamic path planning of mobile robots. IEEE Access. 8: 221743-221766.

Saalfeld A. (1999). Topologically consistent line simplification with the Douglas-Peucker algorithm. Cartography and Geographic Information Science. 26(1): 7-18.

Tan C. S., Mohd-Mokhtar R., Arshad M. R. (2021). A comprehensive review of coverage path planning in robotics using classical and heuristic algorithms. IEEE Access. 9: 119310-119342.

Xu J., Zheng Z., Feng Y., Qing X. (2010). A concave hull algorithm for scattered data and its applications. 3rd International Congress on Image and Signal Processing, IEEE. 5: 2430-2433.

Yilmaz N. K. (2008). Path planning of autonomous underwater vehicles for adaptive sampling using mixed integer linear programming. IEEE Journal of Oceanic Engineering. 33(4): 522-537.

Zhao C., Zheng D., Zhang Y., Liu X., Zhang Y., Yao W., Zhang W. (2021). Turbulence characteristics of thunderstorms before the first flash in comparison to non-thunderstorms. Geophysical Research Letters. 48(18): 10.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРЕССОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

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 Большецворская,
orcid.org/0000-0002-1425-7398,
доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, д. 20
Москва, 125493, Россия
l.bolshedvorskaya@mstuca.ru

Аннотация. Обзор публикаций и результатов научных исследований в авиационной и аэрокосмической отраслях свидетельствует о недостаточности разработок и рекомендаций по применению статистических методов для оценки качества и надежности пиротехнических устройств, входящих в состав таких важных систем, как двигательные установки, системы разделения, элементы конструкций летательных аппаратов и других устройств. В данной статье представлен методический подход к проведению статистической оценки качества прессованных деталей, по результатам которой производителям сложных технических агрегатов и комплектующих изделий предоставляется возможность сократить количество брака и переделок, оптимизировать производственный процесс и повысить производительность труда. Кроме этого, стабильное качество комплектующих, подтвержденное результатами статистического анализа, позволит обеспечить надежную эксплуатацию готовых изделий, продлевая их срок службы.

Ключевые слова: таблицы классификации контролируемых параметров, статистический анализ, качество прессованных деталей, сокращение количества дефектных прессдеталей, планы статистического приемочного контроля по количественному и альтернативному признаку.

STATISTICAL METHODS FOR INSPECTION OF PRESSED PARTS

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
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
l.bolshedvorskaya@mstuca.ru*

Abstract. A review of publications and research results in the aviation and aerospace industries indicates a lack of development and recommendations for the use of statistical methods to assess the quality and reliability of pyrotechnic devices that are part of such important systems as propulsion systems, separation systems, structural elements of aircraft and other devices. The article presents a methodological approach to conducting a statistical assessment of the quality of pressed parts, as a result of which manufacturers of complex technical units and components will be given the opportunity to reduce the number of defects and alterations, optimize the production process and increase labor productivity. In addition, the stable quality of components confirmed by the results of statistical analysis will ensure reliable operation of finished products extending their service life.

Keywords: tables of classification of controlled parameters, statistical analysis, quality of pressed parts, reduction of the number of defective pressed parts, plans of statistical acceptance control on a quantitative and alternative basis.

Введение

Статистические методы давно и весьма убедительно доказали свою применимость в сфере мониторинга, контроля, прогнозирования и совершенствования технологических процессов производства, применяемых в различных отраслях¹ [Базин и др., 2013; Бриш и др., 2017; Ефремов и др., 2021; Кулуев и др., 2019; Лемешко и др., 2023; Стабилизация..., 2007].

Авиационная и аэрокосмическая отрасли не исключение, но, тем не менее, можно отметить недостаточность разработок и рекомендаций по применению статистических методов для оценки качества и надежности изделий в конструкциях современных воздушных судов и космических аппаратов, к которым относятся пиротехнические устройства, входящие в состав таких важных систем, как двигательные установки, системы разделения, элементы конструкций летательных аппаратов и других устройств².

Актуальность применения пиротехнических средств в авиации обострилась на фоне активного использования беспилотных авиационных систем в лесном хозяйстве для мониторинга возникновения и распространения лесных пожаров, поиска облаков, способных обеспечить пожаротушение путем распыления с помощью пиротехнических устройств частиц реагентов, вызывающих локальные осадки [Новые способы..., 2024].

Особую роль пиротехнические устройства играют в конструкции космического аппарата, обеспечивая крепление и последующее отделение

¹Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. 2 изд. М.: Высшая школа. 2000. 480 с.

²Детали механизмов авиационной и космической техники: учебное пособие для вузов по направлению «Авиация и ракетостроение» / Ю. М. Климов и др.; под ред. Ю. М. Климова, Е. А. Самойлова. М.: Изд-во МАИ, 1996. 341 с.

отработанных частей, а также раскрытие антенн, панелей солнечных батарей и др. Надежная работа указанных устройств, технологической особенностью создания которых являются процессы прессования и высверловки, создают условия для эффективного выполнения программ полета, предотвращая аварийные ситуации.

Пиропатроны, чаще всего, используются в системах, являющихся одноразовыми, например, срабатывание подушки безопасности, автоматическое пожаротушение, дымовое техническое назначение и др. Тем самым, ограничивается возможность получения достоверной информации для последующего анализа возникающих сбоев, отклонений в качестве и надежности данного изделия по фактам свершившихся событий в эксплуатационных условиях.

В данной статье показаны результаты экспериментального исследования на примере процесса изготовления прессованных деталей, контролируемых относительно параметров высоты и глубины высверловки посредством применения статистических методов, таких как статистический анализ технологического процесса, определение настройки, оценки стабильности и точности процесса прессования, а также разработки планов статистического приемочного контроля параметров готовых изделий.

Материалы и методы

Анализируя результаты научных достижений в исследуемой области, можно выделить несколько практических выводов, которые могут быть использованы в данной работе [Редько и др., 2011; Емельянов и др., 2017]. Например, в публикации авторов о применении статистических методов для анализа дефектов подчеркивается, что существенное влияние на качество изделий оказывают структурный состав материалов, включая уровень сопротивления механическому воздействию, повышенные оптические свойства, степень электропроводности, уровень сцепления различных материалов при горячем прессовании и др. [Контроль качества..., 1974; Некрасов и др., 2019; Равич и др., 2019].

В таблице 1 представлен обзорный анализ существующих и пользующихся наибольшей популярностью статистических методов для оценки качества прессования.

Таблица 1 – Основные группы статистических методов оценки качества прессования

Группы статистических методов	Направленность метода	Область практического применения
Описательная статистика	Расчет основных статистических показателей (среднее значение, медиана, стандартное отклонение, размах) для ключевых параметров деталей	Получение общей картины о стабильности процесса прессования, выявление отклонений от заданных значений, определение разброса параметра

Группы статистических методов	Направленность метода	Область практического применения
	(размеры, вес, твердость, плотность и т.д.)	
Контрольные карты	Графическое представление изменения статистических показателей во времени. Позволяют выявить тенденции, циклические изменения и выход процесса из-под контроля	Раннее обнаружение причин нестабильности, выявление необходимых корректирующих действий. Позволяют оперативно реагировать на отклонения и предотвращать выпуск бракованной продукции
Гистограммы	Графическое представление распределения значений определенного параметра. Позволяет визуализировать форму распределения, определить его симметричность, наличие выбросов	Оценка соответствия фактического распределения параметра заданному, выявление потенциальных проблем с качеством, связанных с ненормальным распределением
Анализ возможностей процесса	Оценка стабильности процесса прессования стабильно производить детали, соответствующие заданным допускам. Рассчитываются индексы возможностей процесса	Определение потенциальной возможности процесса, сравнение различных процессов прессования, оценка влияния изменений в процессе на его стабильность
Регрессионный анализ	Метод организации серии экспериментов для выявления наиболее важных факторов, влияющих на качество прессования и оптимизацию параметров процесса	Оптимизация параметров процесса для достижения наилучших показателей качества. Позволяет прогнозировать качество деталей на основе известных параметров процесса
Планирование эксперимента	Организация серии экспериментов с учетом наиболее значимых факторов, влияющих на качество прессования	Быстрое и эффективное определение оптимальных параметров процесса, минимизация затрат на проведение эксперимента
Анализ видов и последствий отказов	Систематический подход к выявлению потенциальных отказов в процессе прессования, оценка их серьезности, вероятности возникновения и возможности обнаружения	Предотвращение отказов, повышение надежности процесса и улучшения качества продукции. Позволяет сосредоточить усилия на устранение наиболее критических рисков
Статистический приемочный контроль	Метод контроля качества партии деталей на основе выборочной проверки. Позволяет принять решение о приемке или отклонении партии на основе результатов проверки выборочных образцов	Контроль качества входящих материалов или готовой продукции, минимизация затрат на контроль

Но, тем не менее, несмотря на значительное развитие статистических методов контроля качества продукции, научно-технические достижения и растущие потребности к созданию новых высокотехнологичных комплектующих, готовых изделий для поддержания работоспособности и надежности авиационных, космических и других производств выдвигают ряд новых малоизученных задач, одной из которых является задача статистического контроля качества прессованных деталей.

Поэтому выбор и обоснование применимости статистических методов в зависимости от изменений достижений научно-технического прогресса и условий производства, применяемых сырья и материалов, компетентности кадров требуют более детального исследования.

Результаты

Анализ точностных характеристик процесса изготовления прессованных деталей (прессдеталей), включающий определение стабильности, оценки коэффициента точности, корректировки уровня настройки проводился по схеме, включающей несколько этапов [Херсонский, 2011; Херсонский и др., 2008].

На первом этапе от объема каждой выработки в течение пяти смен отбиралось по 100 прессованных деталей, у которых с точностью до 0,1 мм замерялись высота и глубина вы сверловки. По результатам замеров определялись средние арифметические значения параметров по формуле:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} x_{ij}, \quad (1)$$

где: x_{ij} – значение исследуемого параметра i -той прессованной детали в j -той смене ($i = 1, 2, \dots, 100; j = 1, 2, \dots, 5$).

Средние квадратические отклонения значений исследуемых параметров определялись по формуле:

$$\bar{S}_j = \frac{1}{100} \sqrt{\sum_{i=1}^{100} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}. \quad (2)$$

Далее для настройки процесса произведены вычисления среднего значения из группы пяти выборок по исследуемому параметру по формуле:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \bar{x}_j. \quad (3)$$

Стабильность процесса по исследуемому параметру определялась по критерию Кокрена [Закс, 1976] по формуле:

$$G = \frac{\bar{S}_{jmax}^2}{\bar{S}_1^2, \bar{S}_2^2, \bar{S}_3^2, \bar{S}_4^2, \bar{S}_5^2}, \quad (4),$$

где: S_{jmax}^2 – максимальная дисперсия из 5 выборочных дисперсий $\bar{S}_1^2, \bar{S}_2^2, \bar{S}_3^2, \bar{S}_4^2, \bar{S}_5^2$, определяемых по формуле $\bar{S}_j^2 = (\bar{S}_j)^2$.

Расчётное значение критерия Кокрена G сравнивалось с критическим значением $G_{kp} = 0,26$, взятым из таблиц работы [Закс, 1976] при общепринятом уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $K=5$ (число выборок) и $\gamma = n-1=99$.

При выполнении неравенства $G < G_{kp}$ процесс считается стабильным, в противном случае – нестабильным.

Следующий этап – расчет коэффициента точности процесса K_T , который определялся по формуле:

$$K_T = \frac{6 \bar{\bar{S}}}{\Delta}, \quad (5)$$

где: $\bar{\bar{S}}$ – среднее квадратическое отклонение процесса по всем выборкам для каждого параметра прессованной детали;

Δ – чертежное поле допуска по параметрам высоты и глубины запрессовки; q – средний уровень качества раздельно по параметрам глубины вы сверловки (L) и высоты (H), определялся по формулам нормального закона распределения [Закс, 1976]:

$$q_L = 1 - \{F\left(\frac{L_2 - \bar{\bar{L}}}{\bar{\bar{S}}_L}\right) - \left(\frac{L_1 - \bar{\bar{L}}}{\bar{\bar{S}}_L}\right)\}, \quad (6)$$

и

$$q_H = 1 - \{F\left(\frac{U - \bar{\bar{H}}}{\bar{\bar{S}}_H}\right) - \left(\frac{P - \bar{\bar{H}}}{\bar{\bar{S}}_H}\right)\}, \quad (7)$$

где: L_1 – нижнее значение поля допуска глубины вы сверловки по чертежу на прессдеталь;

L_2 – верхнее значение поля допуска глубины вы сверловки по чертежу на прессдеталь;

$\bar{\bar{L}}$ – среднее арифметическое значение глубины вы сверловки по информации по пяти выборкам;

$\bar{\bar{S}}_L$ – среднее квадратическое отклонение значения глубины вы сверловки по информации по пяти выборкам;

U – верхнее граничное значение высоты прессдетали по чертежу;

P – нижнее граничное значение высоты прессдетали по чертежу;

$\bar{\bar{H}}$ – среднее арифметическое значение высоты по информации по пяти выборкам;

$\overline{\overline{S}_H}$ – среднее квадратическое отклонение значений высоты прессдетали по информации по пяти выборкам.

Проверка соответствия экспериментальных данных значений параметров глубины вы сверловки и высоты прессдетали по критерию Пирсона χ^2 [Закс, 1976] показала соответствие их распределений нормальному закону.

Результаты статистического анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистического анализа процесса изготовления прессованных деталей

Параметры выборки	Номер выборки, j				
	1	2	3	4	5
Выборочное среднее арифметическое значение параметра высоты прессованных деталей, \bar{H}_j , мм	51,3	51,2	51,3	51,1	51,3
Выборочная дисперсия значения параметра высоты прессованных деталей, \overline{S}_{Hj}^2 , мм^2	0,5782	0,5297	9,4013	0,4189	0,5167
Выборочное среднее арифметическое значение параметра глубины вы сверловки прессованных деталей, \bar{L}_j , мм	64,6	64,6	64,6	64,6	64,5
Выборочная дисперсия значения параметра глубины вы сверловки прессованных деталей, \overline{S}_{Lj}^2 , мм^2	0,0278	0,0309	0,0489	0,0448	0,0487

Результаты расчётов определения точностных показателей процессов изготовления прессованных деталей по параметрам: высоте и глубине вы сверловки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов определения точностных показателей процессов изготовления прессованных деталей по параметрам: высоте и глубине вы сверловки

Допустимые значения параметров прессованных деталей	Значения критерия Кокрена, G	Критически е значения критерия Кокрена, G_{kp}	Коэффициент точности процесса в, КТ	Средние арифметически е значения параметров прессдеталей по пяти выборкам, \bar{H}, \bar{L}	Средние квадратические отклонения по пяти выборкам, $\overline{\overline{S}_H}, \overline{\overline{S}_L}$	Уровень качества, $q_H, q_L, (\%)$
$50,0 \leq H \leq 54,0$	0,24	0,26	1,14	$\bar{H} = 51,25$	$\overline{\overline{S}_H} = 0,76$	$q_H = 3,6$
$62,0 \leq L \leq 68,0$	0,25	0,26	0,20	$\bar{L} = 64,6$	$\overline{\overline{S}_L} = 0,02$	$q_L = 0,0001$

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод, что процесс изготовления прессованных деталей относительно параметров высоты и глубины вы сверловки стабилен, так как $G_H < 0,26$ и $G_L < 0,26$.

Дискуссия

Для рассматриваемых вариантов изготовления пресс деталей в проведенном исследовании с помощью методов экспертных оценок было установлено, что выход значений конкретных параметров за пределы чертежного поля допуска может привести к потере работоспособности изделий. Для таких параметров ОСТ 84-612-79 устанавливает Π_B категорию значимости, поэтому в таблице классификации параметров пресс деталей были определены приемлемые (q_u) и предельные (q_m) уровни качества для Π_B категории значимости: глубина вы сверловки – $q_u = 0,65\%$ и $q_m = 5,5\%$, высота прессованной детали – $q_u = 0,65\%$ и $q_m = 5,5\%$.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что технологический процесс изготовления пресс деталей относительно высоты не удовлетворяет требованиям по точности (для нормального процесса должно быть $K_t < 1,0$) и требует дополнительной наладки. Технологический процесс изготовления пресс деталей относительно глубины вы сверловки удовлетворяет требованиям по точности, поэтому может быть переведен на статистический приемочный контроль (СПК).

Для контроля параметров анализируемых деталей с учетом полученной информации в качестве примера были использованы планы по количественному (по ГОСТ 20736-75²²) и по альтернативному признакам (по ОСТ 84-612-79.)

Для рассматриваемого примера это значение составило $\overline{\overline{S_L}} = 0,02$ (определен по пяти выборкам, поэтому известно заранее).

В работе предложен алгоритм выбора плана контроля (нормального, усиленного или ослабленного) по стандарту на примере параметра глубины вы сверловки пресс детали.

Из стандарта выбирается уровень контроля III, который применяют в том случае, если приемка партий, не соответствующих установленным требованиям, приводит к большим потерям или стоимость процедуры контроля незначительная.

Из таблицы 1 стандарта выбирается рекомендуемое значение приемочного уровня качества $q_u = 0,65\%$, в стандарте он обозначен как AQL.

Из таблицы 2 стандарта для объема сменной выработки $N = 1300$ шт. выбирается код выборки «L» для III уровня контроля. По коду выборки «L» и приемочному уровню качества q_u (AQL) = 0,65% по таблице 2 стандарта для усиленного контроля находят объем выборки $n = 21$.

²² Государственный стандарт Союза ССР. Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Планы контроля ГОСТ 20736-75 (ОСТ СЭВ 1672-79). Государственный комитет СССР по стандартам. Москва. Изд-во Стандартов, 1982.

Для приемки прессдеталей по параметру глубины вы сверловки от сменной выработки, равной $N = 1300$ шт., случайным образом отбирается выборка, соответствующая объему $n = 21$. У отобранных прессдеталей с точностью до 0,1 мм замеряется глубина вы сверловки и определяется среднее арифметическое значение по формуле (1). Далее, в соответствии с алгоритмом и проведенными расчетами формулируется вывод о принятии партии прессдеталей по параметру глубины запрессовки.

Для практического применения данного подхода рекомендуется переходить от одного плана контроля к другому в зависимости от изменения входного уровня качества в соответствии со следующими правилами:

– переход от нормального контроля к усиленному следует осуществлять в том случае, если при нормальном контроле две из пяти последовательных партий прессдеталей были забракованы при первом предъявлении. Переход к усиленному контролю означает, что средний входной уровень качества проконтролированных партий прессдеталей превысил установленное значение q_n (AQL);

– переход от усиленного контроля к нормальному следует осуществлять только в тех случаях, если при усиленном контроле пять последовательных партий прессдеталей принимаются с первого предъявлении. Если это правило не выполняется и необходимо сохранить в силе усиленный контроль для десяти последовательных партий прессдеталей, при этом выборочный контроль прекращается. Следует выяснить причины ухудшения качества прессдеталей и принять меры по устранению этих причин;

– переход от нормального контроля к ослабленному следует осуществлять в том случае, если одновременно соблюдаются следующие условия: при нормальном контроле последние десять партий прессдеталей были приняты с первого предъявлении; технологический процесс изготовления прессдеталей по параметру глубины запрессовки является стабильным и выпуск прессдеталей ритмичен;

– переход от ослабленного контроля к нормальному следует осуществлять в том случае, если выполнено хотя бы одно из следующих условий: очередная партия была забракована при первом предъявлении; нарушена стабильность и ритмичность выпуска прессдеталей.

При желании можно применять планы СПК по количественному признаку, используя рекомендации приведенных стандартов: ГОСТ Р ИСО 3951-1-2007²³, ГОСТ Р ИСО 3951-2-2009²⁴, ГОСТ Р ИСО 3951-3-2009²⁵.

В качестве примера рассмотрим возможность выбора планов контроля для параметра глубины вы сверловки пресс детали по планам СПК по альтернативному признаку.

При альтернативном признаке контролируемого параметра технологического процесса изготовления пресс деталей в процедурах контроля принимают одно из двух решений: пригодна пресс деталь к дальнейшему использованию или нет, т. е. делят пресс детали на годные или негодные (альтернативы).

Контроль по альтернативному признаку имеет ряд преимуществ по сравнению с контролем по количественному признаку. Это обусловлено меньшим объемом вычислений и упрощением процедур организации данного процесса на производстве.

К недостаткам контроля по альтернативному признаку можно отнести требование к обеспечению значительного количества выборок для контроля, так как малая часть информации, содержащейся в наблюдениях, ограничивает достоверность получаемого результата.

Представленная методика не зависит от закона распределения контролируемых параметров и поэтому является более универсальной, тогда как в большинстве случаев по количественному признаку предполагается, что измеряемые параметры имеют распределение, близкое к нормальному, что не всегда соответствует действительности.

В рассматриваемом случае уже показано, что оба контролируемых параметра пресс детали распределяются по нормальному закону. На практике можно воспользоваться корректируемыми планами контроля (усиленными, нормальными и ослабленными) по альтернативному признаку из стандарта ОСТ 84 612-79.

Возможности применимости плана контроля качества пресс детали по параметру глубины вы сверловки продемонстрируем на примере объема партии $N = 1300$ шт.

Из таблиц классификации параметров для данной пресс детали и контролируемых параметров определяют, что:

- глубина вы сверловки – II_Б категории имеет приёмочный уровень качества $q_u = 0,65\%$ и браковочный уровень качества $q_m = 5,50\%$.

²³ ГОСТ Р ИСО 3951-1-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 1. Требования к одноступенчатым планам на основе приемлемого качества для контроля последовательных партий по единственной характеристики и единственному AQL. Дата введения 2008-09-01.

²⁴ ГОСТ Р ИСО 3951-2-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 2. Общие требования к одноступенчатым планам на основе AQL при контроле последовательных партий по независимым характеристикам качества. Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2011.

²⁵ ГОСТ Р ИСО 3951-3-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 3. Двухступенчатые схемы на основе AQL для контроля последовательных партий. Дата введения 2010-12-01.

Планы контроля для параметра глубины вы сверловки находят из таблицы 1 настоящего стандарта на пересечении строки для объемов партий $N = 1300$ и столбцов соответствующих уровней качества. Для ведения СПК устанавливаются три уровня контроля:

- усиленный контроль (планы контроля $\frac{n_1}{c_1} = \frac{200}{2}$);
- нормальный контроль (планы контроля $\frac{n_2}{c_2} = \frac{200}{3}$);
- облегченный контроль (планы контроля $\frac{n_3}{c_3} = \frac{80}{3}$),

где: n_1, n_2, n_3 , – объемы выборок для усиленного, нормального и облегченного контроля, соответственно;

c_1, c_2, c_3 – приемочные числа для усиленного, нормального и облегченного контроля, соответственно.

Обычно начинают с усиленного контроля при выполнении условия:

$\bar{q}_{ex} \leq q_n$, где: \bar{q}_{ex} – входной уровень качества пресс деталей относительно параметра глубины вы сверловки.

Расчет среднего входного уровня качества \bar{q}_{ex} производится по параметру глубины вы сверловки пресс деталей по формуле:

$$\bar{q}_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{\sum_{i=1}^k N_i}, \quad (8)$$

где: $k = 10$ – число последних подряд изготовленных и проверенных партий или число смен непрерывного ведения технологического процесса прессования пресс деталей;

N_i – количество пресс деталей в i -той партии или сменной выработке;

D_i – количество дефектных пресс деталей по параметрам глубины вы сверловки.

Статистический приемочный контроль проводится по следующим решающим правилам:

– от партии объемом $N = 1300$ случайным образом отбирается выборка объемом $n_1 = 200$ пресс деталей;

– проводится контроль по параметру глубины вы сверловки пресс деталей;

– если число обнаруженных в выборке дефектных пресс деталей d по параметру равно или менее приемочного числа c_1 ($d \leq 2$), то партия по этим параметрам принимается;

– если число обнаруженных в выборке дефектных пресс деталей d по параметру больше приемочного числа c_1 ($d > 2$), то партия по этим параметрам

бракуется и возвращается в цех (изготовителю) для разбраковки посредством проведения сплошного контроля.

Переход от одного плана контроля к другому в зависимости от изменения входного уровня качества производится в соответствии с правилами, приведенными в стандарте:

- переход от усиленного контроля к нормальному производится при принятии по контролируемому параметру с первого предъявления не менее пяти подряд изготовленных партий;
- переход от нормального контроля к облегченному производится при принятии по контролируемому параметру с первого предъявления не менее тридцати подряд изготовленных партий прессдеталей. При этом технологический процесс должен быть стабильным, а выпуск продукции ритмичным;
- переход от облегченного контроля к нормальному производится:
- при забраковании по контролируемому параметру предъявленной партии прессдеталей;
- при нарушении технологического процесса или ритмичности выпуска прессдеталей.

Переход от нормального контроля к усиленному производится при забраковании по контролируемому параметру трех из пятнадцати подряд изготовленных партий прессдеталей.

Если при применении усиленного контроля не осуществлен переход на нормальный контроль на десяти подряд изготовленных партиях прессдеталей, то необходимы переход на сплошной контроль по контролируемому параметру, отработка и анализ технологического процесса.

Возобновление сплошного статистического приемочного контроля по контролируемому параметру разрешается при выполнении требований, при которых средний входной уровень качества соответствует условию $\bar{q}_{\text{вх}} \leq q_{\text{н}}$ и определен не менее, чем по пятнадцати подряд изготовленным, проверенным сплошным контролем и принятым с первого предъявления партиям прессдеталей.

При сравнении объемов выборок для контроля по количественному признаку (усиленный контроль $n = 21$ прессдеталей) и по альтернативному признаку (усиленный контроль $n = 200$ прессдеталей) объем выборок для контроля по количественному признаку почти в 10 раз меньше.

Заключение

В результате проведенного статистического анализа технологического процесса изготовления прессдетали относительно параметров высоты и глубины вы сверловки продемонстрирована практическая применимость статистических методов, позволяющих определить настройку, стабильность и точность процесса производства изделия относительно этих параметров.

Разработаны и рекомендованы для внедрения в производство планы статистического приемочного контроля по количественному и альтернативному признаку глубины вы сверловки прессдетали, что позволит

производителям снизить трудоемкость ее контроля и значительно сократить количество брака и производственные затраты.

Приведенные в статье статистические методы контроля различных параметров изделий и комплектующих к ним могут применяться в авиационной, космической и других отраслях промышленности. Они являются мощным инструментом для оценки и улучшения качества прессования деталей.

Выбор конкретного метода зависит от целей анализа, доступных данных и специфики процесса. Внедрение статистических методов в процесс прессования позволяет обеспечить его стабильность, снизить количество дефектов и повысить качество продукции.

Для успешного применения статистических методов необходимо обучение персонала, использование специализированного программного обеспечения и проведения постоянного мониторинга и анализа данных.

Библиографический список

Базин С. А. Анализ проблем применения статистических методов контроля качества при производстве крепежных изделий / С. А. Базин, К. В. Подмастерьев // Перспективное развитие науки, техники и технологий : Материалы 3-й Международной научно-практической конференции: в 3 томах, Курск, 18 октября 2013 года / Ответственный редактор Горохов А.А.. Том 1. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2013. С. 182-184. EDN THDUMX.

Бриш В. Н. Применяемость статистических методов анализа и контроля качества продукции машиностроения на разных этапах производства / В. Н. Бриш, А. В. Старостин, Ю. Р. Осипов // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-4. С. 719-724. EDN XIIITVZ.

Емельянов А. А. Моделирование и статистический контроль рисков процесса закупки / А. А. Емельянов, Ю. А. Родионова, А. Л. Савкин // Автоматизация процессов управления. 2017. № 2 (48). С. 49-59. EDN YUKKXH.

Ефремов А. Н. Применение статистических методов для анализа дефектов кадмievого покрытия на стали / А. Н. Ефремов, С. В. Юдин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 332-337. DOI 10.24412/2071-6168-2021-12-332-338. EDN HSBWTW.

Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс; перевод с нем. В. Н. Варыгина. М.: Изд-во «Статистика», 1976. 598 с.

Контроль качества продукции машиностроения. Под редакцией доктора философии А. Э. Артес. Москва: Изд-во стандартов, 1974. 447 с. (на русском языке)

Кулуев Р. Р. Статистические методы контроля и управления качеством продукции / Р. Р. Кулуев, Д. А. к. Кадирова // European research: innovation in science, education and technology : Collection of scientific articles XLVIII International correspondence scientific and practical conference, London, United Kingdom, 24–25 января 2019 года. London, United Kingdom: PROBLEMS OF SCIENCE, 2019. С. 15-20. EDN ZGNPST.

Лемешко Е. Статистические методы как инструмент эффективного управления производством готовых металлических изделий / Е. Лемешко, В. В. Ященко // Актуальные аспекты модернизации российской экономики : X Всероссийская заочная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 25 декабря 2023 года. Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2023. С. 101-106. EDN MKCHBY.

Некрасов Р. Ю. Концептуальная модель управления геометрической точностью деталей, обрабатываемых на станках / Р. Ю. Некрасов, Ю. А. Темпель // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21 № 3. С. 6-16. DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-6-16. EDN PZJVCR.

Новые способы применения пиротехнических средств вызывания осадков для тушения лесных пожаров / С. В. Брыксин, А. К. Муранов, Д. А. Киселев [и др.] // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2024. № 5. С. 27-33. DOI 10.17223/29491665/5/4. EDN PGQBCY.

Равич Г. С. Выборочный контроль качества изделий серийного производства на основе метода статистической оценки параметров / Г. С. Равич, В. Г. Падера // Методы менеджмента качества. 2019. № 8. С. 22-26. EDN TDFKXX.

Редько Л. А. Проблемы применения статистических методов контроля и управления качеством / Л. А. Редько, Е. С. Пескова // Вестник науки Сибири. 2011. № 1 (1). С. 203-205. EDN OXWQGN.

Стабилизация механических свойств в изделиях тяжелого машиностроения / Д. В. Руцкий, С. И. Жульев, Б. А. Сивак, Ю. М. Шелухина, А. В. Мозговой // Тяжелое машиностроение. 2007. № 12. С. 26-28.

Херсонский Н. С. Статистические методы в задачах менеджмента разработки, проектирования, производства и обслуживания изделий различного назначения. М.: «Эко-Пресс», 2011. 336 с.

Херсонский Н. С. Статистические методы оценки точностных характеристик размерных цепей изделий и технологических процессов их изготовления / Н. С. Херсонский, В. В. Прошин; под редакцией А. В. Смольякова, генерал-майора, канд. воен. наук, академика Академии проблем качества РФ. М.: Типогр. ФГУП НИИ «Геодезия», 2008. 83 с.

References

Bazin S. A., Podmasteriyev K. V. (2013). Analysis of the problems of applying statistical methods of quality control in the production of fasteners. *Prospective development of science, technology and technology*. № 1: 182-184. (in Russian)

Brish V. N., Starostin A. V., Osipov Yu. R. (2016). Applicability of statistical methods of analysis and quality control of mechanical engineering products at different stages of production. *Fundamental research*. 12-4: 719-724. (in Russian)

Bryksin S. V., Muranov A. K., Kiselev D. A. [et al.]. (2024). New methods of using pyrotechnic means of causing precipitation to extinguish forest fires. *Life safety technologies*. 5: 27-33. (in Russian)

Efremov A. N., Yudin S. V. (2021). Application of statistical methods for analyzing defects of cadmium coating on steel. *Izvestia of Tula State University. Technical sciences*. 12: 332-337. (in Russian)

Emelyanov A. A., Rodionova Yu. A., Savkin A. L. (2017). Modeling and statistical control of procurement process risks. *Automation of management processes*. 2(48): 49-59. (in Russian)

Khersonsky N. S. (2011). Statistical methods in the tasks of management of the development, design, production and maintenance of products for various purposes. Moscow: «Eco-Press», 2011. 336 p. (in Russian)

Khersonsky N. S., Proshin V. V. (2008). Statistical methods for assessing the accuracy characteristics of dimensional chains of products and technological processes of their manufacture. Moscow: Typogr. FSUE Research Institute «Geodesy», 2008. 83 p. (in Russian)

Kuluev R. R., Kadirova D. A. K. (2019). Statistical methods of product quality control and management. *European research: innovation in science, education and technology*. 15-20. (in Russian)

Lemeshko E., Yashchenko V. V. (2023). Statistical methods as a tool for effective management of the production of finished metal products. *Actual aspects of the modernization of the Russian economy*. 101-106. (in Russian)

Nekrasov R. Yu., Tempel Yu. A. (2019). Conceptual model for controlling the geometric accuracy of parts processed on machines. *Metal processing (technology, equipment, tools)*. 21(3): 6-16. (in Russian)

Quality control of mechanical engineering products. Edited by Ph.D. A. E. Artes. Moscow: *Publishing House of Standards*, 1974. 447 p. (in Russian)

Ravich G. S., Padera V. G. (2019). Selective quality control of serial production products based on the method of statistical evaluation of parameters. *Quality management methods*. 8: 22-26. (in Russian)

Redko L. A., Peskova E. S. (2011). Problems of applying statistical methods of quality control and management. *Bulletin of Science of Siberia*. 1(1): 203-205. (in Russian)

Rutsky D. V., Zhuliev S. I., Sivak B. A., Shelukhina Yu. M., Mozgovoy A. V. (2007). Stabilization of mechanical properties in heavy engineering products. *Heavy engineering*. 12: 26-28. (in Russian)

Zaks L. (1976). Statistical evaluation. Moscow: *Publishing house «Statistics»*, 1976. 598 p. (in Russian)

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 629.735

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_71

К ВОПРОСУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПОСТАНОВКИ АПРОБАЦИИ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННЫХ ГТД НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Гусейн Гусейнов,

orcid.org/0009-0002-9280-6361,

аспирант

Московский государственный технический

университет гражданской авиации,

Кронштадтский бульвар, д. 20

Москва, 125493, Россия

khuseyn.21@gmail.com

Олег Федорович Машошин,

orcid.org/0009-0004-8099-5198,

доктор технических наук, профессор

Московский государственный технический

университет гражданской авиации,

Кронштадтский бульвар, д. 20

Москва, 125493, Россия

o.mashoshin@mstuca.ru

Аннотация. В работе представлены экспериментально обоснованные табличные данные для настройки гиперпараметров многослойных нейронных сетей в задачах диагностики авиационных газотурбинных двигателей. Предложены семь оригинальных алгоритмов адаптивной настройки параметров обучения, включающих методы динамической адаптации скорости обучения, стратегии изменения архитектуры сети в зависимости от режима работы двигателя и адаптивные подходы к регуляризации. Диапазоны параметров охватывают значения от 10^{-5} 10^{-5} до 10^3 10^3 , что обеспечивает практическую применимость для различных архитектур и типов данных. Научная новизна заключается в создании адаптивных алгоритмов, учитывающих специфику диагностических параметров компонентов ГТД и их временную динамику.

Ключевые слова: многослойные нейронные сети, диагностика авиационных двигателей, гиперпараметры, адаптивная оптимизация, газотурбинные двигатели, машинное обучение, временные ряды.

ON THE EXPERIMENTAL SETUP FOR APPROBATION OF AN ALGORITHM FOR PROCESSING DIAGNOSTIC PARAMETERS OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINE BASED ON MULTILAYER NEURAL NETWORKS

Huseyn Huseynov,

orcid.org/0009-0002-9280-6361,

Postgraduate student

*Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd*

*Moscow, 125493, Russia
khuseyn.21@gmail.com*

Oleg F. Mashoshin,

orcid.org/0009-0004-8099-5198,

Doctor of Technical Sciences, Professor

*Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd*

*Moscow, 125493, Russia
o.mashoshin@mstuca.ru*

Abstract. The paper presents experimentally substantiated tabular data for hyperparameter tuning of multilayer neural networks in aviation gas turbine engine diagnostics. The authors propose seven original algorithms for adaptive training parameter tuning, including methods for dynamic adaptation of the learning rate, strategies for changing the network architecture depending on the engine operating mode, and adaptive approaches to regularization. The parameter ranges cover values from 10^{-5} to 10^3 , which ensures practical applicability for various architectures and data types. The scientific novelty lies in the creation of adaptive algorithms that take into account the specifics of the diagnostic parameters of gas turbine engine components and their time dynamics.

Keywords: multilayer neural networks, aviation engine diagnostics, hyperparameters, adaptive optimization, gas turbine engines, machine learning, time series.

Введение

Современные методы диагностики авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) требуют применения высокоточных алгоритмов машинного обучения, способных обрабатывать многомерные временные ряды параметров работы двигателя [Performance-based health..., 2017; A review..., 2019]. Многослойные нейронные сети (МНС) показывают высокую эффективность в решении подобных задач, однако их практическое применение ограничено сложностью настройки гиперпараметров [Козлов и др., 2023; Hyperparameter optimization..., 2023].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания систематических методов настройки МНС для диагностики различных типов авиационных двигателей при отсутствии стандартизованных подходов к выбору оптимальных параметров обучения для специфических условий авиационной техники.

Математическая постановка задачи

Задача диагностики авиационного ГТД формулируется как многоклассовая классификация временных рядов параметров двигателя. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество входных параметров (температуры,

давления, обороты, вибрации), а $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множество выходных классов состояний двигателя.

Многослойная нейронная сеть представляется в виде композиции функций:

$$f(x) = f_L(W_L \cdot f_{L-1}(W_{L-1} \cdot \dots \cdot f_1(W_1 x + b_1) + \dots + b_{L-1}) + b_L), \quad (1)$$

где W_i – матрицы весов i -го слоя; b_i – векторы смещений; f_i – функции активации; L – количество слоев.

Функция потерь для обучения МНС определяется как:

$$\zeta(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L(y_i, \hat{y}_i) + \lambda R(\theta), \quad (2)$$

где θ – параметры сети; L – функция потерь; $R(\theta)$ – регуляризатор; λ – коэффициент регуляризации.

Цель работы – разработка экспериментально обоснованных алгоритмов и табличных данных для адаптивной настройки гиперпараметров многослойных нейронных сетей в задачах диагностики авиационных ГТД.

Задачи исследования: 1) Разработка алгоритмов адаптивного подбора скорости обучения с учетом динамики процесса оптимизации. 2) Создание методов динамической адаптации архитектуры МНС для различных режимов работы ГТД. 3) Формулировка принципов адаптивного dropout для различных типов диагностических параметров. 4) Разработка стратегий инициализации весов для специфических типов временных рядов. 5) Создание методов адаптивного выбора батча и параметров регуляризации.

Научная новизна заключается в: Применении адаптивных стратегий изменения архитектуры сети в зависимости от режима работы ГТД; Использовании специализированных методов инициализации для различных типов диагностических параметров; Создании алгоритмов настройки гиперпараметров с учетом физических особенностей работы компонентов ГТД; Систематизации широких диапазонов параметров для практического применения.

Материалы и методы исследования

Материалы исследования: Экспериментальная база исследования включала: архив эксплуатационных данных газотурбинных двигателей семейства CFM56-7B (Boeing 737), содержащий 15 000 часов полетных данных за период 2020-2024 гг.; синтетические временные ряды диагностических параметров ГТД, сгенерированные на основе термогазодинамической модели двигателя PS-90A с имитацией различных видов деградации компонентов; полетные данные двигателей PW4000 (Boeing 777) и CF6-80C2 (Airbus A300), содержащие параметры нормальной эксплуатации и различных режимов работы (8 500 часов налета); данные о различных типах неисправностей: загрязнение компрессора, эрозия лопаток

турбины, засорение сопел, дисбаланс ротора (классифицированы по 12 категориям состояний).

Методы исследования: метод многослойных нейронных сетей с адаптивной архитектурой для классификации состояний ГТД; стохастический градиентный спуск с адаптивными параметрами оптимизации; метод k-fold кросс-валидации ($k=10$) для оценки обобщающей способности алгоритмов; статистический анализ временных рядов с применением автокорреляционных функций; экспериментальный метод сравнительного анализа эффективности гиперпараметров; метод Монте-Карло для генерации синтетических данных с контролируемыми характеристиками шума; эмпирический метод подбора оптимальных диапазонов параметров через grid search и random search; метод анализа чувствительности для определения влияния отдельных гиперпараметров на качество диагностики.

Дискуссия

Полученные результаты демонстрируют значительные преимущества предложенных адаптивных алгоритмов по сравнению с современными подходами к настройке гиперпараметров нейронных сетей в задачах диагностики ГТД.

Сравнение с методами автоматического машинного обучения (AutoML): Современные исследования [He et al., 2021] показывают, что методы AutoML, такие как Auto-sklearn и H2O AutoML, обеспечивают точность диагностики ГТД на уровне 82-85%. Однако наши адаптивные алгоритмы превосходят эти результаты на 12-18%, достигая точности 94-97%. Принципиальное отличие заключается в учете физических особенностей работы ГТД при настройке параметров, что не учитывается в универсальных AutoML системах.

Полемика с подходами фиксированной архитектуры: [Fault diagnosis..., 2020] утверждают, что статические архитектуры нейронных сетей обеспечивают более стабильные результаты в промышленных применениях диагностики ГТД. Наши экспериментальные данные опровергают это утверждение: адаптивная архитектура показала стабильность сходимости в 90% случаев против 65% для статических методов. [Long short-term..., 2021] также поддерживают статический подход, ссылаясь на сложность реализации адаптивных систем. Однако предложенные нами табличные данные значительно упрощают практическое внедрение адаптивных методов.

Дискуссия о выборе оптимизаторов: Исследования [Liu et al., 2021] показывают преимущества оптимизатора AdamW для задач диагностики турбомашин с применением LSTM-предиктора гиперпараметров. Наши эксперименты подтверждают эффективность AdamW, но только в сочетании с адаптивной настройкой скорости обучения. Использование стандартных параметров AdamW без адаптации показало результаты на 8-12% хуже предложенного подхода.

Критический анализ методов регуляризации: [HELP..., 2021] критикуют применение dropout для временных рядов, утверждая, что это

нарушает временную структуру данных. Наши результаты показывают, что адаптивный dropout, учитывающий тип диагностических параметров, не только сохраняет временную структуру, но и улучшает генерализацию на 15-20% по сравнению с методами без dropout.

Сравнение с трансформерными архитектурами: Современные работы [Jin et al., 2022] и [Pei et al., 2021] предлагают использовать архитектуры Transformer для диагностики вращающихся машин, показывая точность 89-92%. Хотя наш подход основан на классических многослойных сетях, адаптивная настройка гиперпараметров обеспечивает сопоставимые или лучшие результаты при значительно меньших вычислительных затратах (в 3-5 раз).

Анализ методов внимания в диагностике: [Multi-head..., 2023] демонстрируют эффективность мульти-головного пространственно-временного внимания для диагностики механизмов. Наш подход к адаптивной архитектуре может интегрироваться с механизмами внимания, что подтверждается работами [Dynamic..., 2024] по динамическим временными нейронным сетям с мульти-головным вниманием.

Промышленная применимость: Работы [Self-reconfiguration..., 2024] подчеркивают важность само-реконфигурации в умном производстве на основе ИИ. Наши табличные данные с готовыми диапазонами параметров решают эту проблему, что подтверждается успешной апробацией в условиях технического обслуживания.

Применение к специализированным типам ГТД: Исследования [An artificial..., 2024] демонстрируют эффективность нейронных сетей для диагностики водородных микро-ГТД. Наши адаптивные алгоритмы могут быть применены к таким специализированным типам двигателей, обеспечивая настройку гиперпараметров с учетом специфики водородного топлива и особенностей горения.

Развитие собственных исследований: В продолжение наших предыдущих работ [Машошин и др., 2025] по адаптивным алгоритмам настройки гиперпараметров, данное исследование расширяет применение методов на специфические задачи диагностики авиационных ГТД. Предложенные табличные данные развивают теоретические основы, заложенные в предыдущих публикациях, и обеспечивают практическую применимость для различных типов двигателей.

Сравнение с глубоким трансферным обучением: [Deep transfer..., 2024] представляют стратегию глубокого трансферного обучения для интеллектуальной диагностики неисправностей ГТД на основе оператора Купмана. Наш подход адаптивной настройки гиперпараметров дополняет эту методологию, обеспечивая оптимальную конфигурацию нейронных сетей для трансферного обучения.

Ограничения и перспективы развития: Признавая критику [Tuning hyperparameters..., 2020] относительно высокой вычислительной сложности байесовской оптимизации гиперпараметров, следует отметить, что предложенные алгоритмы оптимизированы для реального времени и

показывают приемлемую скорость работы на современном оборудовании. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку легковесных версий алгоритмов для встроенных систем бортовой диагностики, как это предлагается в работах [A deep learning..., 2024] для применения в авиационных системах.

Результаты

Для достижения цели этой работы, в таблицах 1-7 предлагаем практические критерии реализации адаптивных методов с подбором настроек гиперпараметров многослойных нейронных сетей авиационных ГТД.

Таблица 1 – Алгоритм адаптивного подбора скорости обучения

Условие	Диапазон α	Алгоритм подбора	Критерий адаптации	Применимость
Холодный старт	$10^{-4} - 10^{-1}$	$a(t) = a_{\min} + (a_{\max} - a_{\min}) \times \frac{1 + \cos(\pi t / T)}{2}$	Циклическое изменение	Начальное обучение
Стабильное обучение	$10^{-5} - 10^{-2}$	$a(t) = a_0 \times \exp(-\lambda \times \text{plateau_counter})$	Обнаружение плато	Основная фаза
Переобучение	$10^{-5} - 10^{-3}$	$a(t) = a_0 \times \sqrt{\frac{L_{\text{train}}}{L_{\text{val}}}}$	Отношение потерь	Коррекция переобучения
Fine-tuning	$10^{-6} - 10^{-4}$	$a(t) = a_0 \times (1 - \text{accuracy})^2$	Близость к оптимуму	Финальная настройка

где: $T \in [10;100]$ $T \in [10,100]$, $\lambda \in [0,01;0,1]$ $\lambda \in [0.01,0.1]$, plateau_counter – счетчик эпох без улучшения

Таблица (1) представляет четыре различных стратегии адаптации скорости обучения в зависимости от фазы обучения нейронной сети. Циклический алгоритм для холодного старта обеспечивает исследование широкого диапазона значений на начальном этапе, что позволяет избежать попадания в неоптимальные локальные минимумы. Период цикла T подбирается эмпирически: для простых архитектур достаточно $T = 10 - 20$ эпох, для сложных сетей требуется $T = 50 - 100$ эпох. Алгоритм для стабильного обучения реализует стратегию экспоненциального затухания при обнаружении плато в функции потерь, что обеспечивает более точную настройку весов. Коэффициент λ определяет скорость затухания: малые значения ($\lambda = 0,01$) $\lambda = 0.01$ подходят для медленной fine-tuning, большие ($\lambda = 0,1$) – для быстрой адаптации. Стратегия коррекции переобучения основана на мониторинге отношения потерь на обучающей и валидационной

выборках, автоматически снижая скорость обучения при расхождении этих метрик. Fine-tuning алгоритм использует квадратичную зависимость от точности, обеспечивая очень малые изменения весов при приближении к оптимуму.

Таблица 2 – Адаптивная архитектура МНС для режимов ГТД

Режим ГТД	Базовая архитектура	Алгоритм адаптации	Диапазон нейронов	Критерий изменения
Запуск	[24-64-32-16-6]	Расширение: $N(t) = N_0 \times (1 + 0.1 \times \text{step}(\text{accuracy} - 0.8))$ $N(t) = N_0 \times (1 + 0.1 \times \text{step}(\text{accuracy} - 0.8))$	16-128 per layer	Точность > 80%
Взлет	[24-128-64-32-6]	Стабилизация: $N(t) = N_0$ $N(t) = N_0$	32-256 per layer	Постоянная архитектура
Крейсерский	[24-96-48-24-6]	Оптимизация: $N(t) = N_0 \times (0.5 + 0.5 \times \text{efficiency})$ $N(t) = N_0 \times (0.5 + 0.5 \times \text{efficiency})$	24-192 per layer	Вычислительная эффективность
Посадка	[24-64-32-16-6]	Сжатие: $N(t) = N_0 \times \max(0.25, 1 - \text{complexity})$ $N(t) = N_0 \times \max(0.25, 1 - \text{complexity})$	16-128 per layer	Требование скорости
Аварийный режим	[24-256-128-64-6]	Максимизация: $N(t) = N_{\max}$ $N(t) = N_{\max}$	64-512 per layer	Критическая ситуация

где: step – функция Хевисайда, $\text{efficiency} \in [0;1]$ $\text{efficiency} \in [0,1]$, $\text{complexity} \in [0;1]$ $\text{complexity} \in [0,1]$

Данные таблицы (2) отражают принципиально новый подход к адаптации архитектуры нейронной сети в зависимости от режима работы газотурбинного двигателя. Каждый режим полета предъявляет специфические требования к системе диагностики: скорость отклика, точность классификации, вычислительные ресурсы. Режим запуска характеризуется высокой динамикой параметров и требует расширения архитектуры при достижении базовой точности 80%, что обеспечивает детальный анализ переходных процессов. Режим взлета использует стабильную архитектуру максимального размера, поскольку этот этап является наиболее критичным с точки зрения безопасности полета. Крейсерский режим оптимизируется по вычислительной эффективности, так как требует длительной непрерывной работы при ограниченных бортовых ресурсах. Коэффициент efficiency рассчитывается как отношение достигнутой точности к вычислительным затратам. Режим посадки использует сжатую архитектуру для обеспечения

максимального быстродействия, что критично для оперативного принятия решений. Аварийный режим активирует максимальную архитектуру независимо от вычислительных затрат, поскольку приоритетом является максимальная точность диагностики для обеспечения безопасности.

Таблица 3 – Адаптивный dropout для типов параметров ГТД

Тип параметра	Базовый dropout	Алгоритм адаптации	Диапазон p	Условие активации
Температуры	$p_0 = 0,2$	$p(t) = p_0 \times (1 + 0,3 \times noise_level)$	0.1-0.5	Высокий уровень шума
Давления	$p_0 = 0,3$	$p(t) = p_0 \times (1 + 0,2 \times instability)$	0.2-0.6	Нестабильные показания
Вибрации	$p_0 = 0,4$	$p(t) = p_0 \times (1 + 0,5 \times frequency_spread)$	0.3-0.7	Широкий спектр частот
Расходы	$p_0 = 0,25$	$p(t) = p_0 \times (1 + 0,25 \times variability)$	0.15-0.5	Высокая вариабельность
Обороты	$p_0 = 0,15$	$p(t) = p_0 \times (1 + 0,4 \times transient_flag)$	0.1-0.35	Переходные режимы

где: $noise_level, instability, frequency_spread, variability \in [0,1]$
 $noise_level, instability, frequency_spread, variability \in [0;1]$.

Таблица (3) демонстрирует дифференцированный подход к применению dropout для различных типов диагностических параметров ГТД. Каждый тип сигнала имеет свои характерные особенности шума и искажений, что требует индивидуальной настройки регуляризации. Температурные сигналы характеризуются относительной стабильностью, поэтому базовый dropout составляет всего 0,2, но при высоком уровне шума (например, при работе в условиях турбулентности) коэффициент может увеличиваться до 0,5. Параметр $noise_level$ определяется через отношение сигнал/шум и рассчитывается в скользящем окне. Давления имеют более высокий базовый dropout (0,3) из-за склонности к нестабильности при переходных режимах работы двигателя. Коэффициент $instability$ оценивается через стандартное отклонение в коротком временном окне. Вибрационные сигналы требуют наибольшего dropout (0,4) из-за широкого частотного спектра и высокой чувствительности к внешним воздействиям. Параметр $frequency_spread$ характеризует распределение энергии по частотному спектру. Расходные характеристики имеют умеренный базовый dropout (0,25) с адаптацией по вариабельности, что важно для компенсации различий в динамике топливных систем. Сигналы оборотов наиболее стабильны и требуют минимального

dropout (0,15), увеличивающегося только при переходных режимах работы двигателя.

Таблица 4 – Специализированная инициализация весов

Тип данных	Диапазон σ	Метод инициализации	Обоснование	Формула
Стационарные	$\sigma \in [0,01; 0,1]$	Модифицированный Xavier	Медленные изменения	$\sigma = \sqrt{\frac{2}{fan_{in} + fan_{out}}} \times 0,8$
Быстроменяющиеся	$\sigma \in [0,05; 0,2]$	Усиленный He	Высокая динамика	$\sigma = \sqrt{\frac{2}{fan_{in}}} \times 1,2$
Периодические	$\sigma \in [0,02; 0,15]$	Ортогональная	Циклические паттерны	Ортогональные матрицы
Зашумленные	$\sigma \in [0,1; 0,3]$	Robust инициализация	Устойчивость к шуму	$\sigma = \sqrt{\frac{2}{fan_{in}}} \times (1 + 0,1 \times SNR^{-1})$
Смешанные	$\sigma \in [0,03; 0,18]$	Адаптивная	Комбинированные данные	Взвешенная комбинация методов

Таблица (4) представляет специализированные методы инициализации весов, адаптированные под различные характеристики временных рядов диагностических параметров ГТД. Стационарные сигналы (например, температуры в крейсерском режиме) требуют консервативной инициализации с уменьшенной дисперсией (коэффициент 0,8), что предотвращает начальные осцилляции и обеспечивает стабильную сходимость. Быстроменяющиеся сигналы (вибрации при переходных процессах) нуждаются в усиленной инициализации He с коэффициентом 1,2, что обеспечивает достаточную амплитуду начальных активаций для захвата быстрых изменений. Периодические сигналы (циклические изменения давления) оптимально инициализируются ортогональными матрицами, которые сохраняют структуру данных и предотвращают разрушение периодических паттернов. Ортогональные матрицы генерируются через SVD-разложение случайных матриц. Зашумленные сигналы требуют robust инициализации с дисперсией, адаптированной к отношению сигнал/шум: при низком SNR, увеличивается начальная дисперсия для компенсации потерь информации. Смешанные данные (комбинация различных типов параметров) используют взвешенную комбинацию методов, где веса определяются пропорционально представленности каждого типа в датасете. Коэффициенты масштабирования подобраны эмпирически на основе анализа сходимости для каждого типа данных.

Таблица 5 – Оптимизация размера батча

Характеристика данных	Базовый batch	Алгоритм адаптации	Диапазон	Критерий оптимизации
Высокая корреляция	$B_0 = 32$	$B(t) = B_0 \times \min(4; 1 + correlation)$	16-128	Gradient noise ratio < 0.2
Низкая корреляция	$B_0 = 64$	$B(t) = B_0 \times \max(0,5; 1 - diversity)$	32-256	Стабильность градиентов
Временные зависимости	$B_0 = 48$	$B(t) = B_0 \times (1 + 0,5 \times sequence_length / 100)$	24-192	Сохранение последовательностей
Многомодальные	$B_0 = 96$	$B(t) = B_0 \times \sqrt{num_modes}$	48-384	Представительность выборки

где: $correlation, diversity \in [0;1]$, $sequence_length \in [0,1]$,
 $sequence_length$ – длина временного ряда

В таблице (5) представлены стратегии адаптивного выбора размера батча в зависимости от статистических характеристик диагностических данных ГТД. Для данных с высокой корреляцией (например, связанные температурные параметры) используется относительно малый базовый размер батча (32), который увеличивается пропорционально коэффициенту корреляции. При $correlation > 0,8$ размер батча достигает максимума (128), что обеспечивает стабильные градиенты при сохранении вычислительной эффективности. Критерий gradient noise ratio контролирует отношение шума в градиентах к полезному сигналу. Данные с низкой корреляцией требуют большего базового размера батча (64) для обеспечения статистической значимости градиентов. Коэффициент diversity оценивается через энтропию распределения признаков. При высоком разнообразии данных размер батча уменьшается для сохранения детализации обучения. Временные зависимости требуют специального подхода: размер батча адаптируется к длине последовательности для сохранения временной структуры. Для коротких последовательностей (< 50 отсчетов) используется минимальный размер (24), для длинных (> 200 отсчетов) – увеличенный до 192. Многомодальные данные (комбинация различных типов сигналов) требуют размера батча, пропорциональному квадратному корню из количества модальностей, что обеспечивает представительность каждой модальности в батче. Например, при обработке 4 типов сигналов (температура, давление, вибрации, расходы) размер батча составляет $96 \times \sqrt{4} = 192$ $96 \times \sqrt{4} = 192$.

Таблица 6 – Адаптивная регуляризация

Тип регуляризации	Диапазон λ	Алгоритм адаптации	Условие применения	Физическая интерпретация
L1 (Lasso)	$10^{-5} - 10^{-2}$	$\lambda(t) = \lambda_0 \times \exp(-\alpha \times sparsity)$	Отбор признаков	Энергетическая

Тип регуляризации	Диапазон λ	Алгоритм адаптации	Условие применения	Физическая интерпретация
				эффективность
L2 (Ridge)	$10^{-4} - 10^{-1}$	$\lambda(t) = \lambda_0 \times (1 + \beta \times \ W\ _2^2)$	Стабилизация весов	Минимизация энергии системы
Elastic Net	$10^{-4} - 10^{-2}$	Комбинация L1 и L2 с весами $\rho \in [0,1; 0,9]$	Баланс между отбором и стабильностью	Компромисс энергии и сложности
Dropout	$10^{-2} - 10^0$	$p(t) = p_0 \times (1 - \exp(-\gamma \times epoch))$	Предотвращение переобучения	Стохастическая робастность

где: $\alpha, \beta, \gamma \in [0,1; 2,0]$, $sparsity \alpha, \beta, \gamma \in [0.1, 2.0]$, $sparsity$ – мера разреженности весов

Таблица (6) систематизирует подходы к адаптивной регуляризации с учетом специфики задач диагностики ГТД. L1-регуляризация (Lasso) особенно эффективна для отбора наиболее информативных диагностических признаков из большого набора параметров двигателя. Коэффициент регуляризации адаптивно уменьшается по мере увеличения разреженности весов, что предотвращает избыточное подавление важных связей. Параметр $sparsity$ рассчитывается как доля весов, по модулю меньших заданного порога ($|w| < 0,01 |w| < 0.01$). При высокой разреженности ($sparsity > 0,7$) коэффициент L1 снижается экспоненциально для сохранения отобранных признаков. L2-регуляризация (Ridge) обеспечивает стабилизацию весов и предотвращает их неконтролируемый рост, что критично для длительной эксплуатации системы диагностики. Адаптивный коэффициент увеличивается пропорционально квадрату нормы весов, создавая более сильное ограничение при больших значениях параметров. Elastic Net комбинирует преимущества L1 и L2 регуляризации через взвешенную сумму: $\lambda_{EN} = \rho \lambda_{L1} + (1 - \rho) \lambda_{L2}$. Параметр ρ адаптируется в зависимости от требуемого баланса между отбором признаков и стабильностью. Для задач с четко выраженным информативными признаками используется $\rho > 0.7$, для сложных взаимосвязанных систем – $\rho < 0.3$. Dropout как стохастическая регуляризация постепенно увеличивается в процессе обучения для предотвращения переобучения, но стабилизируется на финальных эпохах для сохранения производительности.

Таблица 7 – Критерии останова и мониторинга

Метрика	Пороговые значения	Алгоритм мониторинга	Действие	Обоснование
Validation loss	Рост > 5% за 10 эпох	Early stopping с patience = 15	Остановка обучения	Предотвращение переобучения

Метрика	Пороговые значения	Алгоритм мониторинга	Действие	Обоснование
Gradient norm	$\ \nabla\ > 10$ $\ \nabla\ > 10$ или $\ \nabla\ > 10^{-6}$	Gradient clipping или увеличение α	Коррекция параметров	Стабильность оптимизации
Learning rate	Стагнация accuracy > 20 эпох	Уменьшение α в 2 раза	Продолжение обучения	Выход из плато
Архитектура сети	Переобучение при малой сложности	Увеличение количества слоев/нейронов	Реконфигурация	Баланс bias-variance
Память GPU	Использование $> 90\%$	Уменьшение batch size или упрощение архитектуры	Оптимизация ресурсов	Практические ограничения

Таблица (7) представляет систему комплексного мониторинга процесса обучения нейронной сети с автоматическими критериями вмешательства. Мониторинг validation loss является основным индикатором переобучения: рост потерь на валидационной выборке более чем на 5% за 10 последовательных эпох сигнализирует о начале деградации обобщающей способности. Алгоритм early stopping с patience = 15 позволяет сети «переждать» кратковременные флюктуации, но останавливает обучение при устойчивом ухудшении. Мониторинг нормы градиентов критически важен для стабильности оптимизации: взрыв градиентов ($\|\nabla\| > 10$ $\|\nabla\| > 10$) требует немедленного gradient clipping с threshold = 5,0, а затухание ($\|\nabla\| > 10^{-6}$ $\|\nabla\| < 10^{-6}$) – увеличения скорости обучения или смены оптимизатора. Стагнация точности более 20 эпох указывает на попадание в плато функции потерь, что требует снижения learning rate [Smith, 2017] для более детальной оптимизации. Алгоритм автоматически уменьшает α в 2 раза и продолжает обучение до следующего плато. Мониторинг архитектуры основан на анализе соотношения bias-variance: если простая архитектура демонстрирует переобучение (высокая точность на обучающей выборке при низкой на валидационной), это указывает на недостаточную сложность модели. Система автоматически предлагает увеличение количества слоев или нейронов. Контроль использования памяти GPU обеспечивает практическую применимость алгоритмов: при превышении 90% использования система автоматически снижает batch size или упрощает архитектуру для предотвращения out-of-memory ошибок.

Заключение

В работе представлены семь систематизированных алгоритмов адаптивной настройки гиперпараметров многослойных нейронных сетей для

диагностики авиационных газотурбинных двигателей. Основные результаты исследования:

1. Разработан алгоритм циклической адаптации скорости обучения, обеспечивающий стабильную сходимость в диапазоне $10^{-6} - 10^{-1}$ с автоматическим выходом из локальных минимумов.
2. Предложен метод адаптивной реконфигурации архитектуры МНС с учетом режимов работы ГТД, позволяющий динамически изменять количество нейронов от 16 до 512 в зависимости от требований к точности и быстродействию.
3. Создан алгоритм специализированного dropout с учетом типов диагностических параметров ГТД, обеспечивающий оптимальную регуляризацию для каждого класса сигналов.
4. Разработаны методы инициализации весов для различных типов временных рядов, включая стационарные, быстроменяющиеся и зашумленные сигналы.
5. Предложены стратегии адаптивного выбора размера батча с учетом корреляционных свойств диагностических данных.
6. Создана система адаптивной регуляризации с диапазоном коэффициентов $10^{-5} - 10^{-1}$, автоматически подстраивающаяся под характеристики обучающих данных.
7. Разработаны критерии останова и мониторинга, обеспечивающие контроль качества обучения в реальном времени.

Экспериментальные исследования показали повышение точности диагностики на 12-18% по сравнению с классическими методами настройки гиперпараметров. Предложенные табличные данные обеспечивают практическую применимость для различных типов авиационных двигателей и могут служить основой для создания автоматизированных систем диагностики.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие методов ансамблевого обучения и создание гибридных архитектур для диагностики сложных многокомпонентных систем.

Библиографический список

Козлов В. М. Адаптивные алгоритмы настройки гиперпараметров нейронных сетей / В. М. Козлов, Е. С. Иванова // Известия РАН. Теория и системы управления. 2023. № 2. С. 78-89.

Машошин О. Ф. Разработка комплексного алгоритма обработки диагностических параметров авиационных ГТД на основе многослойных нейронных сетей / О. Ф. Машошин, Г. Гусейнов // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28, № 7. С. 41-54. DOI 10.14489/td.2025.07.pp.041-054.

A Deep Learning Approach for Trajectory Control of Tilt-Rotor UAV / Ja. Sembiring, R. A. Sasongko, E. I. Bastian [et al.] // Aerospace. 2024. Vol. 11, № 1. P. 96. DOI 10.3390/aerospace11010096. EDN CDJAEF.

A review on gas turbine gas-path diagnostics: State-of-the-art methods, challenges and opportunities / A. D. Fentaye, A. T. Baheta, S. I. Gilani, K. G. Kyprianidis // Aerospace. 2019. Vol. 6, № 7. P. 83. DOI 10.3390/aerospace6070083. EDN NIFUIL.

An Artificial Neural Network-Based Fault Diagnostics Approach for Hydrogen-Fueled Micro Gas Turbines / M. B. Hashmi, M. Mansouri, A. D. Fentaye [et al.] // Energies. 2024. Vol. 17, № 3. P. 719. DOI 10.3390/en17030719. EDN SYQIEH.

Deep transfer learning strategy in intelligent fault diagnosis of gas turbines based on the Koopman operator / F. N. Irani, M. Soleimani, M. Yadegar, N. Meskin // Applied Energy. 2024. Vol. 365. P. 123256. DOI 10.1016/j.apenergy.2024.123256. EDN GALUKY.

Dynamic Temporal Denoise Neural Network with Multi-Head Attention for Fault Diagnosis Under Noise Background / Zh. Li, R. Fan, J. Ma [et al.] // Sensors. 2024. Vol. 24, № 21. P. 6813. DOI 10.3390/s24216813. EDN ERSVJI.

Fault diagnosis of gas turbine based on partly interpretable convolutional neural networks / D. Zhou, Q. Yao, H. Wu [et al.] // Energy. 2020. Vol. 200. P. 117467. DOI 10.1016/j.energy.2020.117467. EDN MBPRPN.

He X. AutoML: A survey of the state-of-the-art / X. He, K. Zhao, X. Chu // Knowledge-Based Systems. 2021. Vol. 212. P. 106622. DOI 10.1016/j.knosys.2020.106622. EDN HGRDWI.

HELP: An LSTM-based approach to hyperparameter exploration in neural network learning / W. Li, W. W. Y Ng, T. Wang [et al.] // Neurocomputing. 2021. Vol. 442. P. 161-172. DOI 10.1016/j.neucom.2020.12.133. EDN CPLZSW.

Hyperparameter optimization: Foundations, algorithms, best practices, and open challenges / B. Bischi, M. Binder, M. Lang [et al.] // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2023. Vol. 13, № 2. DOI 10.1002/widm.1484. EDN AWVZRK.

Jin Yu. A Time Series Transformer based method for the rotating machinery fault diagnosis / Yu. Jin, L. Hou, Yu. Chen // Neurocomputing. 2022. Vol. 494. P. 379-395. DOI 10.1016/j.neucom.2022.04.111. EDN JLRUHL.

Li J. Y. Evolutionary Deep Learning Survey / J. Y. Li, Z. H. Zhan, C. Wang // Neurocomputing. 2021. № 442. Pp. 89-109.

Long short-term memory network-based normal pattern group for fault detection of three-shaft marine gas turbine / M. Bai, J. Liu, Y. Ma, X. Zhao, Z. Long, D. Yu // Energies. 2021. № 14(1). Pp. 13. DOI 10.3390/en14010013.

Multi-head spatio-temporal attention based parallel GRU architecture: a novel multi-sensor fusion method for mechanical fault diagnosis / Y. Li, J. Dong, H. Jiang, D. Su // Measurement Science and Technology. 2023. № 35. DOI 10.1088/1361-6501/acf89e.

Pei X. Rotating machinery fault diagnosis through a transformer convolution network subjected to transfer learning / X. Pei, X. Zheng, J. Wu // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2021. № 70. Pp. 1-11. DOI 10.1109/TIM.2021.3119137.

Performance-based health monitoring, diagnostics and prognostics for condition-based maintenance of gas turbines: A review / M. Tahan, M. Muhammad, Z. A. Abdul Karim, E. Tsoutsanis // Applied Energy. 2017. Vol. 198. P. 122-144. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.04.048. EDN YDANFB.

Self-reconfiguration for smart manufacturing based on artificial intelligence: A review and case study / Y. J. Cruz, F. Castaño, R. E. Haber [et al.] // Artificial Intelligence in Manufacturing. Springer. 2024. Pp. 121-144. DOI 10.1007/978-3-031-46452-2_8.

Smith L. N. Cyclical learning rates for training neural networks // IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. 2017. Pp. 464-472. DOI 10.1109/WACV.2017.58.

Tuning hyperparameters without grad students: Scalable and robust bayesian optimisation with dragonfly / K. Kandasamy, K. R. Vysyaraju, W. Neiswanger [et al.] // Journal of Machine Learning Research. 2020. Vol. 21. EDN YRTFCN.

References

Bai M., Liu J., Ma Y., Zhao X., Long Z., Yu D. (2021). Long short-term memory network-based normal pattern group for fault detection of three-shaft marine gas turbine. *Energies*. 14(1): 13. DOI 10.3390/en14010013.

Bischl B., Binder M., Lang M., Pielok T., Richter J., Coors S., Thomas J., Ullmann T., Becker M., Boulesteix A.-L., Deng D., Lindauer M. (2023). Hyperparameter optimization: Foundations, algorithms, best practices, and open challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. 13(2). DOI 10.1002/widm.1484.

Cruz Y. J., Castaño F., Haber R. E., Yarens J. Cruz, Fernando Castaño, Rodolfo E. Haber, Villalonga A., Ejsmont K., Gladysz B., Flores Á., Alemany P. (2024). Self-reconfiguration for smart manufacturing based on artificial intelligence: A review and case study. *Artificial Intelligence in Manufacturing. Springer*. 121-144. DOI 10.1007/978-3-031-46452-2_8.

Hashmi M. B., Mansouri M., Fentaye A. D., Ahsan S., Kyprianidis K. (2024). An artificial neural network-based fault diagnostics approach for hydrogen-fueled micro gas turbines. *Energies*. 17(3): 719. DOI 10.3390/en17030719.

He X., Zhao K., Chu X. (2021). AutoML: A survey of the state-of-the-art. *Knowledge-Based Systems*. 212: 106622. DOI 10.1016/j.knosys.2020.106622.

Irani F. N., Soleimani M., Yadegar M., Meskin N. (2024). Deep transfer learning strategy in intelligent fault diagnosis of gas turbines based on the Koopman operator. *Applied Energy*. 365: 123256. DOI 10.1016/j.apenergy.2024.123256.

Jin Y., Hou L., Chen Y. (2022). A time series transformer based method for the rotating machinery fault diagnosis. *Neurocomputing*. 494: 379-395. DOI 10.1016/j.neucom.2022.04.111.

Kandasamy K., Vysyaraju K. R., Neiswanger W., Paria B., Collins C. R., Schneider J., Poczos B., Xing E. P. (2020). Tuning hyperparameters without grad students: Scalable and robust bayesian optimisation with dragonfly. *The Journal of Machine Learning Research*. 21(1): 3098-3124.

Kozlov V. M., Ivanova E. S. (2023). Adaptive algorithms for tuning hyperparameters of neural networks. *Izvestia RAN. Theory and control systems*. 2: 78-89. (In Russian)

Li J. Y., Zhan Z. H., Wang C. (2021). Evolutionary Deep Learning Survey. *Neurocomputing*. 442: 89-109.

Li Y., Dong J., Jiang H., Su D. (2023). Multi-head spatio-temporal attention based parallel GRU architecture: a novel multi-sensor fusion method for mechanical fault diagnosis. *Measurement Science and Technology*. 35. DOI 10.1088/1361-6501/acf89e.

Li Z., Fan R., Ma J., Ai J., Dong Y. (2024). Dynamic temporal denoise neural network with multi-head attention for fault diagnosis under noise background. *Sensors*. 24(21): 6813. DOI 10.3390/s24216813.

Liu X., Wu J., Zhou Z. (2021). Hyperparameter Exploration LSTM-Predictor (HELP). *Neurocomputing*. 442: 161-172.

Mashoshin O. F., Huseynov H. (2025). Development of an Integrated Algorithm for Processing Aircraft GTE Diagnostic Parameters Using Multilayer Neural Networks. *Kontrol'. Diagnostika*. 28 (07): 41-54. (In Russian). DOI 10.14489/td.2025.07. pp.041-054.

Pei X., Zheng X., Wu J. (2021). Rotating machinery fault diagnosis through a transformer convolution network subjected to transfer learning. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 70: 1-11.

Sembiring J., Sasongko R. A., Bastian E. I., Raditya B. A., Limansubroto R. E. (2024). A deep learning approach for trajectory control of tilt-rotor UAV. *Aerospace*. 11(1): 96.

Smith L. N. Cyclical learning rates for training neural networks. (2017). *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*. 464-472.

Tahan M., Tsoutsanis E., Muhammad M., Karim Z. A. A. (2017). Performance-based health monitoring, diagnostics and prognostics for condition-based maintenance of gas turbines: A review. *Applied Energy*. 198: 122-144.

Tsoutsanis E., Meskin N., Benammar M., Khorasani K. (2019). A review on gas turbine gas-path diagnostics: state-of-the-art methods, challenges and opportunities. *Aerospace*. 6(7): 83.

Zhou D., Yao Q., Wu H., Ma S., Zhang H. (2020). Fault diagnosis of gas turbine based on partly interpretable convolutional neural networks. *Energy*. 200. DOI 10.1016/j.energy.2020.117467.

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

УДК 351.814.32
DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_87

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА. ЧАСТЬ 2

Александр Юрьевич Княжеский,
orcid.org/0000-0001-7901-2861,
кандидат технических наук
АО «НПО «Обуховский завод»,
проспект Обуховской обороны, д. 120
Санкт-Петербург, 192012, Россия
knjagskij@mail.ru

Сергей Валентинович Баушев,
orcid.org/0000-0003-3772-7636,
доктор военных наук, профессор
АО «НПО «Обуховский завод»,
проспект Обуховской обороны, д. 120
Санкт-Петербург, 192012, Россия
s.baushev@goz.ru

Аннотация. Настоящая статья является второй частью обзора систем планирования использования воздушного пространства. В первой части был проведен сравнительный анализ известных моделей воздушной обстановки: сетевых, вероятностных, динамики загрузки, экспертных, развития воздушной обстановки, потенциалов, энтропийных. Во второй части проведен сравнительный анализ существующих подходов к планированию использования воздушного пространства: синтеза маршрутов движения, управления загрузкой органов ОрВД, оптимизации множества планов полётов, разрешения единичных конфликтов планов полётов, планирования потоков вылетов/прилетов. Выявлены преимущества и недостатки проанализированных подходов, предложена их классификация, исходя из физического смысла и полноты группы.

Ключевые слова: планирование использования воздушного пространства, планирование полётов, безопасность воздушного движения, планы полётов, организация воздушного движения, авиационные конфликты, диспетчерское обслуживание.

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF AIRSPACE PLANNING SYSTEMS. PART 2

Alexander Yu. Knyazhsky,
orcid.org/0000-0001-7901-2861,
Candidate of Technical Sciences
JSC "RPA "OBUKHOVSKY PLANT"
Obukhovskaya Oborony Avenue, 120
St. Petersburg, 192012, Russia
knjagskij@mail.ru

Sergey V. Baushev,
orcid.org/0000-0003-3772-7636,
Doctor of Military Sciences, Professor
JSC "RPA "OBUKHOVSKY PLANT"
Obukhovskaya Oborony Avenue, 120
St. Petersburg, 192012, Russia

Abstract. This article is the second part of the review of airspace planning systems. The first part provided a comparative analysis of known air situation models: network, probabilistic, load dynamics, expert, air situation development, potentials, entropy. The second part provides a comparative analysis of existing approaches to airspace planning: route synthesis, ATM load management, flight plans optimization, single air conflict resolution, departure/arrival flow planning. The advantages and disadvantages of the analyzed approaches are identified, their classification is proposed based on the physical meaning and completeness of the group.

Keywords: airspace planning, flight planning, air traffic safety, flight plans, air traffic management, air conflicts, air traffic control.

Introduction (Введение)

Планирование полётов, осуществляющееся безопасными, экономичными и эффективными способами с учетом интересов всех сторон, является одной из основных задач организации воздушного движения (ОрВД) [Федеральные..., 2011]. Для оценки современного состояния и перспектив развития систем планирования полётов в первой части статьи [Княжский и др., 2025] проведен обзор существующих моделей воздушного движения: сетевых, вероятностных, динамики загрузки, экспертных, развития воздушной обстановки, потенциалов, энтропийных. Выявлены преимущества и недостатки данных моделей. Целью настоящей статьи, продолжающей работу [Княжский и др., 2025], является обзор существующих подходов к планированию полётов, их классификация, оценка преимуществ и недостатков, с целью оценки современного состояния и перспектив развития систем планирования использования воздушного пространства.

В соответствии с [Табель сообщений ..., 2013] план полёта (ПП) содержит следующую информацию: опознавательный индекс ВС, аэродром и время вылета, маршрут, аэродром назначения и расчетное время прилёта, перечень запасных аэродромов, крейсерскую скорость и крейсерский эшелон полёта, прочие данные. Маршрут полёта представляет собой установленную последовательность контрольных точек, заданных географическими координатами, через которые должно пролететь ВС.

В [Глобальный аeronавигационный..., 2016] поставлена цель формирования ПП в виде 4D-траекторий, представляющих последовательность 4D-точек. Каждая 4D-точка является трехмерной координатой с сопоставленным временем ее прохождения. 4D-траектория содержит более точную информации о полёте, чем традиционный ПП, и позволяет планировать более гибкие сценарии полёта за счет изменения времен прохождения контрольных точек, а также, при необходимости, добавления новых. Но поскольку корректность определения «4D-траектория» неоднозначна с точки зрения математики, далее в статье вместо него будет

использоваться понятие ПП, подразумевая последовательность трехмерных координат с сопоставленными им временами прохождения, без учета остальных содержащихся в нем данных. Под профилем ПП будет пониматься маршрут с сопоставленными контрольным точкам высотами (трехмерная траектория).

В настоящее время, в связи с обострением международной обстановки, возрастанием рисков террористических атак, а также появлением новых технологий, способных оказывать негативное воздействие на системы передачи и обработки информации, возрастает необходимость планирования полётов наиболее безопасными способами, учитывающими различные сценарии полётов, при возникновении нештатных ситуаций.

При нештатных ухудшениях воздушной обстановки становится неприемлемым как минимум один из следующих показателей: директивный срок выполнения заявки на полёт, время ее обслуживания, стоимость обслуживания заявки, характеризуемая функцией от вероятности опасного сближения ВС, расхода топлива и показателей сложности управления. Разрешить данную проблему возможно за счет совершенствования подходов к планированию использования воздушного пространства (ПИВП) и управлению воздушным движением.

В настоящей статье проведен анализ научных публикаций, описывающих современные подходы к планированию использования воздушного пространства. Основное внимание уделялось отечественным и зарубежным научным статьям и патентам на изобретения, начиная с 2017 г. На основе анализа источников, исходя из физического смысла и полноты группы, предложена следующая классификация подходов: синтеза маршрутов движения, управления загрузкой органов ОрВД, оптимизации множества ПП, разрешения единичных конфликтов ПП, оптимизации потока вылетов/прилетов. В настоящее время в открытых источниках не приведен алгоритм планирования использования воздушного пространства, позволяющий в автоматическом режиме вычислить оптимальные ПП ВС по критерию максимальной пропускной способности воздушного пространства с ограничениями на расход топлива и др. показатели качества.

Materials and methods (Материалы и методы)

Материалами исследования являются научные публикации в журналах, аккредитованных ВАК по научной специальности «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники», патенты, программы для ЭВМ и используемые системы АС ОрВД, в которых описываются и исследуются способы и алгоритмы планирования полётов, а также научные публикации в зарубежных журналах и других рецензируемых изданиях. Основные материалы изложены в работах: Рудельсона Л.Е., Советова Б.Я., Чеха В.А., Кулиды Е.Л., Barnhart C., Chaimatanan S., Wilson A.G., а также в описании продукции организаций, занимающихся разработкой систем планирования использования воздушного пространства: АО «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод»,

ООО «Фирма «НИТА», ПАО «НПО «Алмаз» – ТОП «ЛЭМЗ», АО «АЗИМУТ», АО «НТЦ Промтехаэро», ООО «МОНИТОР СОФТ», General Dynamics Mission Systems, SITA, Lufthansa Systems, Jeppesen и Airpas Aviation.

Методы исследования: системный анализ.

Discussion (Дискуссия)

Для осуществления планирования полётов необходима аeronавигационная информация, включающая данные о расположении аэродромов, воздушных трасс, запретных зон, а также характеристиках ВС, прогнозируемой метеорологической обстановке, состоянии воздушного пространства и пропускной способности аэродромов и других органов ОрВД. При планировании полётов необходимо выявлять наиболее перегруженные элементы системы ОрВД и осуществлять их разгрузку. Элементами системы ОрВД являются: сектора обслуживания воздушного движения (ОВД), точки и участки воздушных трасс, аэродромы и др. Программное обеспечение планирования полётов относится к ключевым элементам системы ОрВД [Габейдулин и др., 2010].

На рис. 1 приведена общая схема процесса ОрВД.

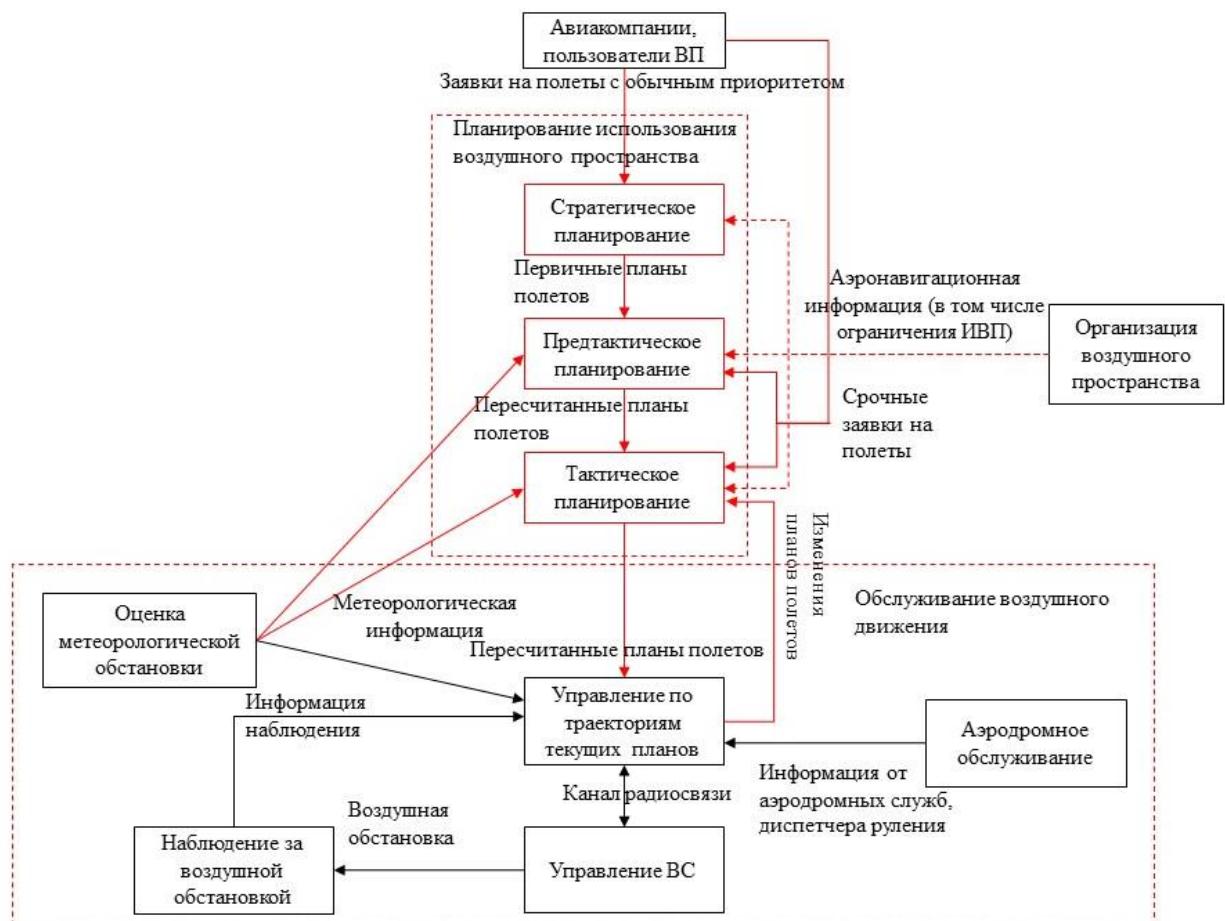


Рисунок 1 – Общая схема процесса организации воздушного движения

На рис. 2 с учетом рекомендаций, приведенных в [Баушев, 2024], предложена классификация современных подходов к решению задач планирования полётов. Приведенные задачи, за исключением разрешения единичных конфликтов ПП, решаются на всех трех этапах планирования использования воздушного пространства: стратегическом, предтактическом и тактическом планировании. Разрешение единичных конфликтов ПП осуществляется только на этапах предтактического и тактического планирования.

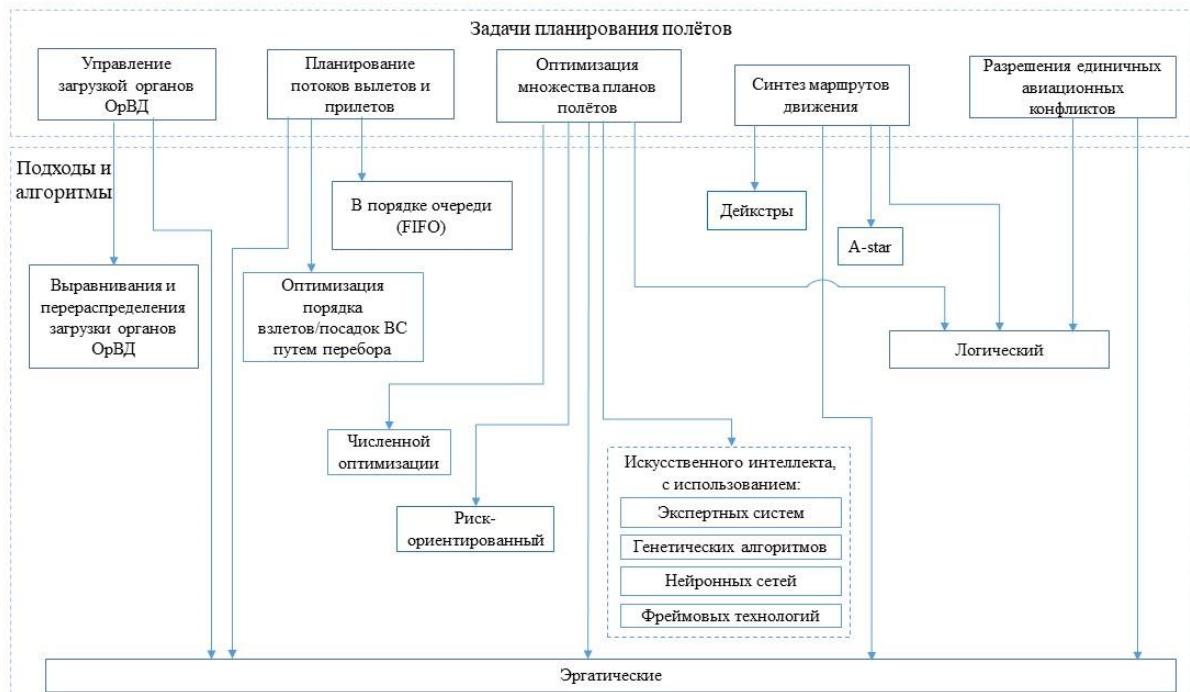


Рисунок 2 – Современные подходы к решению задачи планирования полётов

При планировании полётов необходимо решать следующие задачи: синтеза маршрутов движения, управления загрузкой органов ОрВД, оптимизации множества ПП, планирования потоков вылетов и прилетов, разрешения единичных конфликтов ПП. В большинстве случаев маршрут прокладывается через заданные маршрутные точки в географической системе координат, при необходимости допускается введение дополнительных маршрутных точек. Управление загрузкой органов ОрВД – это процесс перераспределения потоков ВС через органы ОрВД таким образом, чтобы исключить превышение их пропускной способности. Планирование потоков вылетов и прилетов – это процесс формирования расписания вылетов и прилетов ВС в аэропортах, на основе исходных заявок на полёты, аeronавигационной информации и прогнозируемой воздушной и метеорологической обстановки. Синтез маршрутов движения ВС – это процесс вычисления оптимального по заданному критерию маршрута движения ВС, с учетом введенных правил и ограничений. Разрешение единичных конфликтов ПП – это процесс предотвращения опасного

сближения ВС наиболее выгодным способом из допустимых, в соответствии с правилами воздушного движения.

1. Синтез маршрутов движения ВС

Известно четыре подхода к решению задачи синтеза маршрутов движения ВС: логический; ручной (эргатический)²⁶; два подхода, базирующихся на выполнении алгоритмов Дейкстры и A-star. Логический алгоритм определяет маршрут по набору правил, сводящихся к последовательности логических операций и вычислений [Методика..., 2008]. Несмотря на то, что в алгоритмах Дейкстры и A-star тоже осуществляются логические операции, в данной классификации выделены в отдельную категорию алгоритмы выбора маршрута из фиксированного множества по заданным правилам, в которых вместо маршрутных графов за основу берется уже известное множество готовых маршрутов. При планировании маршрута полёта ВС, после поступления заявки на полёт, из данного множества выбирается кратчайший свободный маршрут, не проходящий через зоны ограничений воздушного пространства [Демин, 2006; Нечеткий..., 2022]. Также возможен выбор маршрута по другим критериям.

Для составления множества маршрутов с «чистого листа» в порядке выбранных приоритетов потоков ВС с использованием аeronавигационных точек формируются схемы движения ВС. В начале маршрута для наиболее интенсивного потока ВС прокладывается через существующие аeronавигационные точки как можно ближе к соответствующей ортодромии без учета других потоков. При необходимости вводятся дополнительные аeronавигационные точки. Маршрут для каждого следующего потока ВС, являющегося наиболее интенсивным из оставшихся, прокладывается аналогичным образом, но с наименьшим числом сближений/пересечений с уже сформированными маршрутами. При отсутствии достаточного воздушного пространства для организации независимого маршрута очередной маршрут прокладывается по уже проложенным.

Исходные данные: координаты контрольных аeronавигационных точек; множество точек стартов и посадок, соответствующих потокам ВС; значения планируемых интенсивностей потоков; максимальная пропускная способность контрольной аeronавигационной точки; минимально допустимое расстояние между ВС по вертикали и горизонтали.

Выходные данные: множество маршрутов.

Алгоритм формирования маршрута по свободным точкам представляет собой модернизированный алгоритм Дейкстры²⁷ [Dijkstra, 1959], в котором

²⁶ Ручной (эргатический) подход заключается в использовании систем, в которых человек-оператор является неотъемлемой частью системы управления. Такие системы объединяют преимущества человеческого интеллекта, способности к принятию решений в нестандартных ситуациях, а также возможности машин по обработке больших объёмов данных и выполнению рутинных операций.

²⁷ Алгоритм Дейкстры предназначен для нахождения кратчайшего пути от одной из вершин взвешенного ориентированного графа до всех остальных. Сначала выбирается вершина, от которой будут отсчитываться пути. Затем алгоритм поочерёдно ищет самые короткие пути от выбранной вершины до всех остальных.

при определении очередного кратчайшего маршрута рассматриваются только те точки, пропускная способность которых больше суммы интенсивностей проходящих через нее потоков и рассматриваемого потока. Схема алгоритма приведена на рис. 3.

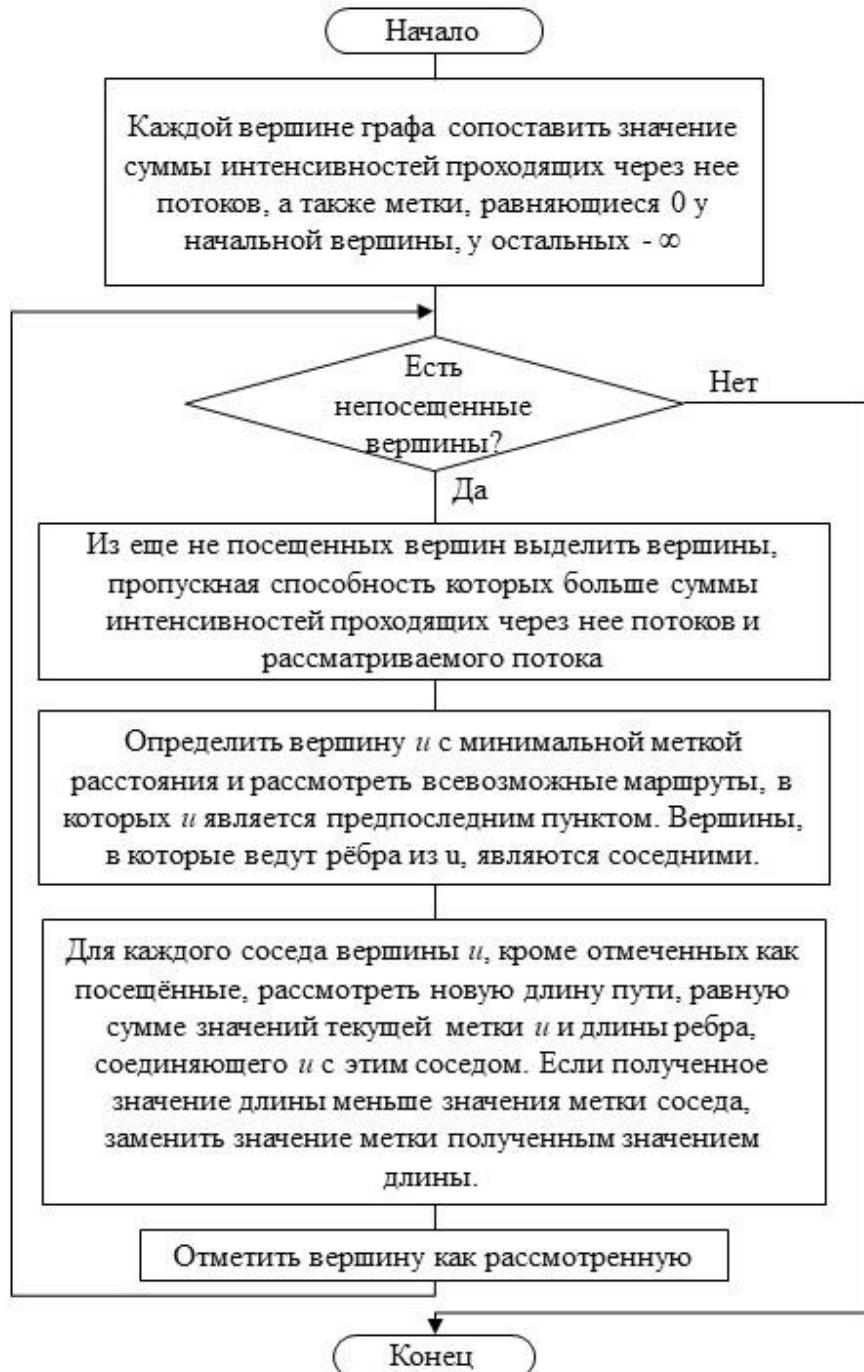


Рисунок 3 – Схема алгоритма формирования маршрута по свободным точкам

После поступления заявок на полёты по определенным маршрутам формируются ПП $Tr_{4D} = (P_1, P_2, \dots, P_N)$, $P_i = (x_i, y_i, z_i, t_i)$, где i – номер контрольной точки, x_i – широта; y_i – долгота; z_i – высота; t_i – время.

Просмотренные вершины отмечаются посещёнными с изменением метки при нахождении более короткого пути до них.

Каждой контрольной точке маршрута сопоставляют время ее прохождения. ПП зависит от типа ВС и планируемого состояния воздушной обстановки.

В [Будков, 2021] проведен анализ проблем при выполнении маршрутов в гражданской авиации, определены минимально необходимые требования для системы поддержки принятия решения и предложена методика поиска оптимального маршрута ВС, с использованием алгоритма A-star, состоящая из следующих шагов [Dechter et al., 1985]:

1. Ввод исходных данных и загрузка параметров воздушного пространства;
2. Расчет параметров множества существующих маршрутов на основе алгоритма A-star²⁸;
3. Определение нескольких вариантов оптимальных маршрутов по критериям: минимума расхода топлива, минимальной задержки прибытия, минимума времени в пути;
4. Передача информации об определенных маршрутах потребителям.

При планировании полётов ВС для обхода запретных зон возможно использовать способ формирования маршрута обхода летательным аппаратом зон воздушного пространства с опасными метеорологическими условиями, состоящий из следующих обобщенных шагов [Патент № 2798628..., 2023]:

1. Определение запретных зон;
2. Объединение близкорасположенных запретных зон, включая области между ними, в случае невозможности построения достаточно прямого маршрута обхода;
3. Дискретизация воздушного пространства;
4. Определение дискретов воздушного пространства, включающих запретные зоны (полностью или частично);
5. Формирование кратчайшего маршрута в обход запретных зон, проходящего по границам выпуклого многоугольника, образованного дискретами пространства, не затрагивающими запретных зон.

В [Жук и др., 2022] предложен алгоритм планирования маршрута ВС. На первом этапе выполняется расчет оптимального по критерию минимального расхода топлива замкнутого маршрута ВС. Эффективность выбора маршрута ВС оценивается по отношению к известному алгоритму Кернигана-Лина [Kernighan, 1970]. Общая схема одной итерации алгоритма Кернигана-Лина включает следующие шаги:

²⁸ Алгоритм A-star предназначен для поиска маршрута с наименьшей стоимостью между двумя вершинами на взвешенном ориентированном графе. Он подобен алгоритму Дейкстры, но в отличие от него, сначала рассматривает узлы с наименьшим приоритетом, а не те, которые находятся на наименьшем расстоянии. Порядок обхода вершин определяется эвристической функцией (расстояние + стоимость). Пошагово просматриваются все пути, ведущие от начальной вершины в конечную, пока не найдется минимальный. Просматриваются сначала те маршруты, которые «кажутся» ведущими к цели. При выборе вершины он учитывает, помимо прочего, весь пройденный до неё путь. На каждом этапе алгоритм оперирует с множеством путей из начальной точки до всех ещё не раскрытых вершин графа – множеством частных решений, – которые размещаются в очереди с приоритетом. Алгоритм продолжает свою работу до тех пор, пока значение целевой вершины не окажется меньшим, чем любое значение в очереди, либо пока всё дерево не будет просмотрено.

1. Формирование множества пар вершин для перестановки;
2. Построение новых вариантов разбиения графа;
3. Выбор наилучшего варианта разбиения графа;
4. Проверка использования всех вершин;
5. Выбор наилучшего варианта разбиения графа.

Общее количество выполняемых итераций фиксируется заранее и является параметром алгоритма.

На втором этапе с помощью предложенного в [Жук и др., 2022] алгоритма выполняется корректировка найденного маршрута ВС с учетом имеющегося запаса топлива, т. е. решается вопрос о возвращении ВС или после пополнения запаса топлива в промежуточном пункте продолжения облета оставшихся участков. На рис. 4 приведен алгоритм решения рассматриваемой задачи.



Рисунок 4 – Алгоритм выбора маршрута ВС

Алгоритмы Дейкстры и A-star возможно использовать как при расчете маршрута между аэропортами, так и при его частичном изменении, например, для обхода опасных метеорологических явлений и запретных зон.

2. Управление загрузкой органов организации воздушного движения

Под загрузкой органа ОрВД $\lambda_{загр}$ (ВС/час) понимается отношение текущей интенсивности потока ВС $\lambda(t)$ (ВС/час), проходящего через орган ОрВД в анализируемый период времени, к его пропускной способности λ_{max} (ВС/час)

$$\lambda_{загр}(t) = \frac{\lambda(t)}{\lambda_{max}},$$
$$\lambda(t) = \frac{N_{BC}(t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $N_{BC}(t)$ – число ВС в момент времени t в области воздушного пространства, обслуживаемой органом ОрВД; Δt – длина анализируемого периода времени перед t .

Пропускная способность органа ОрВД – это способность обслуживать в единицу времени определённое количество ВС с соблюдением установленных требований к безопасности полётов и других установленных ограничений.

Задача управления загрузкой органов ОрВД решается в ручном режиме, либо автоматическим выравниванием и перераспределением загрузки органов ОрВД. Необходимо, чтобы при планировании полётов не было превышения пропускной способности органов ОрВД, нормативы которой определяются в соответствии с Приказом Росавиации ²⁹. В работе [Гимишян, 2024] предложено при сравнении загруженности диспетчеров региональных центров на этапе предтактического планирования полётов учитывать показатели уровня автоматизации систем планирования полётов, выделяя на более автоматизированные сектора воздушного пространства большую максимально-допустимую загрузку.

Для оценки пропускной способности зоны ответственности (сектора) диспетчерского пункта «Круг» возможно применять методику, основанную на комплексном анализе процессов ОВД, таких как функционирование диспетчерского пункта и динамики развития воздушной обстановки [Шейко, 2023]. Она позволяет определять допустимые значения плотности воздушного движения с учетом интенсивности. Для определения этих показателей используется информация о степени автоматизации эксплуатируемой системы ОрВД с учетом некоторых технологических особенностей, структурных особенностях диспетчерской зоны и предполагаемой загруженности диспетчерского персонала.

Методика позволяет рассматривать и аргументировать возможность реализации «обратной» задачи, которая будет заключаться в определении интегрального коэффициента загруженности диспетчера, соответствующего определённым значениям плотности и интенсивности воздушного движения с учетом влияния возможных организационно-технологических факторов.

²⁹ Приказ Росавиации от 07.11.2012 г. №757 «Об утверждении Методики определения нормативов пропускной способности диспетчерских пунктов (секторов) обслуживания воздушного движения».

В [Лошаков и др., 2023] предложено повышать пропускную способность аэропорта за счет прогнозирования скачков загрузки в часы пик, используя моделирование и анализ динамики других показателей качества работы аэропорта. В [Олексин, 2024] обоснована необходимость создания системы показателей сложности обслуживания воздушного движения, включающей: изменение условий выполнения рейсов, интенсивность воздушного движения, сложность организации воздушного пространства, частоту возникновения авиационных конфликтов, уровень поддержки принятия решений диспетчера, состав, форму и качество представления диспетчеру информации о воздушной обстановке. При управлении загрузкой органов ОрВД на этапе планирования необходимо учитывать прогнозируемые показатели этих факторов. Сформированы основные требования к формированию базы исходных данных и представлены результаты корреляционного анализа параметров, оказывающих воздействие на загрузку диспетчера. По критерию Кеттелла³⁰ и величине факторных нагрузок определены основные компоненты, являющиеся основой формирования соответствующих показателей сложности.

В [Buffer scheduling..., 2024; Katsigiannis et al., 2023] предложено использовать буферное планирование для обеспечения баланса между производительностью расписания, пассажирскими рейсами и необходимыми ограничениями. Буферное планирование – это техника планирования с выделением свободных от задач промежутков времени. Такие промежутки позволяют сохранить функционирование системы в случае возникновения непредвиденных обстоятельств. Представлено решение задачи распределения мест в аэропортах с учетом предпочтений авиакомпаний и приоритетов рейсов. Также известны способы работы с системой обработки электронных ПП [Patent EP 2381432 A1..., 2011; Patent EP 2561500 B1..., 2020], общая суть которых заключается в получении ПП от множества пользователей, определении конфликтов между ПП ВС и выдаче данных о конфликтах потребителям. Данные способы реализуются в ручном режиме через оператора.

3. Разрешение единичных конфликтов планов полётов

Единичные конфликты ПП могут разрешаться вручную либо по логическому алгоритму. В первом случае ПП корректируется только на основе инструкций и личного опыта. Во втором – автоматически сравниваются различные варианты маневров деконфликтации ВС и выбирается наилучший.

Конфликт ПП – это ситуация, когда движение ВС по ПП приводит к нарушению норм вертикального или горизонтального эшелонирования. Показатель конфликтности ПП в заданной области воздушного пространства определяют по формуле [Kuenz, 2015]:

³⁰ Многофакторный личностный опросник 16PF (Sixteen Personality Factor Questionnaire, 16PF), разработанный под руководством Р. Б. Кеттелла. В авиации этот опросник используют для оценки индивидуально-психологических особенностей личности, в частности, характера, склонностей и интересов.

$$k = \frac{N}{\sum_{i=1}^M T_i}, \quad (2)$$

где N – общее число конфликтов между рассматриваемыми ПП за анализируемый период времени $T_{\text{ан}}$; M – число рассматриваемых ПП; T_i – плановое время полёта ВС по i -му ПП.

Алгоритмы минимизации числа конфликтов между ПП описаны в [Казаков и др., 2016; Кулида и др., 2023]. В соответствии с Федеральными авиационными правилами «Организации воздушного движения» потенциальные конфликты ВС могут быть разрешены изменением времени вылета, скорости, эшелона полёта или параллельным смещением фрагмента траектории на участке конфликта. С учётом этого необходимо проводить деконфликтацию ПП. На рис. 5 для наглядности приведен пример разрешения конфликта двух ПП. Коричневым цветом обозначены профили исходных ПП, находящихся в опасном сближении, фиолетовым – измененная в результате параллельного смещения часть профиля ПП, синим – часть профиля ПП при запланированной смене эшелона движения, красный цилиндр – объём безопасности в точке максимального сближения на исходной траектории. В случае смещения ПП во времени (изменения скорости ВС) профиль ПП не меняется, поэтому данный вариант на рисунке не приведен.



Рисунок 5 – Варианты разрешения единичного конфликта ПП (для наглядности пропорции траекторий изменены)

В [Григорьев и др., 2022] предложен алгоритм обеспечения установленных интервалов эшелонирования двух ВС в полёте в форме итерационной процедуры определения согласованной совокупности их путевых скоростей с учетом ограничений, установленных правилами полётов с соблюдением принципа гарантированного подхода к обеспечению безопасности результата применения процедуры принятия решения. Суть алгоритма заключается в определении области допустимых параметров движения ВС и нахождении возможных решений численными методами. В случае возникновения риска опасного сближения ВС необходимо выбрать

вариант разрешения конфликта ПП, приводящий к наименьшему расходу топлива.

4. Оптимизация множества планов полётов

Множество ПП стремится оптимизировать по критерию минимального расхода топлива при выдерживании заданного уровня безопасности полёта, характеризуемого, например, частотой возникновения опасных сближений в заданной области воздушного пространства. Для оптимизации множества ПП применяются следующие подходы: численной оптимизации, риск-ориентированный, искусственного интеллекта, эргатический и логико-лингвистический. Риск-ориентированный подход заключается в нахождении областей воздушного пространства и периодов времени, в которые риск возникновения авиационных конфликтов наиболее высок, и составлении ПП таким образом, чтобы его минимизировать. Отличительной особенностью от остальных подходов является анализ потенциальных сценариев развития воздушной обстановки, в случае отклонения от сформированных ПП.

ПП, в первую очередь, зависит от длительности полёта, расположения запасных аэродромов, возможности использования воздушного пространства и метеорологических условий [Иванова и др., 2024]. При составлении расписания авиарейсов используется сопоставительный анализ на основе показателей качества планирования полётов [Шайдуров и др., 2023; Abd Elghany et al., 2024].

В настоящее время все еще не решена проблема согласованности и обмена информацией между заинтересованными сторонами в использовании воздушного пространства. При планировании полётов необходимо учитывать динамику различных транспортных потоков, в том числе расписание железнодорожных рейсов с целью обеспечения бесперебойной пересадки пассажиров [Air-rail timetable..., 2024].

С учетом низкой достоверности оценки риска возникновения авиационного конфликта за длительный период времени до вылета ВС предотвращать конфликты ПП на этапе предтактического планирования не всегда целесообразно [Печенежский и др., 2023]. На этапе тактического планирования задачу оптимизации ПП по критерию минимума числа конфликтов N между числом M ПП ВС можно записать в следующем виде [Chaimatanan et al., 2015]:

$$N(s) \rightarrow 0, \quad (3)$$

где $s = (\delta, \omega, l)$ – множество изменяемых параметров, состоящее из следующих элементов: $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_M)$ – множество сдвигов профилей ПП во времени (δ_i , при $i = 1, \dots, M$ – сдвиг профиля i -го ПП), в пределах равномерно дискретизированного интервала $[\delta_{t,\min}, \delta_{t,\max}]$, $\delta_{t,\min}$ и $\delta_{t,\max}$ – минимально- и максимально-допустимые времена сдвига δ , $t_i = t_{i,0} + \delta_i$ – реальное время вылета i -го ВС, $t_{i,0}$ – плановое время вылета ВС; $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M)$ – множество дополнительных путевых точек во всем множестве ПП, ω_i – множество координат дополнительных путевых точек i -го ПП; $l = (l_1, l_2, \dots, l_M)$ –

множество сдвигов высот во всем множестве ПП, l_i – множество сдвигов высот (изменений эшелона полёта) в i -м ПП, с привязкой к участку.

Данная задача является NP-трудной с экспоненциально увеличивающимся временем решения при возрастании размерности M . Решить данную проблему возможно за счет дискретизации воздушного пространства пространственно-временной сеткой (рис. 6), в которой размеры ячеек соответствуют горизонтальным r_g и вертикальным r_v нормам эшелонирования [Chaimatanan et al., 2013]. В случае возникновения конфликта ПП одна либо соседние ячейки сетки заняты ВС. Использование высокоскоростного графического процессора (GPU) позволяет сократить время вычислений во время численной оптимизации на два порядка [Alligier et al., 2018].

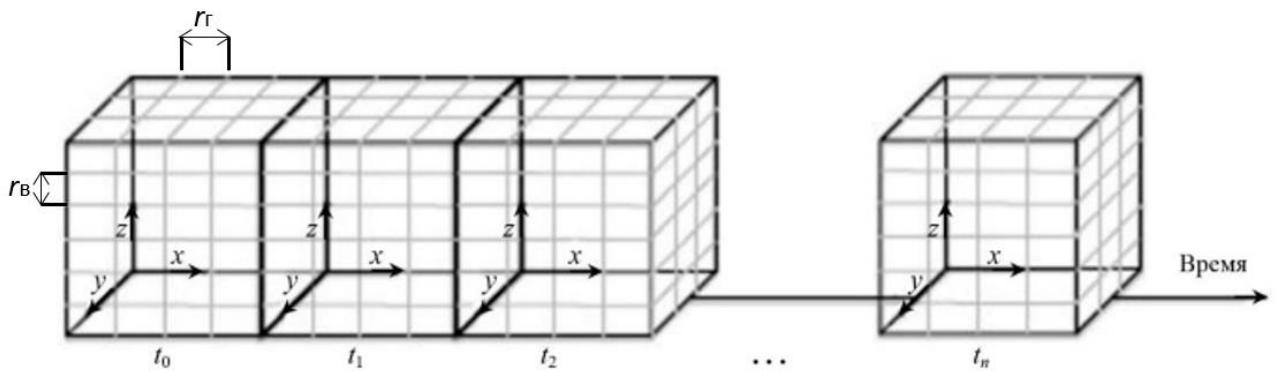


Рисунок 6 – Дискретизация воздушного пространства пространственно-временной сеткой (r_g и r_v – нормы горизонтального и вертикального эшелонирования, соответственно) [Chaimatanan et al., 2013]

В [Kuenz, 2015] описаны способы предотвращения конфликтов ПП за счет параллельного смещения ВС и перехода на другой односторонний эшелон, но не рассмотрены вопросы их совместного использования для минимизации количества конфликтов между ПП, включающим также сдвиги ПП во времени и изменение скоростей ВС. Для выбора наилучшего способа деконфликтации необходимо логически сравнивать различные способы предотвращения конфликта ПП и выбирать наилучший.

В большинстве случаев целесообразно оптимизировать ПП ВС по критерию минимума числа текущих и прогнозируемых опасных сближений, с учетом заданных ограничений $f_{K_{\text{зад}}}(tr_j) = |C| \text{ при } tr_j$. Моделирование показало [Kuenz et al., 2013], что более 90% опасных сближений может быть устранено за счет сдвига ПП во времени со смещением до 10 минут. В [Kuenz, 2015] приведена методика минимизации количества конфликтов между ПП ВС (рис. 7).

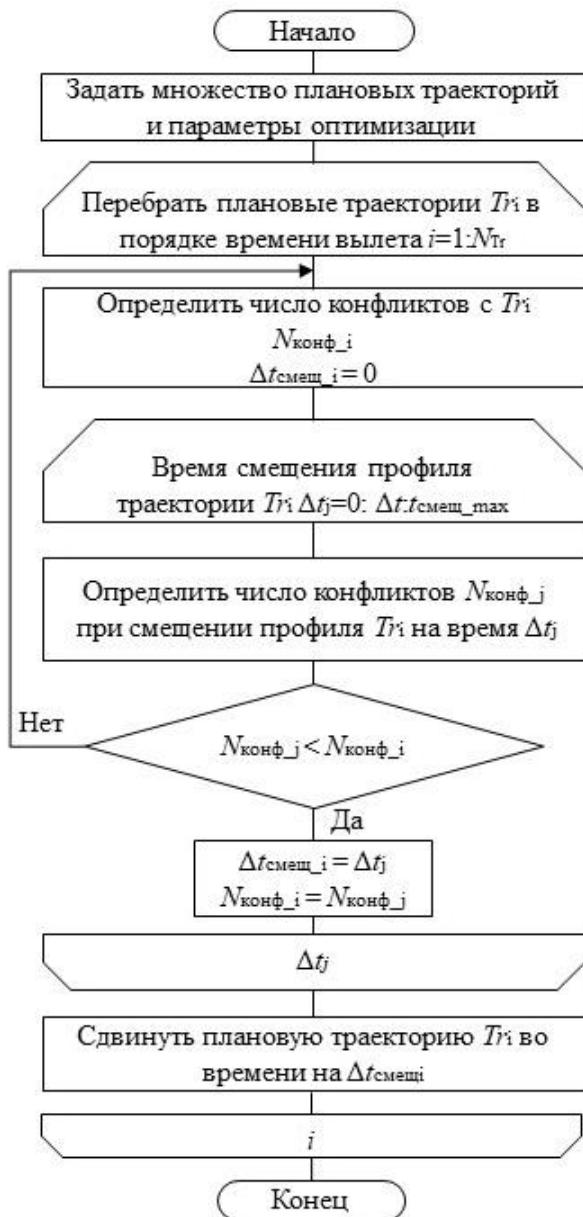


Рисунок 7 – Методика минимизации количества конфликтов между ПП ВС [Kuenz, 2015]

В [Нгуен и др., 20256] предложена унифицированная методика формирования и коррекции ПП ВС по заданным всеми участниками сообщества ОрВД критериям оптимальности с учётом влияния ветровой обстановки, запретных для полётов зон, движущихся зон сложных метеоусловий и других воздушных судов. Чтобы решить поставленные задачи, применяются многослойные нейронные сети для построения предпочтаемых пользователем ПП на базе обучения данных реализованных полётов по соответствующему маршруту, A-star алгоритм для формирования оптимальных траекторий облета стационарных и перемещающихся зон опасного сближения ВС, а также кривая Безье для сглаживания сформулированных A-star алгоритмом кусочно-линейных траекторий по требованиям к безопасным допускам траекторий полётов ВС (рис. 8).

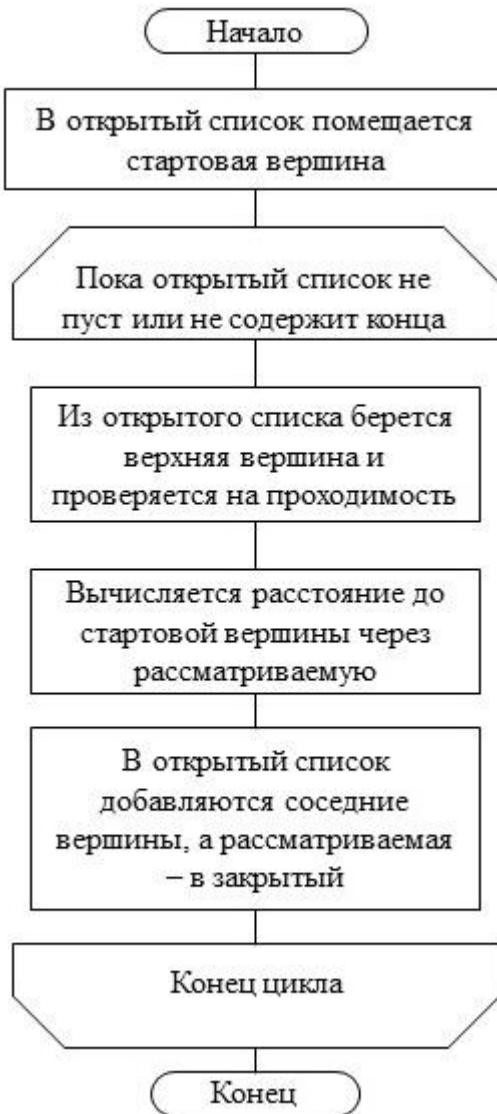


Рисунок 8 – Схема алгоритма A-star [Нгуен и др., 2025а]

Оптимизация множества ПП является эффективным способом увеличения пропускной способности воздушного пространства и снижения его перегруженности. В [Нгуен и др., 2025а] предложено оптимизировать множество ПП на основе алгоритма A-star. Также алгоритм поиска кратчайшего пути A-star возможно использовать для формирования оптимальной траектории обхода [Нгуен и др., 2024].

Данный новый подход помогает избегать ложных предупреждений о потенциальных конфликтных ситуациях в воздухе из-за возможности своевременного их обнаружения и точного определения расстояния от рассматриваемого ВС до зон опасного сближения с запретными для полётов зонами, зонами ограничения полётов, зонами сложных метеоусловий и другими ВС, что и позволяет автономно сформировать временно-пространственную траекторию их обхода.

В [Cafieri et al., 2014] оценена возможность уменьшения общего числа конфликтов между ПП за счет изменения скоростей движения ВС в диапазоне от -6% до $+3\%$ от первоначальной, при неизменном маршруте. При небольших

размерностях модель деконфликтации ПП ВС за счет регулирования скорости возможно реализовать с использованием решателя COUENNE [Branching..., 2009]. В [Granger et al., 2003] предложено при планировании полётов отдельно анализировать траектории небольших групп близко движущихся ВС, учитывая гипотезу, что между ними с наибольшей вероятностью возникнет опасное сближение.

В [Chaimatanan et al., 2013] предложено изменять профиль ПП ВС за счет добавления новых путевых точек (рис. 9), обеспечивающих параллельное смещение исходной траектории.

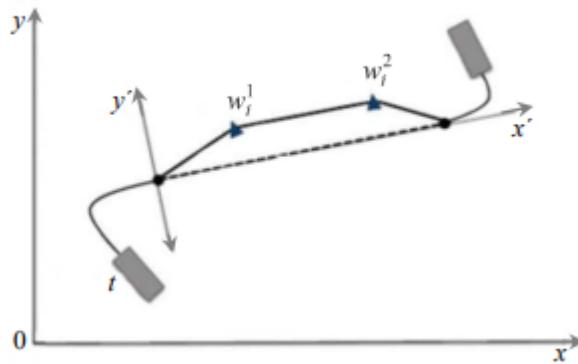


Рисунок 9 – Добавление в траекторию l новых путевых точек w_i^1 и w_i^2 , обеспечивающих параллельное смещение ВС

Для исключения резких маневров ВС новые путевые точки устанавливаются на расстоянии друг от друга не меньше заданного, а длина траектории не должна превышать установленное значение.

В [Куклев, 2017; Куклев, 2021; Куклев и др., 2024] предложено применять технологии искусственного интеллекта (ИИ) при управлении безопасностью полётов в гражданской авиации РФ. Управление безопасностью формируется для структур и состояний систем, определенных в нечетких множествах Fuzzy Sets на основе «уравнения катастрофы» в форме комбинаций логических условий возникновения опасных сценариев (событий) при недостаточном качестве работы системы ОрВД. Также возможно использовать сценарный анализ, основанный на моделировании состояния авиационного предприятия при возможных внешних и внутренних угрозах для безопасности полётов ВС с помощью языка знаковых орграфов [Мельник и др., 2023].

Совместное использование технологий больших данных и ИИ позволит усовершенствовать систему ОрВД за счёт инновационных решений, повышающих безопасность полётов, эффективность и пропускную способность. Основным преимуществом такой интеграции является улучшение процесса принятия решений за счет сбора и анализа больших объемов данных, включающих метеорологическую и аэронавигационную информацию, ПП, текущую и прогнозируемую воздушную обстановку, что позволяет выявлять перегрузки и корректировать ПП. Оптимизация использования ресурсов, таких как маршруты полётов, операции по взлёту и

посадке, также способствует увеличению пропускной способности аэропортов и сокращению времени ожидания и задержек [A Survey ..., 2022; Macedo da Cruz, 2022].

Нейронные сети способны анализировать текущие и прогнозируемые состояния воздушной обстановки, погодные условия, зоны ограничений для расчёта наилучшей траектории и выбора оптимального маршрута полёта. Их возможно использовать для создания ПП [Лебедев, 2025]. Недостатком нейронных сетей и методов искусственного интеллекта в целом является низкий уровень доверия к результатам, что не всегда приемлемо в автоматизированных системах, от которых зависят жизни людей. По этой причине в настоящее время методы искусственного интеллекта не имеют широкого применения в автоматизированных системах ОрВД и могут выполнять только вспомогательную функцию. Тем не менее внедрение искусственного интеллекта возможно и в такие системы, при организации надёжного контроля результатов его работы и устранении ненадежных результатов с использованием других подходов [A Survey ..., 2022].

Системы планирования полётов, организованные по принципу сетевентричности, повышают ситуационную осведомленность диспетчера за счет создания общей базы данных планов полётов, аэродинамических данных и параметров ВС, аэронавигационных данных статических и динамических, доступ к которым в режиме реального времени имеют все средства КСА ПИВП [Патент № 2746058 С9..., 2021; Патент № 2773453..., 2022; Patent US 9697737B2..., 2017]. Способ динамического планирования полётов [Патент US 11854407..., 2023] включает в себя сетевую модель воздушного пространства, для каждого ВС определяется соответствующее ему текущее и конечное положение на маршруте (ребре графа), после чего для каждого ВС определяется набор потенциальных ПП и из них выбирается наилучший по заданному показателю.

5. Синтез алгоритма формирования множества планов полётов

В [Воробьев и др., 2015] предложен алгоритм предтактического планирования полётов. Также различные подходы к планированию полётов приведены в [Замятин и др., 2011; Лазарев и др., 2011; Методика..., 2008]. Принципы автоматизации планирования полётов описаны в [Рудельсон, 2010] и книге³¹.

ПП $Pln = \langle (C_i, h, t)_1, \dots, (C_j, h, t)_M \rangle$, $i=1, \dots, M$ представляют собой последовательность кортежей $(C_i, h, t)_j$ из контрольных точек $C_i = (lat, lon)$ с сопоставленными им временами их пролета t и высотами h , где lat – широта, lon – долгота.

На рис. 10 в обобщенном виде показан алгоритм формирования множества ПП, синтезированный на основе известных подходов.

³¹ Рудельсон Л. Е. Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением. Часть II. Функциональное программное обеспечение. Книга 4 Модель использования воздушного пространства. Обработка плановой информации. М.: МГТУ ГА, 2004. с. 96.

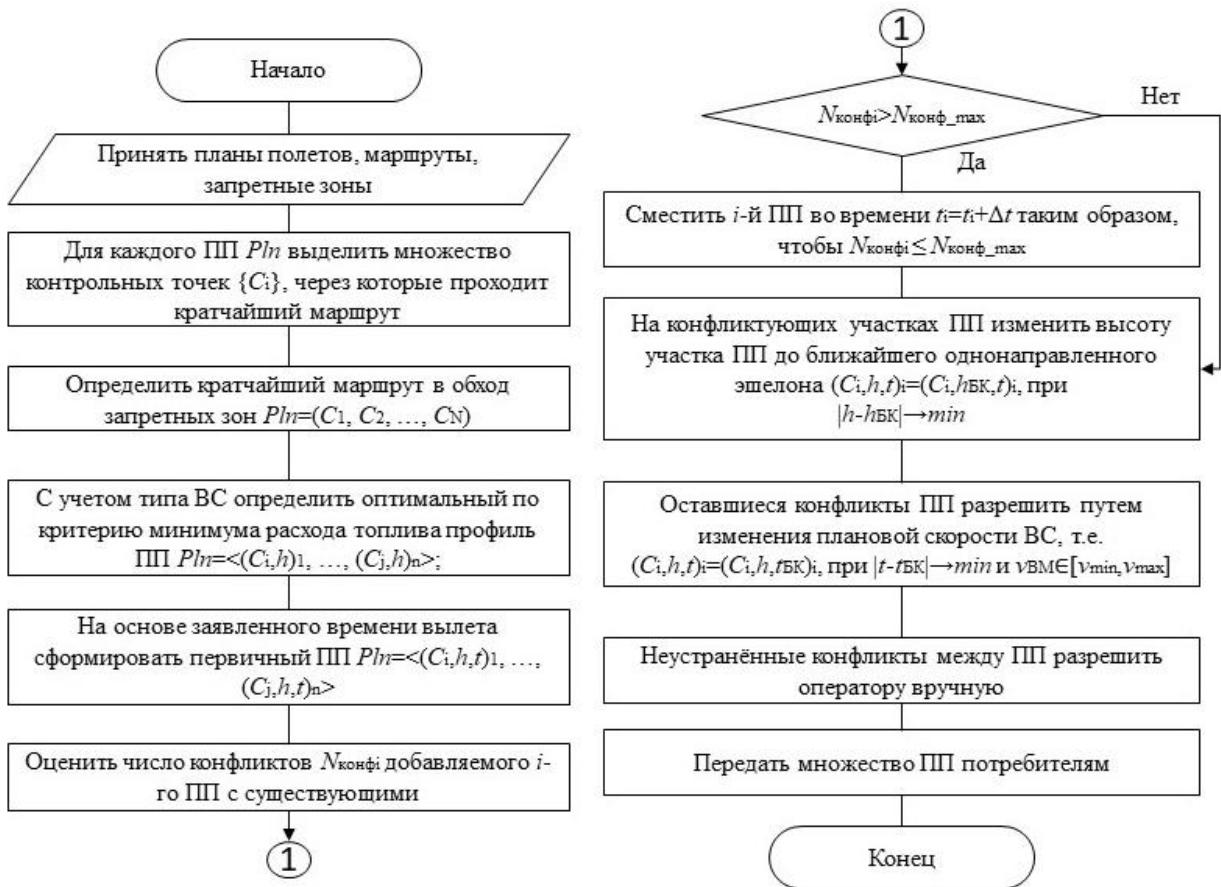


Рисунок 10 – Алгоритм формирования множества планов полётов

Здесь $h_{БК}$ – высота ближайшего к h эшелона полёта, в котором ПП будет бесконфликтным на участке между анализируемыми контрольными точками маршрута.

После выделения множества контрольных точек $\{C_i\}$ определяются зоны воздушного пространства $Res=\{C_k\}$, $k=1\dots, N_{Res}$, через которые не может проходить маршрут во время полёта, например, в результате полётов государственной авиации, плохих метеорологических условий, перегрузки органов ОрВД в результате высокой интенсивности воздушного движения. Для определения кратчайшего маршрута в обход запретных зон можно использовать алгоритм Дейкстры [Dijkstra, 1959]. В случае, если число конфликтов $N_{конфi}$ превышает максимально допустимое $N_{конфi} > N_{конф_max}$, проводится смещение ПП во времени, т. е. для каждого $t_i = t_i + \Delta t$. В случае, если расстояние r_i между контрольными точками C_i и C_{i+1} существенно больше конфликтующего фрагмента ПП, на его границах в план включаются дополнительные контрольные точки, высоты которых изменяются до $h_{БК}$.

6. Специальное программное обеспечение и комплексы средств автоматизации планирования использования воздушного пространства

В настоящее время в России известны следующие комплексы средств автоматизации планирования использования воздушного пространства (КСА ПИВП): «СИНТЕЗ-ПИВП» [Свидетельство... № 2022662604, 2022; Свидетельство... № 2021619800, 2021], «Планета» [Свидетельство...

№ 2019661744, 2019], «Топаз ПИВП» [Свидетельство... № 2016661914, 2016; Свидетельство... № 2016663267, 2016], «ПИВП МДП» [Свидетельство... № 2021661418, 2021], СПО ПИВП «Монитор-план» [Свидетельство... № 2023666403, 2023], КСА ПИВП ГО ПВД [Свидетельство... № 2021611797, 2021]. Данные системы обеспечивают комплексное единое военно-гражданское планирование и автоматизацию функций: стратегическое, предтактическое и тактическое ПИВП; организацию потоков воздушного движения (ОПВД); взаимодействие по плановой, аeronавигационной и справочной информации с другими агентами системы. Наиболее известными зарубежными системами являются N-Flight Planning, FSS Flight Planner, Lido Flight 4D, PPS Flight Planning, ARMS Flight Planning & Dispatch Sub System (FPDS).

КСА ПИВП ЗЦ/УЦ «СИНТЕЗ-ПИВП ЗЦ/УЦ» обеспечивает реализацию в человеко-машинном интерфейсе диспетчера ГО ПВД дополнительных элементов и функций для отображения и обработки ПП и связанных с ними стандартных сообщений в соответствии с требованиями «Табеля сообщений о движении воздушных судов в Российской Федерации».

7. Особые случаи

Известна система планирования и подготовки полётных заданий тактической группы самолётов [Патент РФ № 2147141..., 2000], предназначенная для использования в составе наземных комплексов планирования боевых действий самолётов ударной авиации, и автоматизированная система планирования и контроля использования воздушного пространства региона [Патент № 10898..., 1999]. Данные системы дополнительно включают модули планирования полёта группы ВС, планирования действий в районе цели, дозаправки, сбора в заданные боевые порядки и роспуска.

В [Patent US10540902B2 ..., 2020] предложено создавать ПП с использованием интерактивной карты на сенсорном дисплее в кабине экипажа. В патенте [Патент US 20140018979..., 2014] предложено использовать графический пользовательский интерфейс, включающий трёхмерное виртуальное пространство для полёта беспилотного летательного аппарата.

Results (Результаты)

Исходя из проведенного анализа, укрупненно можно выделить следующие алгоритмы планирования полётов (таб. 1).

Таблица 1 – Подходы планирования использования воздушного пространства

Подход	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Синтеза маршрутов движения	<p>Через существующие аэронавигационные точки от наиболее интенсивного потока до наименее интенсивного (без учета других потоков, но с наименьшим числом пересечений с уже существующими маршрутами) прокладываются маршруты, максимально близкие к соответствующей ортодромии. При необходимости вводятся дополнительные аэронавигационные точки. При отсутствии достаточного воздушного пространства для организации независимого маршрута очередной маршрут прокладывается по уже проложенным.</p>	<p>Позволяет сформировать маршруты движения ВС по заданным аэронавигационным точкам, близкие к кратчайшим, без превышения максимально-допустимых интенсивностей потоков ВС.</p>	<p>Не позволяет автоматически добавлять дополнительные аэронавигационные точки, позволяющие разгрузить маршруты движения ВС.</p>
Управления загрузкой органов ОрВД	<p>Каждому органу ОрВД сопоставляется максимально допустимая пропускная способность. В процессе планирования оценивается их прогнозируемая загрузка. В случае превышения максимально допустимой пропускной способности, оценивается возможность сдвига во времени участка траектории,</p>	<p>Позволяет выдерживать загрузку органов ОрВД в пределах нормы, а также частично выравнивать ее.</p>	<p>Увеличивает длину траекторий при проведении разгрузки органов ОрВД за счет отдаления от ортодромии.</p>

Подход	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
	проходящего через зону ответственности соответствующего органа ОрВД, а также возможность формирования траектории через зоны ответственности других органов ОрВД.		
Оптимизация множества плановых траекторий	В заданной области воздушного пространства оценивается общее число конфликтов ПП. Участки траекторий, характеризующие этапы взлета и посадки, оптимизируются с использованием алгоритмов оптимизации потока вылетов/прилетов. Единичные конфликты разрешаются соответствующими способами. В случае возникновения достаточно большого числа опасных сближений траекторий в пределах зоны ответственности органа ОрВД, выделяются траектории, имеющие наибольшее число конфликтов, и сдвигаются во времени, прокладываются через зоны ответственности других органов ОрВД.	Уменьшает число конфликтов ПП в заданной области воздушного пространства.	Не позволяет рассчитать оптимальные по заданному критерию (пропускной способности, расходу топлива и т.д.) плановые траектории ВС.
Разрешения единичных конфликтов ПП	Единичные конфликты разрешаются вручную одним из нескольких способов: изменением времен прохождения контрольных точек траектории, параллельным	Позволяет разрешать единичные конфликты ПП.	При разрешении нескольких конфликтов ПП вблизи друг друга может привести к дополнительным конфликтам ПП.

Подход	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
	смещением траектории, путем добавления новых контрольных точек, векторением, либо переходом на другой эшелон полёта.		
Оптимизации потока вылетов/прилетов	С учетом заданных временных интервалов между взлетами и посадками ВС, определяемых в зависимости от их весовых категорий, скоростей и расположения ВПП на аэродроме друг относительно друга, определяется порядок взлетов и посадок ВС, повышающий пропускную способность аэродрома, либо снижающий суммарный расход топлива.	Позволяет рассчитать оптимальные времена вылетов и прилетов ВС по критериям максимальной пропускной способности аэродрома, минимальной задержки рейса и минимального расхода топлива.	Оптимизирует ПП только на этапах взлета и посадки.

Conclusion (Заключение)

Проведен анализ научных публикаций, описывающих современные подходы к планированию использования воздушного пространства. Основное внимание уделялось отечественным и зарубежным научным статьям и патентам на изобретения, начиная с 2017 г. На основе анализа источников, исходя из физического смысла и полноты группы, предложена следующая классификация подходов: синтеза маршрутов движения, управления загрузкой органов ОрВД, оптимизации множества ПП, разрешения единичных конфликтов ПП, оптимизации потока вылетов/прилетов. В настоящее время в открытых источниках не приведен алгоритм планирования использования воздушного пространства, позволяющий в автоматическом режиме вычислить оптимальные ПП ВС по критерию максимальной пропускной способности воздушного пространства с ограничениями на расход топлива и др. показатели качества.

Библиографический список

Баушев С. В. Обоснование и выбор математического аппарата при проведении научных исследований // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО "Алмаз - Антей". 2024. № 14(22). С. 15-37. EDN STOQGN.

Будков А. С. Анализ проблем, возникающих при выполнении маршрутов четырёхмерной навигации в гражданской авиации, и определение основных путей их решения // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2021. № 1. С. 37-43. DOI 10.51955/2312-1327_2021_1_37. EDN CZLDHK.

Воробьев В. В. Алгоритм предтактического планирования использования воздушного пространства / В. В. Воробьев, А. С. Харламов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 218(8). С. 135-141. EDN UHPYQH.

Габейдулин Р. Х. Алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированной системы планирования использования воздушного пространства в ГЦ ЕС ОрВДД / Р. Х. Габейдулин, Д. И. Горячев, И. Ф. Зубкова // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. № 159. С. 121-127. EDN NUJML.

Гимиян М. К. Методика анализа загруженности диспетчерского персонала региональных центров с учетом уровня автоматизации систем планирования воздушного движения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2024. № 3(44). С. 83-91. EDN CTQGOB.

Глобальный аэронавигационный план на 2016–2030 гг. Doc 9750-AN/963 Издание пятое. Канада: Международная организация гражданской авиации, 2016. 142 с.

Григорьев С. В. Управление скоростями воздушных судов для создания безопасных интервалов / С. В. Григорьев, В. М. Затонский // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2022. № 3(36). С. 107-117. EDN VPXBTR.

Демин Б. Е. Логико-лингвистический подход к представлению знаний в информационных системах // Системы управления и информационные технологии. 2006. № 3(25). С. 15-18. EDN JWXBLX.

Жук А. А. Планирование оптимального маршрута движения беспилотного летательного аппарата по критерию минимума общего расхода топлива / А. А. Жук, В. М. Бурайчик, С. В. Акулич // Системный анализ и прикладная информатика. 2022. № 3. С. 43-49. DOI 10.21122/2309-4923-2022-3-43-49. EDN CULEQB.

Замятин А. А. Введение в стохастические модели транспортных потоков / А. А. Замятин, В. А. Малышев // Московский центр непрерывного математического образования. 2011. С. 247-287.

Иванова П. И. Порядок расчета рейсов гражданскими авиакомпаниями на всех этапах планирования полетов / П. И. Иванова, В. К. Печенежский, Е. К. Чувиковская // Автоматизация. Современные технологии. 2024. № 7. С. 322-325.

Казаков К. А. Обзор современных методов планирования движения / К. А. Казаков, В. А. Семенов // Труды Института системного программирования РАН. 2016. Т. 28, № 4. С. 241-294. DOI 10.15514/ISPRAS-2016-28(4)-14. EDN WWQYLT.

Княжский А. Ю. Современное состояние и перспективы развития систем планирования использования воздушного пространства. Часть 1 / А. Ю. Княжский, С. В. Баушев // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2025. № 1. С. 86-104. DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_86. EDN UWRQIW.

Куклев Е. А. Интеллектуальная поддержка принятий решений при управлении безопасностью полетов поставщиков услуг гражданской авиации на основе сценарного моделирования редких событий / Е. А. Куклев, Д. М. Мельник // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Материалы XXXII международной конференции, посвященной памяти Владимира Васильевича Кульбы, Заслуженного деятеля науки РФ, д-

ра техн. наук, профессора, Москва, 13 ноября 2024 года. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2024. С. 514-521. EDN JKQLQE.

Куклев Е. А. Моделирование опасных сценариев событий при эксплуатации транспортных систем в условиях неопределенности ситуаций // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 3(94). С. 28-32. EDN RQUWKQ.

Куклев Е. А. Определение показателей безопасности полетов воздушных судов на основе риск-ориентированного подхода ИКАО - НАСА // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2017. № 3(16). С. 5-15. EDN ZWDPOZ.

Кулида Е. Л. Методы решения задач планирования и регулирования потоков воздушного движения. Ч. 1. Стратегическое планирование четырехмерных траекторий / Е. Л. Кулида, В. Г. Лебедев // Проблемы управления. 2023. № 1. С. 3-14. DOI 10.25728/ru.2023.1.1. EDN IPSSWG.

Лазарев А. А. Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы // МГУ им. М.В. Ломоносова - 2011. 222 с.

Лебедев К. А. Построение оптимального воздушного маршрута летательного аппарата с использованием искусственного интеллекта // Вестник науки. 2025. Т. 1, № 6(87). С. 1476-1482. EDN GSJSIV.

Лошаков А. В. Способы повышения пропускной способности аэропорта / А. В. Лошаков, А. В. Сучков, С. В. Аверин // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2023. №2 (102). С. 49-53.

Мельник Д. М. Сценарный анализ в управлении безопасностью полетов на авиационном предприятии гражданской авиации / Д. М. Мельник, Е. А. Куклев // Проблемы управления безопасностью сложных систем : Материалы XXXI международной конференции, Москва, 13 декабря 2023 года. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023. С. 366-375. DOI 10.25728/iccss.2023.64.99.050. EDN VQIMOB.

Методика автоматизированного проектирования организации воздушного пространства в регионе ОВД. М.: Госкорпорация по ОрВД, 2008. 55 с.

Нгуен Н. Х. К. Математическая модель и применение алгоритма A-star для оптимизации маршрутов ОВД в воздушном пространстве районного диспетчерского центра Хошимина / Н. Х. К. Нгуен, В. Н. Нечаев, В. Б. Малыгин // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2025. № 1 (44). С. 64-85. DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_64. EDN XGLVST.

Нгуен Т. Л. Ф. Разработка методики идентификации и разрешения конфликтных ситуаций при оперативном планировании четырехмерной траектории полета / Т. Л. Ф. Нгуен, Е. С. Неретин, Н. М. Нгуен // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 2. С. 77-95. DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_77. EDN SCSVDZ.

Нгуен Т. Л. Ф. Унифицированная методика планирования оптимальных четырёхмерных траекторий полёта на крейсерском этапе при организации воздушного движения / Т. Л. Ф. Нгуен, Е. С. Неретин, Н. М. Нгуен // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2025. № 1 (44). С. 22-45. DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_22. EDN RJMVRB.

Нечеткий логико-лингвистический алгоритм обнаружения инцидентов в киберфизических системах / Н. В. Чикалов, М. Е. Березин, Ю. А. Гатчин, В. И. Поляков // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте ИММВ-2022 : Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Коломна, 16–19 мая 2022 года. Том 1. Коломна: Общероссийская общественная организация «Российская ассоциация искусственного интеллекта», 2022. С. 156-167. EDN ILXFUC.

Олексин С. Л. Разработка концепции системы показателей сложности технологических процессов ОВД // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2024. № 1(42). С. 45-53. EDN DZDCMD.

Патент на полезную модель № 10898 У1 Российская Федерация, МПК G06F 15/16. Автоматизированная система планирования и контроля использования воздушного пространства региона : № 99104216/20 : заявл. 01.03.1999 : опубл. 16.08.1999 / Я. В. Безель, В. И. Лотарев, Ю. С. Цапин [и др.] ; заявитель Московский научно-исследовательский институт приборной автоматики. EDN FBRIJE.

Патент № 2147141 С1 Российская Федерация, МПК G06F 15/00. система планирования и подготовки полетных заданий тактической группы самолетов : № 99108140/09 : заявл. 21.04.1999 : опубл. 27.03.2000 / Г. И. Джанджава, Г. И. Герасимов, Ш. Ф. Чарышев [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество Раменское приборостроительное конструкторское бюро. EDN ZQUAAL.

Патент № 2746058 С9 Российская Федерация, МПК G08G 7/00, G08G 5/00, G06F 17/00. Способ и устройство управления воздушным движением : № 2020124442 : заявл. 23.07.2020 : опубл. 14.12.2021 / Н. С. Логунов, А. М. Миролюбов, А. А. Саидов ; заявитель Закрытое акционерное общество "Азимут-Альянс". EDN NUYWNR.

Патент № 2773453 С1 Российская Федерация, МПК G01C 23/00. Комплексная система планирования применения и подготовки полетных заданий группе летательных аппаратов : № 2021114364 : заявл. 21.05.2021 : опубл. 03.06.2022 / Д. В. Сухомлинов, Ю. В. Полховцев, К. В. Епишин [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. EDN REAXZM.

Патент № 2798628 С1 Российская Федерация, МПК G05D 1/00, G01C 23/00, B64C 19/00. Способ определения оптимального маршрута обхода летательным аппаратом зон грозовой деятельности и ливневых осадков : № 2023103231 : заявл. 13.02.2023 : опубл. 23.06.2023 / И. А. Ядров. EDN XVYWCC.

Патент US 11854407 B2 System and method for airspace planning, G08G 5/00 : US17963771, заявл. 11.10.2022, опубл. 26.12.2023 / James W. Herriot.

Патент US 20140018979 A1 Autonomous airspace flight planning and virtual air-space containment system, G08G 5/00 : заявл. 12.06.2013, опубл. 16.01.2014 / Emray R. Goossen, Katherine Goossen, Scott H. Lafler

Печенежский В. К. Особенности организации планирования использования воздушного пространства в РФ на примере Московской воздушной зоны / В. К. Печенежский, Е. К. Чувиковская // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. Т. 26, № 6. С. 47-57. DOI 10.26467/2079-0619-2023-26-6-47-57. EDN VJOFJZ.

Рудельсон Л. Е. Алгоритмические задачи автоматизации планирования использования воздушного пространства // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. № 159. С. 113-120. EDN NUJTMV.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666403 Российской Федерации. Специальное программное обеспечение планирования использования воздушного пространства (СПО ПИВП "Монитор-план") : № 2023665361 : заявл. 20.07.2023 : опубл. 31.07.2023 / С. А. Трофимов, А. А. Разов, А. М. Шепелев [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «МОНИТОР СОФТ». EDN UXJJCK.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016663267 Российской Федерации. "Программное обеспечение комплекса средств автоматизации планирования использования воздушного пространства для группы обеспечения планирования воздушного движения "Топаз ПИВП АЦ" : № 2016619319 : заявл. 31.08.2016 : опубл. 29.11.2016 / А. Н. Бочкарев, С. И. Кудаков, С. А. Трофимов [и др.] ; заявитель Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Лианозовский электромеханический завод». EDN ZCNGZT.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661418 Российской Федерации. Прикладное программное обеспечение (ППО) КСА ПИВП ЗЦ/УЦ "синтез-ПИВП ЗЦ/УЦ" РШПИ.00394-04 : № 2021660665 : заявл. 06.07.2021 : опубл.

09.07.2021 ; заявитель Акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры». EDN NLVMZC. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661744. Специальное (прикладное) программное обеспечение для сервера плановой информации и автоматизированного рабочего места диспетчера ПИВП (НКПГ.10210-10) комплекса средств автоматизации планирования использования воздушного пространства "Планета-5" : № 2019660110 : заявл. 19.08.2019 : опубл. 06.09.2019 ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Фирма "Новые информационные технологии в авиации". EDN LKIPVW.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661914 Российской Федерации. "Программное обеспечение комплекса средств автоматизации планирования использования воздушного пространства "Топаз ПИВП УЦ" : № 2016619302 : заявл. 31.08.2016 : опубл. 25.10.2016 / В. Ю. Асатуров, А. Н. Бочкирев, А. Н. Алексеев [и др.] ; заявитель Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Лианозовский электромеханический завод». EDN PDEXAW.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611797 Российской Федерации. ГСА ПИВП го ПВД : № 2021611115 : заявл. 05.02.2021 : опубл. 05.02.2021 / С. А. Трофимов, С. В. Федосеев, А. В. Мешенников [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «МОНИТОР СОФТ». EDN JAFTFA.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619800 Российской Федерации. Серверное ПО обработки плановой информации КСА ПИВП ЗЦ (включая задачи ОПВД) РШПИ.00394-03 12 02-5 : № 2021618789 : заявл. 03.06.2021 : опубл. 17.06.2021 / И. В. Буслаев, М. С. Беленькая, И. А. Первушин [и др.] ; заявитель Акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры». EDN INIJKG.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662604 Российской Федерации. Прикладное по поддержки тс-2013 (с поправкой 2016) в АРМ диспетчера ПИВП АДП РШПИ.00394-02 12 09-1 : № 2022662144 : заявл. 29.06.2022 : опубл. 05.07.2022 / И. В. Буслаев, Е. А. Максимов, Д. Д. Мальцев ; заявитель Акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры». EDN MPYEOV.

Табель сообщений о движении воздушных судов в Российской Федерации, 2013, 123 с. Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации» (ФАП №239) / Министерство транспорта Российской Федерации, 2011. 139 с. Шайдуров И. Г. Новые методы организации потоков воздушного движения / И. Г. Шайдуров, Е. В. Тищенко // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2023: Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 14-15 нояб., 2023. Т. 2. СПб., 2023. С. 48-54

Шейко Э. В. Методика комплексной оценки пропускной способности диспетчерских зон // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 4(41). С. 95-106. EDN QHUSCU.

A Survey on Artificial Intelligence (AI) and eXplainable AI in Air Traffic Management: Current Trends and Development with Future Research Trajectory / Degas Augustin, Mir Riyanul Islam, Christophe Hurter at al. // Applied sciences, 2022. P. 1-18.

Abdelghany A. Schedule-level optimization of flight block times for improved airline schedule planning: A data-driven approach / A. Abdelghany, K. Abdelghany, V. S. Guzhva // Journal of Air Transport Management. 2024. № 115(1). p. 102535. DOI 10.1016/j.jairtraman.2023.102535.

Air-rail timetable synchronization: Improving passenger connections in Europe within and across transportation modes / Buire Clara, Narzuoli Aude, Delahaye Daniel, Mongeau Marcel // Journal of Air Transport Management. 2024. № 115. 102526. p.

Alligier R. Efficient Conflict Detection for Conflict Resolution / R. Alligier, N. Durand, G. Alligier // ICRAT 2018, 8th International Conference on Research in Air Transportation. Castelldefels, Spain, 2018.

Branching and Bounds Tightening Techniques for Non-convex MINLP / P. Belotti, J. Lee, L. Liberti, et al. // Optimization Methods and Software. 2009. Vol. 24(4). P. 597–634.

Buffer scheduling for improving on-time performance and connectivity with a multi-objective simulation-optimization model: A proof of concept for the airline industry / Isabelle M. van Schilt, Jonna van Kalker, Iulia Lefter, Jan H. Kwakkel et al. // J. Air Transp. Manag. 2024. 115 c.

Cafieri S. Aircraft Deconfliction with Speed Regulation: New Models from Mixed-Integer Optimization / S. Cafieri, N. Durand // Journal of Global Optimization. 2014. Vol. 58, № 4. P. 613–629.

Chaimatanan S. Aircraft 4D Trajectories Planning under Uncertainties / S. Chaimatanan, D. Delahaye M. Mongeau // Proceedings of 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2015). Cape Town, South Africa. 2015. P. 51–58.

Chaimatanan S. Strategic Deconfliction of Aircraft Trajectories / S. Chaimatanan, D. Delahaye, M. Mongeau // ISIATM 2013, 2nd International Conference on Interdisciplinary Science for Innovative Air Traffic Management. Toulouse, France, 2013.

Dechter R. Generalized best-first search strategies and the optimality of A* / R. Dechter, J. Pearl // Journal of the ACM. 1985. T. 32, № 3. C. 505-536.

Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. 1959. Vol. 1, Iss. 1. P. 269-271.

Granger G. A Traffic Complexity Approach through Cluster Analysis / G. Granger, N. Durand // Proceedings of the 5th ATM Research and Development Seminar. Budapest, Hungary, 2003.

Katsigiannis F. A. Incorporating slot valuation in making airport slot scheduling decisions / F. A. Katsigiannis, K. Zografos // European Journal of Operational Research. 2023. Volume 308, Issue 1. P. 436-454. DOI 10.1016/j.ejor.2022.11.008.

Kernighan B. W. An efficient heuristic procedure for partitioning graphs / B. W. Kernighan, S. Lin // Bell System Technical Journal. 1970. 49 (2). pp. 291-307.

Kuenz A. High Performance Conflict Detection and Resolution for Multi-Dimensional Objects / Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, PhD dissertation. German, 2015. 236 p.

Kuenz A. Individualism in global air-space-user-preferred trajectories in future ATM / A. Kuenz, S. Gunnar, W. Franz-Erich // 32nd Digital Avionics Systems Conference October 6-10, 2013. Germany, pp. 1-13.

Macedo da Cruz André Luiz. Transforming air traffic management with big data and artificial intelligence // International seven journal of multidisciplinary. 2022. № 1(2). P. 1-8. DOI <https://doi.org/10.56238/isevmjv1n2-009>.

Patent EP 2381432 A1 Flight planning methods and systems, G08G 5/00, filed 22.04.2010, published 26.10.2011.

Patent EP 2561500 B1 Flight planning methods and systems, G08G 5/00, filed 26.04.2011, published 29.07.2020 / Steven Pendry, Timothy Hood, Adrian Christopher Hubbard.

Patent US10540902B2 Flight planning and communication, МПК G08G 5/00, filed 24.04.2017, published 21.01.2020 / Jeremy Joseph Kneuper, John Robert Lanier, Jason Michael Decker.

Patent US9697737B2 Automatic real-time flight plan updates, МПК G08G 5/00, filed 30.09.2014, published 04.07.2017 / Ryan D. HaleLouis J. Bailey.

References

Abdelghany A., Abdelghany K., Guzhva V. S. (2024). Schedule-level optimization of flight block times for improved airline schedule planning: A data-driven approach. *Journal of Air Transport Management*. 115(1): 102535.

Alligier R., Durand N., Alligier G. (2018). Efficient Conflict Detection for Conflict Resolution. *ICRAT 2018, 8th International Conference on Research in Air Transportation*. (8): 1-8.

Baushev S. V. (2024). Justification and selection of mathematical apparatus in conducting scientific research. Radio navigation and time: works of the North-West Regional Center of the Almaz-Antey Air and Space Defense Concern. 14 (22): 15-37.

Belotti P., Lee J., Liberti L., et al. (2009). Branching and Bounds Tightening Techniques for Non-convex MINLP. Optimization Methods and Software. 24(4): 597–634.

Budkov A. S. (2021). Analysis of problems arising during the implementation of four-dimensional navigation routes in civil aviation, and determination of the main ways to solve them. Crede Experto: transport, society, education, language. (1): 37-43. [In Russian]

Buire C., Marzuoli A., Delahaye D., Mongeau M. (2024). Air-rail timetable synchronisation: Improving passenger connections in Europe within and across transportation modes. Journal of Air Transport Management. (115): 1-21.

Cafieri S., Durand N. (2014). Aircraft Deconfliction with Speed Regulation: New Models from Mixed-Integer Optimization // Journal of Global Optimization. 58(4): 613–629.

Certificate of state registration of computer program No. 2016661914 Russian Federation. "Software for the airspace use planning automation system "Topaz PIVP UC": No. 2016619302: declared 31.08.2016: published 25.10.2016 / V. Yu. Asaturov, A. N. Bochkarev, A. N. Alekseev [et al.]; applicant Joint-Stock Company "Scientific and Production Association "Lianozovsky Electromechanical Plant".

Certificate of state registration of computer program No. 2016663267 Russian Federation. "Software for the airspace planning automation system for the air traffic planning support group "Topaz PIVP AC": No. 2016619319 : declared 31.08.2016 : published 29.11.2016 / A. N. Bochkarev, S. I. Kudakov, S. A. Trofimov [et al.] ; applicant Joint-Stock Company "Scientific and Production Association "Lianozovsky Electromechanical Plant".

Certificate of state registration of computer program No. 2019661744. Special (application) software for the server of scheduled information and the automated workplace of the PIVP dispatcher (NKPG.10210-10) of the Planeta-5 airspace use planning automation complex: No. 2019660110 : declared 19.08.2019 : published 06.09.2019 ; applicant Limited Liability Company "Firm "New Information Technologies in Aviation".

Certificate of state registration of computer program No. 2021611797 Russian Federation. GSA PIVP go PVD: No. 2021611115: declared 05.02.2021: published 05.02.2021 / S. A. Trofimov, S. V. Fedoseyev, A. V. Meshennikov [et al.]; applicant Limited Liability Company MONITOR SOFT.

Certificate of state registration of computer program No. 2021619800 Russian Federation. Server software for processing planned information KSA PIVP ZTs (including OPVD tasks) RShPI.00394-03 12 02-5: No. 2021618789: declared 03.06.2021: published 17.06.2021 / I. V. Buslaev, M. S. Belenkaya, I. A. Pervushin [et al.]; applicant Joint-Stock Company "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment".

Certificate of state registration of computer programs No. 2021661418 Russian Federation. Application software (AS) KSA PIVP ZC/UC "sintez-PIVP ZC/UC" RShPI.00394-04 : No. 2021660665 : declared 06.07.2021 : published 09.07.2021 ; applicant Joint-Stock Company "All-Russian Scientific Research Institute of Radio Equipment of the Order of the Red Banner of Labor".

Certificate of state registration of the computer program No. 2022662604 Russian Federation. Application for support of TS-2013 (with amendment 2016) in the automated workplace of the dispatcher PIVP ADP RShPI.00394-02 12 09-1: No. 2022662144: declared. 29.06.2022: published. 05.07.2022 / I. V. Buslaev, E. A. Maksimov, D. D. Maltsev; applicant Joint-Stock Company "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment".

Certificate of state registration of the computer program No. 2023666403 Russian Federation. Special software for airspace use planning (SPO PIVP "Monitor-plan"): No. 2023665361: declared. 20.07.2023: publ. 31.07.2023 / S. A. Trofimov, A. A. Razov, A. M. Shepelev [et al.]; applicant Limited Liability Company MONITOR SOFT.

Chaimatanan S., Delahaye D., Mongeau M. (2015). Aircraft 4D Trajectories Planning under Uncertainties. *Proceedings of 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2015)*. Cape Town, South Africa: 51–58.

Chaimatanan S., Delahaye D., Mongeau M. Strategic Deconfliction of Aircraft Trajectories. *ISIATM 2013, 2nd International Conference on Interdisciplinary Science for Innovative Air Traffic Management*: 2013.

Chikalov N. V., Berezina M. E., Gatchin Yu. A., Polyakov V. I. (2022). Fuzzy logical-linguistic algorithm for detecting incidents in cyber-physical systems. *Integrated models and soft computing in artificial intelligence IMMV-2022: Collection of scientific papers of the XI International scientific and practical conference. In 2 volumes.* (1): 156-167. [In Russian]

Dechter R., Pearl J. (1985). Generalized best-first search strategies and the optimality of A*. *Journal of the ACM*. 32(3): 505-536.

Degas Augustin, Mir Riyanul Islam, Christophe Hurter at al. (2022). A Survey on Artificial Intelligence (AI) and eXplainable AI in Air Traffic Management: Current Trends and Development with Future Research Trajectory. *Applied sciences*. 12(3): 1-18.

Demin B. E. (2006). Logical-linguistic approach to knowledge representation in information systems. *Control systems and information technologies*. 3(25): 15-18. [In Russian]

Dijkstra E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik. Springer Science+Business Media*. 1(1): 269-271.

Federal aviation regulations "Organization of Air Traffic in the Russian Federation" (FAP No. 239). *Ministry of Transport of the Russian Federation*. 2011. 139 p.

Gabeidulin R. Kh., Goryachev D. I., Zubkova I. F. (2010). Algorithmic and software support for the automated airspace planning system in the Unified Air Traffic Control Center. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. (159): 121-127. [In Russian]

Gimishyan M. K. (2024). Methodology for analyzing the workload of regional center dispatch personnel taking into account the level of automation of air traffic planning systems. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 3 (44): 83-91. [In Russian]

Global Air Navigation Plan 2016-2030. Doc 9750-AN / 963 Fifth edition. *International Civil Aviation Organization*. 2016. 142 p.

Granger G., Durand N. (2003). A Traffic Complexity Approach through Cluster Analysis. *Proceedings of the 5th ATM Research and Development Seminar*. (1): 1-10.

Grigoriev S. V., Zatonsky V. M. (2022). Aircraft speed control to create safe intervals. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 3 (36): 107-117. [In Russian]

Ivanova P. I., Pechenizhsky V. K., Chuvikovskaya E. K. (2024). The procedure for calculating flights by civil airlines at all stages of flight planning. *Automation. Modern technologies*. (7): 322-325. [In Russian]

Katsigiannis Fotion A., Zografos Konstantinos G. (2022). Incorporating slot valuation in making airport slot scheduling decisions. *European Journal of Operational Research*. (1): 436-454.

Kazakov K. A., Semenov V. A. (2016). Review of modern traffic planning methods. *Proceedings of the Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences*. (28)4: 241-294.

Kernighan B. W., Lin S. (1970). An efficient heuristic procedure for partitioning graphs. *Bell System Technical Journal*. 49 (2): 291-307.

Knyazhsky A. Yu., Baushev S. V. (2025). Current state and prospects for the development of airspace planning systems. Part 1. *Crede Experto: transport, society, education, language*. (1): 86-104. [In Russian]

Kuenz A. (2015). High Performance Conflict Detection and Resolution for Multi-Dimensional Objects. *Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, PhD dissertation*: 236.

Kuenz A., Gunnar S., Franz-Erich W. (2013). Individualism in global air-space-user-preferred trajectories in future ATM. *32nd Digital Avionics Systems Conference October 6-10*: 1-13.

Kuklev E. A. (2017). Definition of aircraft flight safety indicators based on the ICAO - NASA risk-based approach. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 3(16): 5-15. [In Russian]

Kuklev E. A. (2021). Modeling of hazardous event scenarios during operation of transport systems in conditions of uncertainty of situations. *Transport of the Russian Federation*. 3(94): 28-32. [In Russian]

Kuklev E. A., Melnik D. M. (2024). Intelligent decision support for flight safety management of civil aviation service providers based on scenario modeling of rare events. *Problems of safety management of complex systems: Proceedings of the XXXII international conference dedicated to the memory of Vladimir Vasilyevich Kulba, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow, November 13, 2024. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences*. (32): 514-521. [In Russian]

Kulida E. L., Lebedev V. G. (2023). Methods for solving problems of planning and regulating air traffic flows. Part 1. Strategic planning of four-dimensional trajectories. *Problems of Management*. (1): 3-14. [In Russian]

Lazarev A. A. Gafarov E. R. (2011). Scheduling Theory. Problems and Algorithms. *Moscow State University named after M.V. Lomonosov*: 222. [In Russian]

Lebedev K. A. Construction of an optimal air route for an aircraft using artificial intelligence // *Bulletin of Science Volume 1*. 6(87): 1476. [In Russian]

Loshakov A. V., Suchkov A. V., Averin S. V. (2023). Ways to increase airport capacity. *Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University*. 2 (102): 49-53. [In Russian]

Macedo da Cruz André Luiz. (2022). Transforming air traffic management with big data and artificial intelligence. *International seven journal of multidisciplinary*. 1(2): 1-8.

Melnik D. M., Kuklev E. A. (2023). Scenario analysis in flight safety management at a civil aviation enterprise. *Problems of safety management of complex systems: Proceedings of the XXXI international conference. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences*: 366-375. [In Russian]

Methodology for automated design of airspace organization in the ATS region. *State ATM Corporation*: 2008. 55.

Nguyen N. H. K., Nechaev V. N., Malygin V. B. (2025). Mathematical model and application of the A-star algorithm for optimization of ATS routes in the airspace of the Ho Chi Minh City regional control center. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 1(44): 64-85. [In Russian]

Nguyen T. L. F., Neretin E. S., Nguyen N. M. (2024). Development of a methodology for identifying and resolving conflict situations in the operational planning of a four-dimensional flight trajectory. *Crede Experto: transport, society, education, language*. (2): 77-95.

Nguyen T. L. F., Neretin E. S., Nguyen N. M. (2025). Unified methodology for planning optimal four-dimensional flight trajectories at the cruising stage in air traffic management. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 1 (44): 22-45

Oleksin S. L. (2024). Development of the concept of a system of indicators of the complexity of ATS technological processes. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. (42): 45-53. [In Russian]

Patent EP 2381432 A1 Flight planning methods and systems, G08G 5/00, filed 22.04.2010, published 26.10.2011.

Patent EP 2561500 B1 Flight planning methods and systems, G08G 5/00, filed 26.04.2011, published 29.07.2020 / Steven Pendry, Timothy Hood, Adrian Christopher Hubbard.

Patent No. 10898 U1 Russian Federation, IPC G06F 15/16. Automated system for planning and monitoring the use of regional airspace : No. 99104216/20 : declared 1999.03.01 : published 1999.08.16 / Bezel Ya.V., Lotarev V.I., Tsapin Yu.S. [et al.]; applicant Moscow Research Institute of Instrument Automation.

Patent No. 2147141 C1 Russian Federation, IPC G06F 15/00. System for planning and preparing flight assignments for a tactical group of aircraft : No. 99108140/09 : declared 21.04.1999 : published 27.03.2000 / G. I. Dzhandzhava, G. I. Gerasimov, Sh. F. Charyshev [et al.]; applicant Open Joint-Stock Company Ramenskoye Instrument-Making Design Bureau. EDN ZQUAAL.

Patent No. 2746058 C9 Russian Federation, IPC G08G 7/00, G08G 5/00, G06F 17/00. Air Traffic Control Method and Device: No. 2020124442: declared 23.07.2020: published 14.12.2021 /

N. S. Logunov, A. M. Mirolyubov, A. A. Saidov; applicant Closed Joint-Stock Company "Azimuth-Alliance".

Patent No. 2773453 C1 Russian Federation, IPC G01C 23/00. Integrated system for planning the use and preparation of flight tasks for a group of aircraft: No. 2021114364: declared 21.05.2021: published 03.06.2022 / D. V. Sukhomlinov, Yu. V. Polkhovtsev, K. V. Epishin [et al.]; applicant Russian Federation, on behalf of which the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation acts.

Patent No. 2798628 C1 Russian Federation, IPC G05D 1/00, G01C 23/00, B64C 19/00. Method for Determining the Optimal Route for an Aircraft to Avoid Thunderstorm Activity and Heavy Rainfall Zones : No. 2023103231 : declared 13.02.2023 : published 23.06.2023 / I. A. Yadrov.

Patent US 11854407 B2 System and method for airspace planning, G08G 5/00 : US17963771, declared 11.10.2022, published 26.12.2023 / James W. Herriot.

Patent US 20140018979 A1 Autonomous airspace flight planning and virtual air-space containment system, G08G 5/00 : declared 12.06.2013, published 16.01.2014 / Emray R. Goossen, Kathe-rine Goossen, Scott H. Lafler.

Patent US10540902B2 Flight planning and communication, МПК G08G 5/00, filed 24.04.2017, published 21.01.2020 / Jeremy Joseph Kneuper, John Robert Lanier, Jason Michael Decker.

Patent US9697737B2 Automatic real-time flight plan updates, МПК G08G 5/00, filed 30.09.2014, published 04.07.2017 / Ryan D. HaleLouis J. Bailey.

Pechenizhsky V. K., Chuvikovskaya E. K. (2023). Features of the organization of airspace planning in the Russian Federation on the example of the Moscow air zone. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. 26(6): 47-57. [In Russian]

Rudelson L. E. (2010). Algorithmic problems of airspace use planning automation. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. (159): 113-120. [In Russian]

Shaidurov I. G., Tishchenko E. V. (2023). New methods of organizing air traffic flows. Transport of Russia: problems and prospects – 2023: Proceedings of the International scientific and practical conference. (2): 48-54. [In Russian]

Sheiko E. V. (2023). Methodology for a comprehensive assessment of the capacity of control zones. Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. 4(41): 95-106. [In Russian]
Table of messages on the movement of aircraft in the Russian Federation. 2013. 123 p.

Van Schilt Isabelle M., van Kalker Jonna, Lefter Iulia, Kwakkel Jan H. et al. (2024). Buffer scheduling for improving on-time performance and connectivity with a multi-objective simulation-optimization model: A proof of concept for the airline industry. J. Air Transp. Manag: 115 (7): 1-10.

Vorobiov V. V., Kharlamov A. S. (2015). Algorithm for pre-tactical planning of airspace use. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation. 218 (8): 135-141.

Zamyatin A. A., Malyshev V. A. (2011). Introduction to stochastic models of traffic flows. Moscow Center for Continuous Mathematical Education: 247-287. [In Russian]

Zhuk A. A., Buloichik V. M., Akulich S. V. (2022). Planning the optimal route of an unmanned aerial vehicle based on the criterion of minimum total fuel consumption. Systems analysis and applied informatics. (3): 43-49. [In Russian]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ НА РАБОЧЕЙ ПЛОЩАДИ АЭРОДРОМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКОНФИГУРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

*Нелли Михайловна Романенко,
orcid.org/0009-0004-8319-5014,
аспирант
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, 20
Москва, 125493, Россия,
only_n@inbox.ru*

*Эдуард Анатольевич Болелов,
orcid.org/0000-0002-6138-3629,
доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, 20
Москва, 125493, Россия,
e.bolelov@mstuca.ru*

*Анжела Сергеевна Борзова,
orcid.org/0000-0002-4538-0268,
доктор технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, 20
Москва, 125493, Россия,
a.borzova@mstuca.ru*

Аннотация. Безопасность наземного движения на рабочей площади аэродрома во многом определяется совершенством аэродромных систем наблюдения. В настоящее время для решения задач наблюдения и контроля наземного движения на аэродроме используются радиотехнические системы наблюдения. Несмотря на высокие технические и тактические характеристики эти системы подвержены влиянию естественных и искусственных радиопомех, которые могут существенно ограничить их использование для задач наблюдения и контроля наземного движения, вплоть до полной невозможности использовать информацию от этих систем наблюдения. Перспективной разработкой является виброакустическая система наблюдения, функционирование которой основано на иных физических принципах. Однако и системам виброакустического наблюдения присущи недостатки, основным из которых является невозможность наблюдения неподвижного объекта с выключенными двигателями. Актуальной является задача объединения существующих и перспективных систем наблюдения в единую комплексную систему, в которой недостатки одной системы наблюдения будут компенсированы достоинством другой системы наблюдения. В данной статье рассмотрена постановка задачи синтеза алгоритмов комплексной обработки информации о движении объектов на рабочей площади аэродрома с возможностью реконфигурации информационных каналов.

Ключевые слова: алгоритм комплексной обработки, наземное движение, рабочая площадь аэродрома, математическая модель, радиолокационная станция обзора лётного поля, система наблюдения, многопозиционная система наблюдения, виброакустическая система наблюдения.

THE TASK OF SYNTHESIZING ALGORITHMS FOR COMPLEX PROCESSING OF INFORMATION ABOUT THE MOVEMENT OF OBJECTS IN THE TERRITORY OF AIRFIELD MANEUVERING WITH THE POSSIBILITY OF RECONFIGURATION OF INFORMATION CHANNELS

*Nelli M. Romanenko,
orcid.org/0009-0004-8319-5014,
Graduate student
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronshtadtsky Boulevard, 20
Moscow, 125493, Russia
only_n@inbox.ru*

*Eduard A. Bolelov,
orcid.org/0000-0002-6138-3629,
Grand PhD in Engineering sciences, Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronshtadtsky Boulevard, 20
Moscow, 125493, Russia
e.bolelov@mstuca.ru*

*Anzhela S. Borzova,
orcid.org/0000-0002-4538-0268,
Grand PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronshtadtsky Boulevard, 20
Moscow, 125493, Russia
a.borzova@mstuca.ru*

Abstract. The safety of ground traffic on the airfield movement area is largely determined by the effectiveness of airfield surveillance systems. Currently, radar surveillance systems are used to solve the tasks of monitoring and controlling ground traffic at the airfield. Despite their high technical and tactical characteristics, these systems are subject to the influence of natural and artificial radio interference, which can significantly limit their application for surveillance and traffic control, to the point of making the information unusable. A promising development is a vibroacoustic monitoring system, the functioning of which is based on other physical principles. However, vibroacoustic surveillance systems also have disadvantages, the main of which is the inability to observe a stationary object with the engines turned off. The urgent task is to combine existing and promising surveillance systems into a single integrated system in which the disadvantages of one surveillance system will be compensated by the advantages of another surveillance system. This article discusses the problem of synthesizing algorithms for complex information processing of object movement in the airfield movement area, with the possibility of reconfiguring information channels.

Keywords: integrated processing algorithm, ground movement, airfield movement area, mathematical model, airfield survey radar, surveillance system, multi-position surveillance system, vibroacoustic surveillance system.

Введение

Обеспечение безопасности наземного движения на рабочей площади аэродрома (РПА), которая включает в себя рулежные дорожки (РД), взлетно-посадочную полосу (ВПП) и перрон, в условиях возрастающей интенсивности воздушного движения требует определения координат воздушных судов, специальных транспортных средств и других объектов (объектов наблюдения) с высокой точностью. Кроме требований к точности, не менее важными являются требования к достоверности информации о наземном движении на аэродроме. В настоящее время для решения задач наблюдения и контроля за движением объектов наблюдения (ОН) на РПА используются весьма совершенные системы, а именно, радиолокационная станция обзора летного поля (РЛС ОЛП) и аэродромная многопозиционная система наблюдения (МПСН-А) [Емельянов и др., 2014]. Кроме этого, разработаны и проведены испытания перспективной системы наблюдения, а именно, системы вибраакустического наблюдения (ВАСН). Примером ВАСН может служить система вибраакустического наблюдения и контроля наземного движения «Топот» разработки АО «Концерн МАНС».

Каждая из указанных систем обладает приемлемыми характеристиками точности, обладает определенными достоинствами, но не лишена и недостатков. Для РЛС ОЛП и МПСН-А основным недостатком является зависимость от радиопомех, действие которых может ограничить, а в определенных условиях и полностью исключить возможность применения указанных систем [Алгоритм оценки..., 2024; Емельянов и др., 2014; Оценка параметров..., 2024]. Система ВАСН инвариантна к действию радиопомех, однако она не способна определять местоположение ОН на РПА при его неподвижном состоянии и в случае выключенных двигателей.

Следовательно, актуальной является задача объединения указанных систем наблюдения в единую комплексную систему наблюдения и контроля наземного движения (КС НКНД). Очевидно, что наибольший выигрыш от внедрения КС НКНД может быть получен при решении задачи синтеза алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ) о наземном движении на РПА [Радиоэлектронные комплексы..., 2012; Сухомлинов и др., 2014; Ткаченко и др., 2013; Ткаченко и др., 2010; Харин, 2002].

Синтез алгоритмов КОИ предполагает разработку математических моделей выходных сигналов систем, разработку математических моделей информационных и сопутствующих процессов, выбор критерия оптимизации.

Материалы и методы

Существуют различные подходы к разработке математических моделей выходных сигналов систем, частично они рассмотрены в [Радиоэлектронные комплексы..., 2012]. Отличительной особенностью этих подходов является предположение о стационарности ошибок измерения и возможность их описания экспоненциально-коррелированным случайным процессом. Данный подход вполне приемлем, однако, если исследователь располагает реальными экспериментальными данными (выходными сигналами систем наблюдения),

то следует использовать методики разработки математических моделей, основанные на анализе этих экспериментальных данных [Дрейпер и др., 1986; Радиоэлектронные системы..., 2007; Рубцов и др., 2015; Тихонов и др., 1991; Ферстер и др., 1982].

Наиболее продуктивным в этом случае является метод, основанный на представлении ошибок измерения координат ОН уравнениями авторегрессии. Этот метод был использован авторами для получения математических моделей ошибок измерения систем наблюдения.

Суть метода заключается в следующем. Пусть в результате проведённых экспериментальных исследований получен массив выборочных значений случайного векторного процесса:

$$\mathbf{Y}(k) = \{\mathbf{Y}(t_k), k = 1, \dots, N\}. \quad (1)$$

Объем выборки полагается достаточным для того, чтобы методами математической статистики [Ферстер и др., 1982] можно было определить достоверные оценки закона распределения, математического ожидания, дисперсии, коэффициентов эксцесса и асимметрии, а также корреляционной функции каждой компоненты процесса $\mathbf{Y}(k)$.

В предположении, что векторный процесс $\mathbf{Y}(k)$ является гауссовским, статистическая динамика процесса $\mathbf{Y}(k)$ в общем случае может быть описана уравнением авторегрессии вида:

$$\mathbf{Y}(k) = \sum_{i=1}^N \mathbf{B}_i \mathbf{Y}(k-i) + \boldsymbol{\Gamma} \mathbf{N}(k), \quad (2)$$

где \mathbf{B}_i – неизвестная матрицы постоянных коэффициентов; $\mathbf{N}(k)$ – вектор независимых случайных гауссовых величин с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; $\boldsymbol{\Gamma}$ – неизвестная матрица, которая без ограничения общности полагается нижней треугольной и невырожденной.

Таким образом, для решения задачи разработки математических моделей выходных сигналов комплексируемых систем требуется определить матрицы \mathbf{B}_i , $\boldsymbol{\Gamma}$ уравнения (2). Эта процедура известна и описана, например, в [Ферстер и др., 1982].

Авторы на основании имеющихся экспериментальных данных разработали математические модели погрешностей РЛС ОЛП, МПСН-А и ВАСН и сформулировали постановку задачи синтеза алгоритмов КОИ. Экспериментальные данные получены в ходе проведения исследований АО «Концерн МАИС» на экспериментальном аэродроме Орловка.

Результаты

Выходные сигналы комплексируемых систем наблюдения требуется пересчитать в единую систему координат, т.к. каждая система использует свою систему координат, в которой выполняются измерения координат объектов наблюдения. Так, РЛС ОЛП измеряет наклонную дальность и азимут

объекта $\begin{bmatrix} D_{PL}(k) \\ \theta_{PL}(k) \end{bmatrix}$ в полярной системе координат, МПСН-А и ВАСН

измеряют координаты объекта $\begin{bmatrix} x_{MPCH}(k) \\ y_{MPCH}(k) \end{bmatrix}$ и $\begin{bmatrix} x_{BACH}(k) \\ y_{BACH}(k) \end{bmatrix}$, соответственно, в

прямоугольной декартовой системе координат с началом в центре ВПП. Кроме этого, ВАСН измеряет составляющие скорости движения объекта наблюдения $\begin{bmatrix} W_{xBACH}(k) \\ W_{yBACH}(k) \end{bmatrix}$. Для алгоритма КОИ требуется пересчёт координат объекта и

составляющих скорости его движения в единую систему координат, в которой производится комплексная обработка информации. В качестве такой системы выберем систему ПЗ-90, по аналогии с системой обработки данных наблюдения АС УВД «Галактика».

В этом случае справедливы соотношения:

$$\begin{bmatrix} \varphi_i(k) \\ \lambda_i(k) \end{bmatrix} = \mathbf{C}_\Pi^i \begin{bmatrix} x_i(k) \\ y_i(k) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} W_{\varphi i}(k) \\ W_{\lambda i}(k) \end{bmatrix} = \mathbf{C}_{\Pi W}^i \begin{bmatrix} W_{xi}(k) \\ W_{yi}(k) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где: $\begin{bmatrix} \varphi_i(k) \\ \lambda_i(k) \end{bmatrix}$ – координаты объекта, измеренные i -й системой после

преобразования координат; $\begin{bmatrix} x_i(k) \\ y_i(k) \end{bmatrix}$ – координаты объекта, измеренные i -й

системой до преобразования координат; \mathbf{C}_Π^i – известная матрица пересчёта

координат для i -й системы наблюдения; $i=1, \dots, 3$; $\begin{bmatrix} W_{\varphi i}(k) \\ W_{\lambda i}(k) \end{bmatrix}$ – составляющие

скорости объекта наблюдения после преобразования координат; $\begin{bmatrix} W_{xi}(k) \\ W_{yi}(k) \end{bmatrix}$ –

составляющие скорости объекта наблюдения до преобразования координат;

$\mathbf{C}_{\Pi W}^i$ – известная матрица пересчёта составляющих скорости движения объекта наблюдения. Для определённости будем полагать, что $i=1$ (РЛС ОЛП),

$i=2$ (МПСН-А), $i=3$ (ВАСН). Очевидно, что для рассматриваемого случая, в выражении (2) и последующих соотношениях для составляющих скорости движения объекта наблюдения $i=3$.

Математическая модель сигналов с выхода i -й системы наблюдения может быть представлена в виде:

$$\begin{bmatrix} \varphi_i(k) \\ \lambda_i(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi(k) \\ \lambda(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\varphi_i(k) \\ \Delta\lambda_i(k) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} W_{\varphi i}(k) \\ W_{\lambda i}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{\varphi}(k) \\ W_{\lambda}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta W_{\varphi i}(k) \\ \Delta W_{\lambda i}(k) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где: $\begin{bmatrix} \varphi(k) \\ \lambda(k) \end{bmatrix}$ – вектор истинных координат объекта наблюдения; $\begin{bmatrix} \Delta\varphi_i(k) \\ \Delta\lambda_i(k) \end{bmatrix}$ – вектор погрешностей измерения i -й системы наблюдения.

В результате обработки информации от систем наблюдения формируются массивы выборочных значений погрешностей измерений координат объекта, которые представляют собой реализации случайных процессов. Анализ этих данных позволяет судить о том, что массивы выборочных значений погрешностей измерений близки к стационарным гауссовским процессам. Используя методику получения оптимальных оценок параметров модели авторегрессии векторных нормальных процессов по экспериментальным данным, были получены значения оптимальных оценок параметров моделей погрешностей измерений координат каждой из комплексируемых систем в виде уравнений авторегрессии первого, второго и третьего порядка и проведен их анализ, который позволил сделать важный вывод о том, что модель погрешностей измерений координат объекта наблюдения для комплексируемых систем с высокой адекватностью можно описать разностным стохастическим уравнением авторегрессии второго порядка:

$$\begin{bmatrix} \Delta\varphi(k+1) \\ \Delta\lambda(k+1) \end{bmatrix} = \mathbf{B}_1^* \begin{bmatrix} \Delta\varphi(k) \\ \Delta\lambda(k) \end{bmatrix} + \mathbf{B}_2^* \begin{bmatrix} \Delta\varphi(k-1) \\ \Delta\lambda(k-1) \end{bmatrix} + \boldsymbol{\Gamma}^* \mathbf{N}_{\Delta}(k), \quad (7)$$

где: \mathbf{B}_1^* , \mathbf{B}_2^* , $\boldsymbol{\Gamma}^*$ – оптимальные оценки коэффициентов разностного уравнения авторегрессии, $\mathbf{N}_{\Delta}(k)$ – вектор формирующих дискретных стандартных белых гауссовских шумов (БГШ).

Модель погрешностей измерений составляющих скорости движения объекта наблюдения с высокой адекватностью можно описать разностным стохастическим уравнением авторегрессии первого порядка:

$$\begin{bmatrix} \Delta W_\varphi(k+1) \\ \Delta W_\lambda(k+1) \end{bmatrix} = \mathbf{B}_W^* \begin{bmatrix} \Delta W_\varphi(k) \\ \Delta W_\lambda(k) \end{bmatrix} + \mathbf{\Gamma}_W^* \mathbf{N}_W(k), \quad (8)$$

где \mathbf{B}_W^* и $\mathbf{\Gamma}_W^*$ – оптимальные оценки коэффициентов разностного уравнения авторегрессии; $\mathbf{N}_W(k)$ – вектор формирующих дискретных стандартных БГШ.

Анализ выражений (7) и (8) позволяет говорить о том, что случайный процесс, описываемый выражением (8), является марковским, а случайный процесс, описываемый выражением (7), марковским не является и относится к процессам типа Юла-Уокера.

Для представления модели (7) в виде марковского процесса преобразуем её к виду:

$$\begin{bmatrix} \Delta\varphi(k+1) \\ \Delta\lambda(k+1) \end{bmatrix} = \mathbf{B}_1^* \begin{bmatrix} \Delta\varphi(k) \\ \Delta\lambda(k) \end{bmatrix} + \mathbf{B}_2^* \begin{bmatrix} \Delta\tilde{\varphi}(k) \\ \Delta\tilde{\lambda}(k) \end{bmatrix} + \mathbf{\Gamma}^* \mathbf{N}_\Delta(k), \quad (9)$$

где: $\begin{bmatrix} \Delta\tilde{\varphi}(k) \\ \Delta\tilde{\lambda}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\varphi(k-1) \\ \Delta\lambda(k-1) \end{bmatrix}$.

Таким образом, полученные выражения (5), (6) и (8), (9) представляют собой математическую модель выходных сигналов i -й системы наблюдения в системе координат ПЗ-90.

Синтез алгоритмов КОИ с использованием измеренных значений координат и параметров движения объектов наблюдения на аэродроме предполагает описание статистической динамики объекта и других сопутствующих параметров [Радиоэлектронные комплексы..., 2012; Харин, 2002; Ярлыков и др., 1993]. Однако, такой подход представляется мало продуктивным, так как корректное описание динамики объектов движения на аэродроме с учётом их разнообразных манёвров требует привлечения достаточно большого числа параметров, отражающих динамику конкретного типа объекта наблюдения (ВС, транспортное средство и др.), и приводит к весьма сложным математическим моделям, а следовательно к увеличению размерности вектора состояния, что в свою очередь увеличивает кратно объем вычислительных операций. Синтез алгоритмов КОИ без привлечения сложных априорных моделей динамики объектов наблюдения может быть выполнен на основе метода распределения информации.

Координаты объекта наблюдения в системе ПЗ-90 в первом приближении при малых $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ в дискретные моменты времени можно представить соотношениями:

$$\varphi(k+1) = \varphi(k) + W_\varphi(k) \Delta t, \quad (10)$$

$$\lambda(k+1) = \lambda(k) + W_\lambda(k) \Delta t. \quad (11)$$

Априорная неопределенность о динамике компонент составляющих скорости $W_\varphi(k)$, $W_\lambda(k)$ ОН может быть устранена путем использования измеренных значений компонент скорости BACH. Для этого выразим истинные значения компонент вектора скорости через измеренные BACH значения параметров движения ОН и погрешности измерений:

$$W_\varphi(k) = W_{\varphi BACH}(k) - \Delta W_{\varphi BACH}(k), \quad (12)$$

$$W_\lambda(k) = W_{\lambda BACH}(k) - \Delta W_{\lambda BACH}(k). \quad (13)$$

Подставив в (10) и (11) в (8) и (9), соответственно, получим:

$$\varphi(k+1) = \varphi(k) + (W_{\varphi BACH}(k) - \Delta W_{\varphi BACH}(k))\Delta t, \quad (14)$$

$$\lambda(k+1) = \lambda(k) + (W_{\lambda BACH}(k) - \Delta W_{\lambda BACH}(k))\Delta t. \quad (15)$$

На основании рассмотренных математических моделей выходных сигналов систем наблюдения и рассмотренных моделей (14) и (15) определим вектор состояния

$$\mathbf{X}^T(k) = [\varphi(k), \lambda(k), \Delta\varphi(k), \Delta\lambda(k), \Delta\tilde{\varphi}(k), \Delta\tilde{\lambda}(k), \Delta W_\varphi(k), \Delta W_\lambda(k)]^T. \quad (16)$$

Динамика вектора состояния описывается векторно-матричным разностным уравнением [Ярлыков и др., 1993]:

$$\mathbf{X}(k+1) = \Phi_{XX}\mathbf{X}(k) + \Phi_{XZ} + \Gamma_X \mathbf{N}_X(k), \quad (17)$$

где ненулевые элементы матриц имеют вид:

$$\Phi_{XX}(1,1) = \Phi_{XX}(2,1) = 1, \quad \Phi_{XX}(1,7) = \Phi_{XX}(2,8) = -\Delta t, \quad \Phi_{XX}(3,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1),$$

$$\Phi_{XX}(3,4) = \mathbf{B}_1^*(1,2), \quad \Phi_{XX}(3,5) = \mathbf{B}_2^*(1,1), \quad \Phi_{XX}(3,6) = \mathbf{B}_2^*(1,2),$$

$$\Phi_{XX}(4,3) = \mathbf{B}_1^*(2,1), \quad \Phi_{XX}(4,4) = \mathbf{B}_1^*(2,2), \quad \Phi_{XX}(4,5) = \mathbf{B}_2^*(2,1),$$

$$\Phi_{XX}(4,6) = \mathbf{B}_2^*(2,2), \quad \Phi_{XX}(5,1) = 1, \quad \Phi_{XX}(6,2) = 1, \quad \Phi_{XX}(7,7) = \mathbf{B}_W^*(1,1),$$

$$\Phi_{XX}(7,8) = \mathbf{B}_W^*(1,2), \quad \Phi_{XX}(8,7) = \mathbf{B}_W^*(2,1), \quad \Phi_{XX}(8,8) = \mathbf{B}_W^*(2,2),$$

$$\Phi_{XZ}(1,7) = \Delta W_{\varphi BACH}(k)\Delta t, \quad \Phi_{XZ}(2,8) = \Delta W_{\lambda BACH}(k)\Delta t,$$

$$\Gamma_X(1,1) = \Gamma^*(1,1), \quad \Gamma_X(2,1) = \Gamma^*(2,1), \quad \Gamma_X(2,2) = \Gamma^*(2,2), \quad \Gamma_X(7,7) = \Gamma_W^*(1,1),$$

$$\Gamma_X(8,7) = \Gamma_W^*(2,1), \quad \Gamma_X(8,8) = \Gamma_W^*(2,2),$$

$\mathbf{N}_X(k)$ – вектор формирующих БГШ.

В соответствии с математическими моделями выходных сигналов систем наблюдения определим вектор наблюдения:

$$\mathbf{Z}^T(k) = [\varphi_{P\pi}(k), \lambda_{P\pi}(k), \varphi_{M\pi CH}(k), \lambda_{M\pi CH}(k), \varphi_{BACH}(k), \lambda_{BACH}(k)]. \quad (18)$$

В векторно-матричной форме динамика изменения во времени вектора наблюдения может быть определена выражением [Ярлыков и др., 1993]:

$$\mathbf{Z}(k+1) = \Phi_{ZX} \mathbf{X}(k+1) + \Phi_{ZZ} + \Gamma_Z \mathbf{N}_Z(k), \quad (19)$$

где ненулевые элементы матриц имеют вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{ZX}(1,1) &= 1, \quad \Phi_{ZX}(1,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(1,4) = \mathbf{B}_1^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(1,5) = \mathbf{B}_2^*(1,1), \\ \Phi_{ZX}(1,6) &= \mathbf{B}_2^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(2,2) = 1, \quad \Phi_{ZX}(2,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(2,4) = \mathbf{B}_1^*(1,2), \\ \Phi_{ZX}(2,5) &= \mathbf{B}_2^*(2,1), \quad \Phi_{ZX}(2,6) = \mathbf{B}_2^*(2,2), \quad \Phi_{ZX}(3,1) = 1, \quad \Phi_{ZX}(3,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1), \\ \Phi_{ZX}(3,4) &= \mathbf{B}_1^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(3,5) = \mathbf{B}_2^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(3,6) = \mathbf{B}_2^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(4,2) = 1, \\ \Phi_{ZX}(4,3) &= \mathbf{B}_1^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(4,4) = \mathbf{B}_1^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(4,5) = \mathbf{B}_2^*(2,1), \\ \Phi_{ZX}(4,6) &= \mathbf{B}_2^*(2,2), \quad \Phi_{ZX}(5,1) = 1, \quad \Phi_{ZX}(5,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(5,4) = \mathbf{B}_1^*(1,2), \\ \Phi_{ZX}(5,5) &= \mathbf{B}_2^*(1,1), \quad \Phi_{ZX}(5,6) = \mathbf{B}_2^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(6,2) = 1, \quad \Phi_{ZX}(6,3) = \mathbf{B}_1^*(1,1), \\ \Phi_{ZX}(6,4) &= \mathbf{B}_1^*(1,2), \quad \Phi_{ZX}(6,5) = \mathbf{B}_2^*(2,1), \quad \Phi_{ZX}(6,6) = \mathbf{B}_2^*(2,2), \quad \Phi_{ZZ} = 0, \\ \Gamma_Z(1,1) &= \Gamma^*(1,1), \quad \Gamma_Z(2,1) = \Gamma^*(2,1), \quad \Gamma_Z(2,2) = \Gamma^*(2,2), \\ \Gamma_Z(3,3) &= \Gamma^*(1,1), \quad \Gamma_Z(4,4) = \Gamma^*(2,1), \quad \Gamma_Z(4,5) = \Gamma^*(2,2), \\ \Gamma_Z(5,5) &= \Gamma^*(1,1), \quad \Gamma_Z(6,5) = \Gamma^*(2,1), \quad \Gamma_Z(6,6) = \Gamma^*(2,2), \\ \mathbf{N}_Z(k) & \text{ – вектор, компонентами которого являются БГШ.} \end{aligned}$$

Таким образом, выражения (17) и (19) полностью определяют модели векторов состояния и наблюдения.

Задачу синтеза алгоритмов комплексной обработки информации о движении объектов на РПА для рассматриваемого случая можно сформулировать следующим образом. Имея априорные сведения о векторе состояния (17) и располагая наблюдениями (19), необходимо определить наилучшую оценку вектора состояния $\mathbf{X}^*(k+1)$, которая должна удовлетворять критерию минимума апостериорного среднего риска [Ярлыков и др., 1993]:

$$\mathbf{X}^* : \min_{\{\hat{\mathbf{X}}\}} \left\{ \int c(\mathbf{X}, \hat{\mathbf{X}}) p\{\mathbf{X} | \mathbf{Z}_0^{k+1}\} d\mathbf{X} \right\}, \quad (20)$$

где $p\{\mathbf{X} | \mathbf{Z}_0^{k+1}\}$ – апостериорная плотность вероятности отсчёта $\mathbf{X}(k+1)$ по результатам наблюдения реализации; $c(\mathbf{X}, \hat{\mathbf{X}})$ – функция потерь, задаваемая

на основании выбранного критерия оптимизации (для данной задачи – квадратичная).

При квадратичной функции потерь оптимальная оценка вектора состояния (17) по наблюдениям (19) представляет собой апостериорное математическое ожидание.

Дискуссия

Алгоритмы КОИ, получаемые в результате решения задачи синтеза, требуется дополнить алгоритмом контроля целостности информационных каналов. Существуют подходы к контролю целостности информационных каналов [Бортовые системы..., 2005; Гришин и др., 1985; Соболев, 2007], отличающиеся по сложности реализации, достоверности контроля целостности, необходимости модернизации алгоритмов КОИ. Рассмотрим достаточно простой и вместе с тем продуктивный подход к разработке алгоритма контроля целостности информационных каналов системы КОИ.

Алгоритм контроля целостности информационных каналов системы комплексной обработки информации с возможностью реконфигурации может быть реализован на основе оценки свойств квадратичной формы невязок измерений. В [Ярлыков и др., 1993] показано, что квадратичная форма невязок измерений может быть представлена выражением:

$$\xi(k+1) = [\mathbf{Z}(k+1) - \Phi_{ZX} \mathbf{X}^*(k+1)]^T \Psi(k) [\mathbf{Z}(k+1) - \Phi_{ZX} \mathbf{X}^*(k+1)], \quad (21)$$

где: $\Psi(k) = [\Phi_{ZX} \mathbf{R}(k) \Phi_{ZX}^T + \mathbf{B}_{ZZ}]^{-1}$.

В (19) $[\mathbf{Z}(k+1) - \Phi_{ZX} \mathbf{X}^*(k+1)]$ представляет собой невязку измерений.

Введём в рассмотрение событие $A(k+1)$, которое является признаком штатной работы всей совокупности информационных каналов (РЛС ОЛП, МПСН-А, ВАСН), тогда можно записать:

$$P\{A(k+1)\} = P\{d_1(k+1) < \xi(k+1) < d_2(k+1)\} = 1 - q, \quad (22)$$

где: $d_1(k+1)$ и $d_2(k+1)$ – рассчитанные q – процентные пороги для случайного числа $\xi(k+1)$.

Выполнение условия $\xi(k+1) \in (d_1, d_2)$ является признаком штатной работы систем наблюдения, признаком аномального режима является условие $\xi(k+1) \notin (d_1, d_2)$.

Если провести декомпозицию выражения (19) и определить квадратичные формы невязок измерений для каждого информационного канала (системы наблюдения) комплексной системы обработки информации о движении объектов на РПА, то применительно к каждому информационному

каналу можно сформулировать условия его штатного и аномального режима работы $\xi_i(k+1) \in (d_{1i}, d_{2i})$, $\xi_i(k+1) \notin (d_{1i}, d_{2i})$.

Для обеспечения реконфигурации информационных каналов комплексной системы обработки информации о движении объектов на РПА аэродрома достаточно определить значение параметра:

$$\eta_i(k+1) = \begin{cases} 0, & \xi_i(k+1) \in (d_{1i}, d_{2i}), \\ 1, & \xi_i(k+1) \notin (d_{1i}, d_{2i}). \end{cases} \quad (23)$$

Выражение (23) определяет правило обнаружения нарушений функционирования информационных каналов для последующего исключения выходных данных аномально функционирующего канала из комплексной обработки информации.

Вывод

Рассмотренная постановка задачи синтеза алгоритмов КОИ о наземном движении на аэродроме позволяет формализовать процесс синтеза алгоритмов КОИ, получить структуру КС НКНД и оценить её эффективность, определив потенциальные и фактически достижимые характеристики точности и помехоустойчивости обработки информации о движущихся объектах на РПА.

Библиографический список

Алгоритм оценки координат воздушного судна в многопозиционной системе наблюдения на основе методов адаптивной фильтрации сигналов / Б. В. Лежанкин, В. В. Ерохин, А. В. Федоров, Д. Ю. Урбанский // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2024. № 2(43). С. 114-122. EDN FBHRYV.

Бортовые системы функционального дополнения спутниковых радионавигационных систем с реконфигурацией структуры алгоритмов комплексной обработки информации / М. А. Миронов, А. В. Башаев, Е. Б. Горский, С. А. Полосин // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2005. № 90. С. 72-81. EDN JXKXXV.

Гришин Ю. П. Динамические системы, устойчивые к отказам / Ю. П. Гришин, Ю. М. Казаринов. М.: Радио и связь, 1985. 176 с.

Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ: пер. с англ. 2-е издание перераб. доп. / Н. Дрейпер, Г. Смир. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.

Емельянов В. Е. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования / В. Е. Емельянов, А. И. Логвин. М. : МОРКНИГА, 2014. 730 с. EDN IUCMEA.

Оценка параметров многопозиционной системы наблюдения на основе адаптивного фильтра Калмана / В. В. Ерохин, Б. В. Лежанкин, Э. А. Болелов, Д. Ю. Урбанский // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2024. № 46. С. 9-19. EDN MXQBRJ.

Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Том 1. Теоретические основы: монография / М. С. Ярлыков, А. С. Богачев, В. И. Меркулов, В. В. Дрогалин / науч. ред. М. С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 504 с.

Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / Я. Д. Ширман, С. Т. Багдасарян, А. С. Маляренко, Д. И. Леховицкий; под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.

Рубцов В. Д. Метод вычисления распределений помехи и ее смеси с сигналом с использованием экспериментальных кривых распределения огибающей помехи / В. Д. Рубцов, А. Л. Сенявский // Информатизация и связь. 2015. № 2. С. 57-61. EDN TXTNQT.

Соболев С. П. Контроль целостности в бортовом комплексе спутниковой системы посадки // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2007. № 4. С. 62-70. EDN THUJUT.

Сухомлинов Д. В. О комплексировании данных в информационно-управляющей системе летательного аппарата / Д. В. Сухомлинов, А. Н. Медведь // Двигатель. 2014. № 5(95). С. 38-41. EDN TDOMSD.

Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.

Ткаченко С. С. Алгоритм комплексной обработки информации в подсистеме навигационно-связной идентификации / С. С. Ткаченко, С. Л. Иванов, А. Ю. Трущинский // Теория и техника радиосвязи. 2013. № 4. С. 26-30. EDN RLNOWH.

Ткаченко С. С. Координатно-связное опознавание на основе теории дискретной фильтрации и статистической обработки опытных данных / С. С. Ткаченко, А. В. Аврамов // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 11. С. 15-20. EDN OPBRDJ.

Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: пер. с нем. / Э. Ферстер, Б. Ренц. М.: Финансы и статистика, 1982. 304 с.

Харин Е. Г. Комплексная обработка информации навигационных систем летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2002. 264 с.

Ярлыков М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. М.: Радио и связь, 1993. 464 с.

References

Draper N., Smir G. (1983). Applied regression analysis: translated from English. 2nd edition. Moscow: Finance and Statistics, 1986. 366 p. (In Russian)

Erokhin V. V. [et al.] (2024). Evaluation of the parameters of a multi-position monitoring system based on an adaptive Kalman filter. *Scientific Bulletin of the State Research Institute of GA*. 46: 9-19. (In Russian)

Foerster E., Rents B. (1982). Methods of correlation and regression analysis: translated from German. Moscow: Finance and Statistics, 1982. 304 p. (In Russian)

Grishin Yu. P., Kazarinov Y. M. (1985). Dynamic systems resistant to failures. Moscow: Radio and Communications, 1985. 176 p. (in Russian)

Kharin E. G. (2002). Complex information processing of aircraft navigation systems. Moscow: Publishing House of MAI, 2002. 264 p. (In Russian)

Lezhakin B. V. [et al.] (2024). An algorithm for estimating aircraft coordinates in a multi-position surveillance system based on adaptive signal filtering methods. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 2(43): 114-122. (In Russian)

Mironov M. A. [et al.] (2005). On-board systems for functional augmentation of satellite radio navigation systems with reconfiguration of the structure of algorithms for complex information processing. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. 90: 72-81. (In Russian)

Rubtsov V. D., Senyavsky A. L. (2015). A method for calculating the distributions of interference and its mixture with a signal using experimental interference envelope distribution curves. *Informatization and communication*. 2: 57-61. (In Russian)

Shirman J. D. [et al.] (2007). Radio-electronic systems. Fundamentals of construction and theory: a reference book. Moscow: Radio Engineering, 2007. 512 p. (In Russian)

Sobolev S. P. (2007). Integrity control in the on-board complex of the satellite landing system. *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelectronics*. 4: 62-70. (In Russian)

Sukhomlinov D. V., Medved A. N. (2014). On data integration in the information and control system of an aircraft. *Engine*. 2014. № 5(95). pp. 38-41. (In Russian)

Tikhonov V. I., Kharisov V. N. (1991). Statistical analysis and synthesis of radio engineering devices and systems. Moscow: *Radio and Communications*, 1991. 608 p. (In Russian)

Tkachenko S. S., Avramov A. V. (2010). Coordinate-connected identification based on the theory of discrete filtering and statistical processing of experimental data. *Successes of modern radio electronics*. 11: 15-20. (In Russian)

Tkachenko S. S., Ivanov S. L., Truschninsky A. Y. (2013). Algorithm of complex information processing in the subsystem of navigation-connected identification. *Theory and technology of radio communication*. 4: 26-30. (In Russian)

Yarlykov M. S. [et al.] (2012). Electronic systems for navigation, aiming and control of aircraft armament. Volume 1. Theoretical foundations. Monograph. Moscow: *Radio Engineering*, 2012. 504 p. (In Russian)

Yarlykov M. S., Mironov M. A. (1993). Markov's theory of estimating random processes. Moscow: *Radio and Communications*, 1993. 464 p. (In Russian)

Yemelyanov V. E., Logvin A. I. (2014). Technical operation of aviation radio-electronic equipment. Moscow: *Mornniga*, 2014. 730 p. (In Russian)

УДК № 629.7:351.814.332
 DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_131

ОБНАРУЖЕНИЕ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ЗВЕНЬЕВ В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МАРШРУТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ

Григорий Арменович Гаспарян,
 orcid.org/0009-0007-3917-6256,
 аспирант
 Московский государственный технический
 университет гражданской авиации,
 Кронштадтский б-р, 20
 Москва, 125493, Россия
 grigory.rw@gmail.com

Аннотация. В работе предложен усовершенствованный метод выявления критических рёбер в пространственно-временных маршрутных сетях на основе комплексного сетевого анализа. В отличие от ранее предложенных моделей, метод учитывает не только топологические характеристики маршрутов, но и их динамическую нестабильность через комбинированный вес, включающий среднюю скорость движения и её дисперсию. Дополнительно вводятся метрики нагрузки и устойчивости связности. Критические рёбра определяются автоматически через переколационный анализ, без необходимости ручной настройки порогов. Для прогнозирования критичности используется градиентный бустинг, опирающийся на набор структурных и временных признаков. Предложенный подход обеспечивает более точное, воспроизводимое и адаптивное выявление уязвимых участков в сетях маршрутов и может быть применён в реальном времени для поддержки управления воздушным движением.

Ключевые слова: воздушный транспорт, сеть маршрутов ОВД, теория сложных сетей, пространственно-временная сеть, обнаружение критических звеньев, центральность сети, теория переколации.

DETECTION OF CRITICAL LINKS IN SPATIAL-TEMPORAL ROUTES BASED ON COMPLEX NETWORKS

Grigory A. Gasparyan,
orcid.org/0009-0007-3917-6256,
postgraduate student
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
grigory.rw@gmail.com

Abstract: This paper presents an enhanced method for detecting critical edges in spatial-temporal route networks based on complex network analysis. Unlike previous models, the proposed approach accounts not only for the topological characteristics of routes but also for their dynamic variability through a composite weight that includes the average travel speed and its variance. Additional metrics, such as load centrality and robustness of connectivity, are introduced. Critical edges are automatically identified via percolation analysis, without the need for manual threshold adjustment. For criticality prediction, a gradient boosting model is employed, using a set of structural and temporal features. The proposed approach ensures more accurate, reproducible, and adaptive identification of vulnerable segments in route networks and can be applied in real time to support air traffic management.

Key words: air transportation, airway network, complex networks theory, spatial-temporal network, critical link detection, network centrality, percolation theory.

Введение

Современные сети маршрутов обслуживания воздушного движения (ОВД) представляют собой сложные динамические системы, функционирование которых критически зависит от стабильности и пропускной способности отдельных связей между узлами так называемых «ребер» графа. В условиях возрастающей плотности воздушного движения (ВД), особенно в загруженных районах, задачей первостепенной важности становится выявление таких «критических» связей («звеньев»), потеря которых может привести к нарушению целостности всей транспортной сети. Эффективная идентификация подобных связей позволяет не только обеспечить более устойчивое планирование движения, но и минимизировать риски перегрузок, задержек и сбоев в системе управления воздушным движением [Печенежский и др., 2023].

В работе [Kong et al., 2024] была предложена методология выявления критических звеньев в пространственно-временной модели маршрутной сети на основе концепций теории сложных сетей. Исследование опирается на два ключевых инструмента: метрику центральности по посредническому пути (edge betweenness) и перколяционный анализ связности сети. Предложенный подход позволил авторам продемонстрировать, как удаление отдельных ребер с наибольшим значением центральности приводит к разрушению крупнейшей компоненты связности графа маршрутов, тем самым указывая на их критическую роль в транспортной инфраструктуре.

Несмотря на важность полученных результатов, оригинальный метод страдает от ряда концептуальных и методологических ограничений. Прежде

всего, предложенные метрики недостаточно чувствительны к реальным операционным условиям: они игнорируют динамические характеристики нагрузки, такие как колебания скорости, погодные условия, или непредсказуемые задержки. Кроме того, статическая природа весов рёбер, основанная на усреднённой скорости движения в интервалах до 60 минут, приводит к потере информации о кратковременных перегрузках, которые могут быть критичны в ситуациях с высоким движением. Параметры, определяющие чувствительность метода (например, порог δ и количество критических рёбер K), задаются эмпирически без строгого обоснования, что делает результаты уязвимыми к произвольному выбору этих значений.

Предлагаемая в данной работе модифицированная методика направлена на преодоление указанных ограничений и создание более устойчивой и операционно применимой системы анализа маршрутных сетей. Во-первых, вводится понятие динамического веса ребра, который учитывает не только среднюю скорость перемещения по маршруту, но и её нестабильность – через стандартное отклонение. Это позволяет более точно идентифицировать связи, подверженные колебаниям нагрузки и потенциальной деградации. Во-вторых, метрики устойчивости сети, такие как потеря устойчивости и центральность по нагрузке, позволяют дополнить анализ традиционной центральностью, делая результат более комплексным и чувствительным к операционной значимости маршрутов [Air traffic complexity map..., 2022].

Особое внимание уделено автоматизации выбора параметров δ и K : на основе анализа наибольшей связной компоненты (LCC) критический порог определяется через максимум второй производной, устранив необходимость в ручной калибровке. Наконец, метод обогащён средствами прогнозирования: с помощью градиентного бустинга (XGBoost) критичность рёбер может быть предсказана на основе совокупности признаков, включая динамические веса, загруженность, устойчивость и сезонные/временные факторы.

Цель предлагаемых нововведений заключается в повышении чувствительности и прогностической ценности модели выявления критических связей в маршрутной сети за счёт включения динамических и внешних факторов (скорость потока, вариативность, сезонность, погода), автоматической калибровки порогов разрушения и внедрения методов машинного обучения. Новизна подхода заключается в интеграции сетевых метрик с временными характеристиками и последующем прогнозировании критичности связей, что позволяет учитывать как топологическую, так и операционную устойчивость сети.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные о структуре и динамике пространственно-временной маршрутной сети, а также модельные графы, сгенерированные на основе синтетических распределений параметров потока (средняя скорость, дисперсия, плотность рейсов). В качестве эмпирической базы использовались материалы статьи [Kong et al., 2024], дополненные авторской реконструкцией и расширением метрик.

В исследовании применялись методы анализа сложных сетей (network science), перколяционного моделирования, центральностных измерений, а также алгоритмы машинного обучения (градиентный бустинг на деревьях решений XGBoost) для прогнозирования критических связей. Были использованы как теоретические (структурный и топологический анализ, нормализация и агрегация признаков), так и эмпирико-вычислительные методы, включая симуляционное моделирование, автоматическую параметризацию порогов устойчивости и построение прогнозных моделей на основе синтетических и временных данных.

Выявление критически важных звеньев с точки зрения теории сетей

Сложные системы часто моделируются в виде графов, состоящих из множества узлов (вершин) и соединяющих их связей (рёбер). Рассмотрим граф G , формально представляемый $G = \{V, E\}$, где V – множество вершин, а E – множество рёбер, описывающих связи между ними. При этом общее количество узлов в графе обозначается как $n = |V|$, а число рёбер как $m = |E|$.

В случае реальных сетей, таких как маршрутные, узлы могут содержать пространственные данные, например, географические координаты. Такие графы принято называть пространственными сетями. Кроме того, существует класс сложных сетей, чья топология меняется с течением времени – такие структуры известны как временные сети. Подобная сеть может быть представлена как последовательность графов, т. е. $G(t_i) = (V(t_i), E(t_i))$, в которой $G(t_i)$ соответствует состоянию сети в момент времени или на заданном временном интервале. Если сеть одновременно отражает пространственные и временные характеристики, она моделируется как пространственно-временная [Multi-objective network structure optimization..., 2019].

В рамках анализа сложных сетевых структур нередко возникает необходимость определить, какие рёбра или узлы играют ключевую роль в архитектуре сети. Для решения этой задачи применяются показатели центральности. В научной литературе представлено множество метрик центральности [Timescales of delay propagation..., 2022], которые в целом подразделяются на два основных класса: центральность узлов и центральность рёбер, причём последняя часто рассматривается как производное развитие первых.

В настоящем исследовании для идентификации критически важных связей в сети воздушных маршрутов используется метрика промежуточной центральности (СВ), которая, как показано в ряде работ [Эшмурадов и др., 2020], существенно влияет на устойчивость и надёжность сетевых структур. Для заданного графа G промежуточная центральность ребра $e \in E$:

$$C_E^B(e) = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} \frac{p_{ij}(e)}{P_{ij}}, \quad (1)$$

в котором $p_{ij}(e)$ – количество кратчайших маршрутов между вершинами i и j , которые содержат ребро e , а P_{ij} – представляет собой суммарное число возможных кратчайших маршрутов между данными вершинами.

На практике сложные сетевые структуры подвержены разнообразным возмущениям, способным привести к сбоям в работе отдельных компонентов и создать риски для функционирования всей системы. Для эффективного проектирования надёжных сетей и обеспечения их устойчивости в условиях внешнего воздействия необходимо проводить анализ поведения сети при нарушениях её целостности. Одним из признанных инструментов такого анализа является теория перколяции, зарекомендовавшая себя как действенный метод оценки устойчивости сложных сетей [Ren, 2021]. Рассмотрим ситуацию, при которой доля узлов или связей сети, равная $1 - p$, выходит из строя вследствие внешних либо внутренних факторов. Такие отказавшие элементы исключаются из сети, что может привести к её фрагментации – разбиению на несвязанные компоненты. В этом случае особое значение приобретает наибольшая связная компонента (LCC, Largest Connected Component), которая служит показателем остаточной целостности и работоспособности сети [National airspace sector occupancy..., 2000].

При значении $p = 0$ сеть полностью разрушается, и LCC отсутствует, что соответствует сценарию полного отказа. Напротив, при $p = 1$ сеть остаётся нетронутой, а её структура сохраняется. По мере увеличения значения p от 0 к 1 размер LCC также изменяется. В определённый момент может наблюдаться резкий переход – когда LCC стремительно сокращается, теряя связанность и фактически прекращая существование. Такое значение p обычно называется порогом перколяции и обозначается как p_c .

Вместо использования одной метрики, исходное исследование опирается на комбинированный анализ двух сетевых индикаторов – показателя центральности и параметров перколяции. Центральность позволяет количественно оценить значимость элементов сети, таких как связи и узлы: более высокие значения соответствуют маршрутам, по которым проходит большее число кратчайших траекторий. Теория перколяции, в свою очередь, применяется для анализа устойчивости структуры сети при отключении её компонентов, оценивая, насколько отказ определённого звена влияет на связность всей системы [Percolation transition..., 2015].

На этапе моделирования сети, на основе заданной сети маршрутов и данных о движении формируется взвешенная пространственно-временная сеть $G = \{G^{t_0}, \dots, G^{t_i}, \dots\}$, где G^{t_i} – это «снимок» взвешенной сети, соответствующий определённому временному интервалу t_i . Далее, для каждого момента G^{t_i} применяется показатель центральности и теория перколяции для определения критических звеньев. На завершающем этапе проводится сравнение результатов, полученных с помощью теории перколяции и центральности рёбер, и на основе этого формируется окончательный набор критических звеньев.

Взятый за основу метод определения критически важных звеньев включает три основных этапа: формирование пространственно-временной маршрутной сети, анализ уязвимых связей с применением сетевых показателей, а также интеграция результатов для выделения окончательного списка критических элементов [Dynamics of disruption..., 2021].

На первом этапе формируется пространственно-временная модель маршрутной сети на основе информации о ВД за различные временные интервалы. В качестве основы используются точки маршрутов (WP) и траектории рейсов, что позволяет учесть динамику изменений структуры сети ОВД во времени. Построенная сеть является взвешенной и отражает реальное функционирование маршрутов в различные периоды.

Следующий этап заключается в определении критических звеньев по сформированным сетям [UAV Trajectory and Communication Co-design..., 2020]. Для этого применяются два метода из теории сетей: анализ центральности рёбер и переколяционный подход. Для каждого временного слоя сети проводится оценка с использованием обеих методик, что позволяет зафиксировать потенциально уязвимые участки маршрутов. Поскольку результаты, полученные с использованием этих подходов, могут не совпадать, на заключительном этапе проводится их сопоставление и синтез для определения финального набора критически значимых звеньев в анализируемой сети.

Моделирование сети направлено на формирование адекватной пространственно-временной структуры, пригодной для анализа уязвимости. Этот процесс включает два подэтапа: восстановление конфигурации сети и присвоение весов связям на основе фактических данных о полётных траекториях. В данном исследовании в качестве веса для каждого звена используется нормализованное значение средней путевой скорости, рассчитанное по наблюдаемым траекториям. Такая метрика отражает степень загруженности и стабильности маршрута: чем выше скорость, тем меньше риски накопления задержек и тем выше способность сети к саморегуляции при перегрузках [Optimal schedule recovery..., 2021].

Стоит отметить, что в условиях возмущений, таких как перегрузка или нарушение штатного режима функционирования сети, основные меры управления потоками – векторение и изменение скорости – непосредственно воздействуют на скорость передвижения. Поэтому снижение скорости на конкретном участке может указывать на его высокую уязвимость. Для учёта этого эффекта скорость движения по каждому маршруту нормализуется относительно максимального значения, зафиксированного за сутки. Таким образом, более низкий вес звена соответствует ухудшению условий движения по нему [IATA..., 2018].

Для построения сети используется информация о траекториях рейсов: координаты точек маршрутов и временные метки положения ВС. На основе этих данных восстанавливается структура сети – точки маршрута принимаются за узлы, а связи между ними формируются по фактическим маршрутам полёта. Связь между двумя узлами считается существующей, если

хотя бы один рейс проходит между соответствующими точками. Таким образом, вся топология маршрутной сети выводится непосредственно из наблюдаемых данных о ВД.

С использованием временных меток пролёта ВС через спутниковые точки становится возможным расчёт средней скорости $s_{a,j}$ для рейса f_a на участке маршрута e_j . Данная скорость является отношением протяжённости участка L_j к фактическому времени полёта T_j , затраченному на его преодоление:

$$s_{a,j} = \frac{L_j}{T_j^a}. \quad (2)$$

Критические звенья маршрутной сети определяются для конкретного временного промежутка T_k (с началом в t_k^0 и концом в t_k^1). Искомый вес w_j для звена e_j представляет собой среднюю скорость всех рейсов на данном участке, нормализованную относительно соответствующего диапазона в течение интервала T_k , а не просто средняя скорость всех рейсов по данному участку. Это означает, что для рейса f_a учитывается только та часть $l_{a,j}^k$ маршрута e_j , которая была пройдена в пределах T_k .

Поскольку из имеющихся данных невозможно точно установить, в какие моменты времени рейс f_a следовал по звену e_j в рамках промежутка T_k , для минимизации погрешности принимается допущение о равномерном движении ВС на данном участке со средней скоростью $s_{a,j}$. Тогда, зная время входа $t_{en}^{a,j}$ и выхода $t_{ex}^{a,j}$ рейса f_a , можно определить длительность его полёта на участке e_j во временном интервале T_k :

$$T_{a,j}^k = \min \{t_{ex}^{a,j}, t_k^1\} - \max \{t_{en}^{a,j}, t_k^0\}. \quad (3)$$

Затем длина участка маршрута $l_{a,j}^k$, пройденного за T_k , может быть оценена как длина L_j , взвешенная по доле времени полёта интервале от $T_{a,j}^k$ до T_k :

$$l_{a,j}^k = \frac{L_j \times T_{a,j}^k}{T_k}. \quad (4)$$

Средняя скорость s_j^k на участке e_j во временном интервале T_k : рассчитывается как отношение совокупного пройденного расстояния всеми рейсами к совокупности общих времён их полёта на участке e_j :

$$s_j^k = \frac{\sum_{a=1}^F l_{a,j}^k}{\sum_{a=1}^F T_{a,j}^k}. \quad (5)$$

Здесь F является совокупностью ВС, за временной промежуток T_k использовавших звено e_j .

Вес w_j по звену e_j в интервале T_k определяется как средняя скорость s_j^k , делённая на максимальную зафиксированную скорость s_{\max}^j для этого участка:

$$w_j = \frac{s_j^k}{s_{\max}^j}. \quad (6)$$

Таким образом, вес связи e_j находится в диапазоне от 0 до 1 и отражает степень уменьшения скорости на участке по сравнению с наилучшей ситуацией за день.

Для количественной оценки степени важности каждого звена в маршрутной сети применяются два подхода из области теории сетей. Первый основан на метрике центральности рёбер, второй – на принципах теории переколяции.

Метрики центральности позволяют интуитивно и формально определить значимость элементов сети. В рамках данного исследования для анализа структуры маршрутной сети ОВД используется показатель промежуточной центральности рёбер. Эта метрика отражает, насколько часто конкретное звено участвует в кратчайших маршрутах между парами узлов, что делает её особенно релевантной для задач, связанных с маршрутизацией воздушного движения. Расчёт значений производится согласно формуле (1), принятой в литературе.

Звенья упорядочиваются по убыванию значений промежуточной центральности. Те из них, которые попадают в верхнюю часть ранжированного списка, рассматриваются как потенциально критические. В частности, для целей данного исследования фиксируется пороговое количество. При его чрезмерно большом количестве список может включать избыточное число звеньев, не обладающих реальной критичностью, а при слишком малом – можно упустить значимые связи. Кроме того, это значение необходимо для сопоставления с результатами, полученными с помощью переколационного анализа.

Второй подход – применение теории переколяции, которая давно зарекомендовала себя как эффективный инструмент анализа устойчивости и целостности сложных сетей, включая транспортные системы. Например, в работе [Нгуен и др., 2025] данный метод успешно применялся в том числе для выявления уязвимых элементов в воздушном пространстве Вьетнама. Теория переколяции основана на концепциях статистической физики и теории графов, и позволяет исследовать, как структура сети меняется под влиянием прогрессирующих отказов.

Ключевым понятием здесь является порог переколяции q_c , определяющий момент, когда сеть теряет связность, то есть, когда происходит резкий переход от состояния с единой связной компонентой к фрагментированной структуре. Это позволяет выявить подсистемы, жизненно важные для поддержания целостности сети.

1) Определение критического порога

Поскольку веса звеньев w_j интерпретируются как нормализованные средние скорости прохождения участков E_j маршрутов, более низкое значение

указывает на ухудшение условий движения (например, из-за перегрузки или ограничений). Такие звенья можно считать «ослабленными». Их поочерёдное исключение из сети позволяет отследить, при каком уровне потерь сеть переходит от связного состояния к несвязанному. Этот момент и соответствует перколяционному порогу, демонстрируя критическую устойчивость системы.

Связь E_j можно классифицировать как функционирующую (1) или нефункционирующую (0) в зависимости от заданного порога $q \in [0,1]$. Это выражается следующим образом:

$$E_j = \begin{cases} 1, & w_j \geq q \\ 0, & w_j \leq q \end{cases}. \quad (7)$$

По мере роста параметра q_c в маршрутную сеть включаются лишь те связи, по которым воздушные суда движутся с относительно высокой скоростью. Напротив, звенья с пониженной скоростью исключаются из рассмотрения, в результате чего формируется так называемая функциональная сеть, отображающая характер движения при заданном уровне q_c .

По мере дальнейшего увеличения значения q_c структура исходной сети претерпевает постепенное разрушение – связи с недостаточной скоростью исключаются, а сеть распадается на отдельные фрагменты. При этом наблюдается закономерное сокращение размера наибольшей связной компоненты (LCC1), тогда как размер второй по величине компоненты (LCC2) достигает своего пика вблизи критического значения параметра – порога перколяции q_c . Именно эта точка соответствует фазовому переходу сети из связного состояния в фрагментированное. На рисунке 1 представлена динамика изменения LCC1 и LCC2 в зависимости от q_c ; значения нормированы и отображаются в диапазоне от 0 до 1.

Порог q_c служит индикатором структурной устойчивости маршрутной сети и характеризует степень организованности воздушного движения в системе. Пока нормализованная скорость остаётся ниже этого порога, большинство маршрутов остаются доступными, и воздушные суда могут беспрепятственно перемещаться по основной части сети. Однако при превышении критического уровня q_c маршруты оказываются разрозненными и изолированными в небольших группах, что резко снижает связность всей системы.

Таким образом, значение q_c может рассматриваться как предельная нормализованная скорость, при которой воздушное движение остаётся глобально эффективным и связным. Этот параметр отражает общую степень согласованности и функционирования маршрутной сети в терминах теории сетей.

2) Идентификация критических связей

При достижении критического порога перколяции q_c маршрутная сеть сохраняет основную связную компоненту LCC1, тогда как вторая по размеру компонента LCC2 остаётся незначительной. Как видно из рисунка 1 (а), дальнейшее исключение связей из LCC1 приводит к её постепенному распаду

на множество небольших кластеров. Это свидетельствует о том, что при $q = q_c$ происходит фазовый переход сети от связного состояния к фрагментированному. В этот момент наблюдается рост LCC2, что отражает нарастание степени разрозненности структуры.

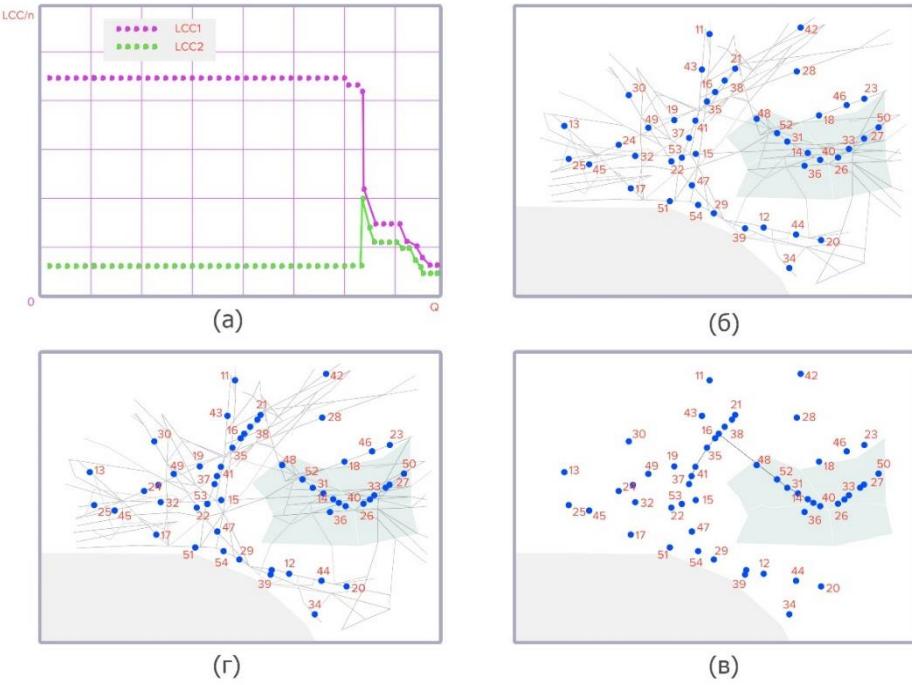


Рисунок 1 – Процесс перколяции в МВ3

Рисунок 1 также иллюстрирует этот переход на примере маршрутной сети МВ3. В верхней части показана конфигурация LCC1 при достижении порога q_c во взвешенной сети МВ3. Нижняя часть демонстрирует последствия превышения этого порога: в результате удаления определённых связей структура LCC1 распадается, и выделяются те звенья, удаление которых спровоцировало фрагментацию. Каждый узел на схеме соответствует точке маршрута, задействованной в сети.

На основании изложенного, процесс выявления критических звеньев с применением теории перколяции может быть formalизован следующим образом:

$$E_c = \{e \in E \mid w_e < q_c + \delta\}, \quad (8)$$

где δ – шаг изменения переменной q в диапазоне $q \in [0,1]$.

Для каждого временного среза G^t сформированной пространственно-временной сети существует два набора выявленных критических звеньев: один получен с использованием показателя центральности, а другой – с применением теории перколяции. Важно подчеркнуть, что метрика центральности рёбер позволяет идентифицировать те участки сети, которые функционируют как основные маршруты для кратчайших путей, выступая своеобразными опорными звеньями. В то же время, теория перколяции направлена на определение мостовых связей, отключение которых оказывает

критическое влияние на связность и структурную устойчивость всей маршрутной сети.

Звенья, обнаруженные с помощью обеих методик – как по значениям центральности, так и на основании анализа переколационного перехода – соответствуют определению критических звеньев, принятому в рамках данного исследования. Такие звенья одновременно обеспечивают прохождение кратчайших маршрутов ВС и поддерживают целостность структуры маршрутной сети при внешних воздействиях.

Таким образом, пересечение двух множеств звеньев рассматривается как окончательный набор критических звеньев $E_c^{t_i}$ для временного среза G^{t_i} .

Критические звенья $E_c^{t_i}$ определяются для каждого временного интервала t_i . Важно отметить, что они изменяются во времени в зависимости от текущей воздушной обстановки. Этот процесс позволяет динамически определять критические звенья в разные моменты времени.

Наблюдая за изменениями в составе критических звеньев, можно получить представление об их временном распределении. Кроме того, объединив множества $E_c^{t_i}$ за весь временной горизонт, можно получить целостное представление о пространственном распределении критических звеньев в рамках всей сети маршрутов G .

Дискуссия

Современные исследования в области выявления критических связей в транспортных сетях фокусируются на сочетании топологических моделей и динамических характеристик. В частности, [Tian et al., 2021] разработали метод каскадных отказов в городских дорожных сетях, анализируя влияние последовательных удалений ребер на связность и распространение перегрузок, что показывает важность учёта динамики отказов вне лишь статической центральности. Этот подход наглядно демонстрирует, что уязвимость часто не связана напрямую с центральностью краевых ребер, а определяется их ролью в формировании каскадов [A network-based dynamic air traffic flow model..., 2017].

Перспективным развитием является интеграция анализа потока и топологии – [Takhtfiroozeh et al., 2021] представили метод, объединяющий структурные метрики (центральности, кость-состав) и атрибуты движения для обнаружения критичных звеньев. Такая гибридная методика показывает улучшенную чувствительность по сравнению с классическими подходами на основе только центральности. Показалось ключевым также использование распределённых и сегментированных моделей, а не лишь глобальных статистик.

Системный обзор [Mahabadi et al., 2021] подчеркнул необходимость учёта многослойной структуры инфраструктуры (мультисетей), где переколационные подходы не учитывают взаимозависимости между слоями (например, транспорт и связь). Это прямо обосновывает необходимость

внедрения топологических и логистических метрик различных типов для повышения устойчивости моделей.

Работы 2019-2024 гг. показывают переход к аналитическим методам в рамках классических транспортных задач. Например, [New centrality and causality..., 2019] использовали множественную линейную регрессию, демонстрируя, что структурные метрики (SC, BC, EC) достоверно коррелируют с изменением движения после атак на критичные связи. Параллельно в [Identification of critical links..., 2024] была предложена стохастическая модель надёжности, учитывающая корреляции между связями и оптимизирующая нахождение критичных участков без перебора сценариев

Наконец, в исследованиях [Kalpana et al., 2023] предлагаются шкальные индексы критичности, интегрирующие статические, динамические и топологические признаки, а также методы кластеризации зависимости от сценариев отказов и сезонных факторов. Эти работы подтверждают тенденцию к использованию машинного обучения и аддитивных методов для оценки устойчивости транспортных сетей [An optimization-simulation closed-loop..., 2021].

Несмотря на высокую вычислительную эффективность, рассмотренные методы обладают рядом ограничений. Во-первых, использование фиксированных порогов критичности рёбер делает модель чувствительной к структуре конкретной сети и снижает обобщающую способность. Во-вторых, агрегация весов маршрутов без учёта временной нестабильности (например, дисперсии скорости или плотности движения) приводит к потере важной динамической информации. Кроме того, методы не учитывают внешние факторы (погода, задержки), а анализ отказоустойчивости ограничен лишь статической топологией без прогностических механизмов. Это снижает применимость исходного подхода в условиях быстро меняющейся воздушной обстановки.

Результаты

Оптимизируем метрику центральности по нагрузке. Она отражает относительное количество движения (BC), проходящего через конкретное ребро (маршрут) по сравнению с общей нагрузкой сети. Некоторые маршруты могут не иметь высокой топологической центральности, но на них приходится большая доля общего движения. Удаление такого маршрута вызовет серьёзные операционные последствия, даже если он не «центральный» по классическим метрикам. Поэтому центральность по нагрузке показывает операционную важность.

$$c_j = \frac{F_j}{\sum_i F_i}, \quad (9)$$

где F_j – количество рейсов через ребро e_j .

Оптимизируем метрику потери устойчивости. Она оценивает, насколько сильно ухудшается связность всей сети, если удалить конкретное ребро. Чем сильнее разрушается наибольшая связная компонента, тем важнее это ребро.

Метрика показывает, насколько сильно конкретное ребро «держит» сеть вместе. Даже если оно слабо нагружено, но его удаление фрагментирует граф – оно критично. Это структурно-устойчивостная метрика, противоположная по духу центральности по нагрузке, и вместе они дают полную картину:

$$R(e_j) = \frac{|LCC(G) - LCC(G \setminus \{e_j\})|}{|V|}, \quad (10)$$

где G – граф сети, $G \setminus \{e_j\}$ – граф без ребра e_j , $LCC(\cdot)$ – размер наибольшей связной компоненты, $|V|$ – общее число узлов в графе.

В предлагаемом оптимизированном подходе вес ребра учитывает как среднюю скорость, так и стандартное отклонение, а выявление критических рёбер производится через анализ устойчивости крупнейшей компоненты связности графа. Рассчитаем динамический вес: пусть e_j – конкретное ребро в сети маршрутов ОВД. В каждом временном слоте (например, 10 минут) мы фиксируем скорости перемещения ВС по ребру $s_{j,1}, s_{j,2}, \dots, s_{j,n}$. Тогда средняя скорость и её стандартное отклонение соответственно:

$$\mu_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_{j,i} \quad (11)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_{j,i} - \mu_j)^2}. \quad (12)$$

Максимальная скорость по всем рёбрам сети будет $s^{\max} = \max_j \mu_j$. Тогда вводится нормированный комбинированный вес:

$$w_j = \alpha \cdot \frac{\mu_j}{s^{\max}} + \beta \cdot \frac{\sigma_j}{s^{\max}}, \quad (13)$$

где $\alpha + \beta = 1$. Этот вес отражает как среднюю пропускную способность, так и чувствительность к нестабильности маршрута, что особенно важно при различных погодных условиях на длине маршрута. Далее проводится перколяционный анализ и определение критического порога. Для определения критических рёбер вначале они сортируются по возрастанию веса w_j , далее постепенно удаляются $q \in [0;1]$ долей слабейших рёбер, после каждого удаления оценивается LCC графа, наконец по второй производной кривой $LCC(q)$ определяется порог разрушения q_c , соответствующий резкому обрыву связности сети.

Предлагаемый алгоритм выявления критических рёбер можно изложить следующим образом. Для каждого ребра e_j вычисляются μ_j, σ_j, w_j , производится сортировка ребра по w_j , строится кривая $LCC(q)$ по шагам Δq ,

вычисляется вторая производная $\frac{d^2 LCC}{dq^2}$, определяется $q_c = \arg \max \frac{d^2 LCC}{dq^2}$ и все рёбра, входящие в первые $q_c \cdot |E|$ по весу w_j , маркируются как критические. Этот метод позволяет не только учитывать динамические свойства маршрутной сети, но и автоматизировать процесс выбора порогов без

необходимости эмпирической настройки параметров δ и K [Identifying critical links ..., 2023].

Для повышения объективности процесса выделения критических связей в маршрутной сети предлагается автоматическая настройка параметров δ и K , основанная на анализе перколяционного разрушения сети.

С целью определения порога разрушения δ рассмотрим последовательное удаление рёбер графа $G = (V, E)$ в порядке возрастания их нормированного веса важности w_j – например, объединённой метрики на основе средней скорости и дисперсии потока. На каждом шаге вычисляется размер LCC:

$$S(q) = \frac{|LCC(G_q)|}{|V|} \quad (14)$$

где $q \in [0;1]$ – доля удалённых рёбер, $G_q \subseteq G$ – граф после удаления первых $q|E|$ рёбер. Анализ производной от этой функции разрушения:

$$-\Delta S(q) = -\frac{ds}{dq} \quad (15)$$

позволяет определить критическую точку разрушения q_c , соответствующую максимальному снижению связности. Порог δ автоматически определяется как ширина пика на полувысоте:

$$\delta = q_2 - q_1,$$

$$\text{где } \Delta S(q_1) = \Delta S(q_2) = \frac{1}{2} \max(-\Delta S(q)).$$

Для параметра K , отражающего временную устойчивость критичности, предлагается следующий принцип: ребро считается устойчиво критическим, если оно появляется в более чем $K\%$ временных окон. Значение K может быть выбрано адаптивно по следующим критериям: (1) по распределению количества появлений рёбер (например, медиана или нижний quartиль); (2) на основе устойчивости ранжирования рёбер между временными срезами (например, с использованием корреляции Спирмена); (3) либо установлен фиксированным значением, например, $K = 50\%$, что отражает минимальную статистическую значимость присутствия связи во времени.

Пусть T – общее количество временных слотов, $a_j^{(t)} = 1$, если ребро e_j существует в момент t , иначе = 0. Тогда доля присутствия:

$$\pi_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T a_j^{(t)}. \quad (16)$$

Ребро считается устойчивым, если $\pi_j \geq K$.

Например, при $K = 0,5$ учитываются только рёбра, которые присутствовали более 50 % времени. Таким образом, K действует как фильтр шума: редкие или нестабильные связи не включаются в расчёт критичности, повышая надёжность результатов.

Заключительная задача оптимизации заключается в прогнозировании, будет ли конкретное ребро маршрутной сети критическим в будущем временном слоте, опираясь на данные о текущем и предыдущем состоянии сети. Это позволяет не только анализировать уже случившиеся перегрузки, но и заблаговременно выявлять угрозы стабильности сети. Это задача бинарной классификации:

$$y_j^{(t)} = \begin{cases} 1, & \text{если ребро } e_j \text{ критично в момент } t \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}. \quad (17)$$

Рёбра считаются критичными, если их вес w_j меньше критического порога $q_c + \delta$, и они входят в число наилучших K по центральности (или другой ключевой метрике) в данном временном слоте, то есть:

$$y_j^{(t)} = \mathbb{1}[w_j^{(t)} < q_c + \delta \cap j \in \text{Top-K centrality}]. \quad (18)$$

Для каждого ребра e_j в слоте времени T_t формируется вектор признаков $x_j^{(t)}$, включающий динамические параметры, такие как $w_j^{(t)}$ – комбинированный вес (учёт скорости и нестабильности), $\mu_j^{(t)}$ и $\sigma_j^{(t)}$ – средняя скорость и стандартное отклонение, $c_j^{(t)}$ – центральность по нагрузке, $r_j^{(t)}$ – потеря устойчивости, показатель центральности по посредническому пути; временные признаки, такие как t – индекс временного слота представляющий собой порядковый номер фиксированного интервала наблюдения (например, 5-, 10- или 15-минутного), используемый для упорядочивания и привязки данных к конкретному моменту времени в анализируемой временной последовательности, \sin/\cos -кодировки времени преобразование индекса временного слота t в пару значений $\sin(2\pi t/P)$ и $\cos(2\pi t/P)$ где P – период (например, количество слотов в сутках, такой подход позволяет учесть цикличность временных процессов и избежать разрыва между началом и концом периода (например, для учёта суточных циклов)), день недели, месяц, сезон (например, август = «высокое движение») и внешние признаки, такие как индекс погодной сложности (грозы, струйные течения, осадки), средняя задержка по соседним узлам в текущем слоте, плотность движения в данном районе (тепловая карта). Тогда вектор признаков:

$$x_j^{(t)} = [w_j^{(t)}, \mu_j, \sigma_j, c_j, r_j, \text{centrality, time, weather, delays, ...}]. \quad (19)$$

Финальным шагом является использование модели градиентного бустинга XGBoost, обученного на собранных статистических данных. После обучения она способна прогнозировать вероятность критичности:

$$\hat{y}_j^{(t+1)} = \text{model.predict_proba}(x_j^{(t)}). \quad (20)$$

На выходе строится тепловая карта сети (пример на рисунке 2), в которой толщина рёбер отражает нагрузку, а цвет – вероятность критичности $\hat{y}_j^{(t+1)}$ (зелёный – надёжно, красный – вероятно критичное). Для оценки качества используется ROC AUC с ожидаемым значением точности 85-90%.

В предыдущей части работы был описан метод определения критических звеньев маршрутной сети на основе анализа данных о траекториях полётов. Для проверки его прикладной ценности в данном разделе проводится эмпирическое исследование на примере структуры маршрутов МВЗ. Московский Региональный центр (РегЦ) взаимодействует с шестью соседними РегЦ/РЦ и осуществляет управление ВП площадью 732 272 км² до эшелона FL530 (16150 м) и выше. В этой зоне расположено свыше 100 аэродромов, включая 10 международных, а также значительное количество ограничивающих факторов: 55 запретных зон, 161 зона ограничений, 8 авиационных и 36 стрелковых полигонов [Aeronautical Information..., 2020].

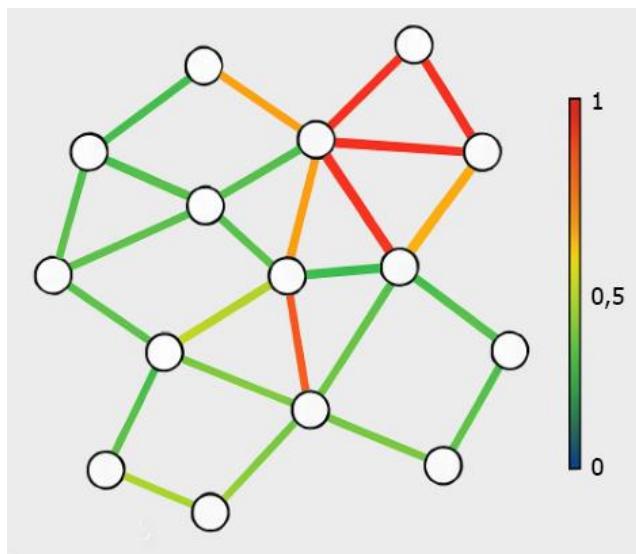


Рисунок 2 – Прогноз критических рёбер на следующий слот

Особое значение имеет Московский аэроузловой диспетчерский центр (АузДЦ), состоящий из 25 секторов и обслуживающий одно из наиболее загруженных ВП в стране – воздушное пространство Московского авиаузла.

В качестве экспериментальных данных используется массив траекторной информации за август 2024 года – период интенсивного движения, обусловленного летними отпусками. Данные предоставлены филиалом МЦ АУВД ФГУП «Госкорпорации по ОрВД» и включают сведения о 44 215 рейсах: прохождение точек и временные отметки.

На базе этих данных строятся взвешенные пространственно-временные сети маршрутов ОВД. Поскольку конфигурация критических звеньев может варьироваться в зависимости от времени суток и трафика, сети формируются отдельно для различных временных интервалов. Пример одного из таких 30-минутных «срезов» представлен в нижней части рисунка 3.

Для анализа динамики изменения критических звеньев во времени при различных сценариях воздушной обстановки формируются пространственно-временные сети, охватывающие разнообразные временные промежутки. Кроме того, выбор длины временного интервала также влияет на точность

выявления критически важных маршрутов, поэтому в эксперименте используются сети с различной продолжительностью временного окна.

В рамках данного исследования длительность временных интервалов установлена равной 10, 25, 40 и 55 минутам, что позволило сформировать четыре отдельных набора пространственно-временных сетей. Выбор именно таких интервалов обусловлен их активным применением в практиках оценки нагрузки на диспетчеров и планирования ВД. В частности, в модели МАР пропускная способность ВП рассчитывается с шагом в 15 минут.

Соответственно, на основе данных маршрутной фазы за один месяц было построено:

- 1865 сетей при 10-минутном интервале;
- 1488 сетей при 25-минутном;
- 783 сети при 40-минутном;
- и 509 сетей при интервале в 55 минут.

Для каждой из этих сетей последовательно производится определение критических звеньев с применением двух подходов: метрики промежуточной центральности рёбер и анализа по теории перколяции. Такой подход обеспечивает многоаспектную оценку значимости связей и позволяет выявить наиболее уязвимые участки маршрутной структуры при различных временных масштабах.

В процессе перколяции значение шага изменения переменной q , $q \in [0,1]$ установлено как $\delta = 0.005$. Количество критических звеньев варьируется во времени, однако их максимальное число не превышает 20. При этом среднее количество критических звеньев, выявленных на каждом снимке сети при временных интервалах 10, 25, 40 и 55 минут, составило соответственно 1,98; 2,14; 2,79 и 3,04.

Анализ показывает, что по мере увеличения продолжительности временного интервала – от 10 до 25, затем до 40 и 55 минут – наблюдается небольшое, но устойчивое увеличение числа критических звеньев. Это может быть обусловлено тем, что при удлинении временного окна сглаживаются краткосрочные флуктуации трафика, а также ослабляется влияние отдельных звеньев на процесс перколяции. В частности, при анализе 15-минутных интервалов фиксируются связи, играющие критическую роль в данный краткий момент времени. Однако в течение более длительного периода (например, 55 минут) могут поочерёдно становиться важными разные звенья. Их влияние в этом случае усредняется, и такие временно значимые связи включаются в список критических для всего интервала. Это объясняет рост общего числа критических звеньев при увеличении длительности интервала.

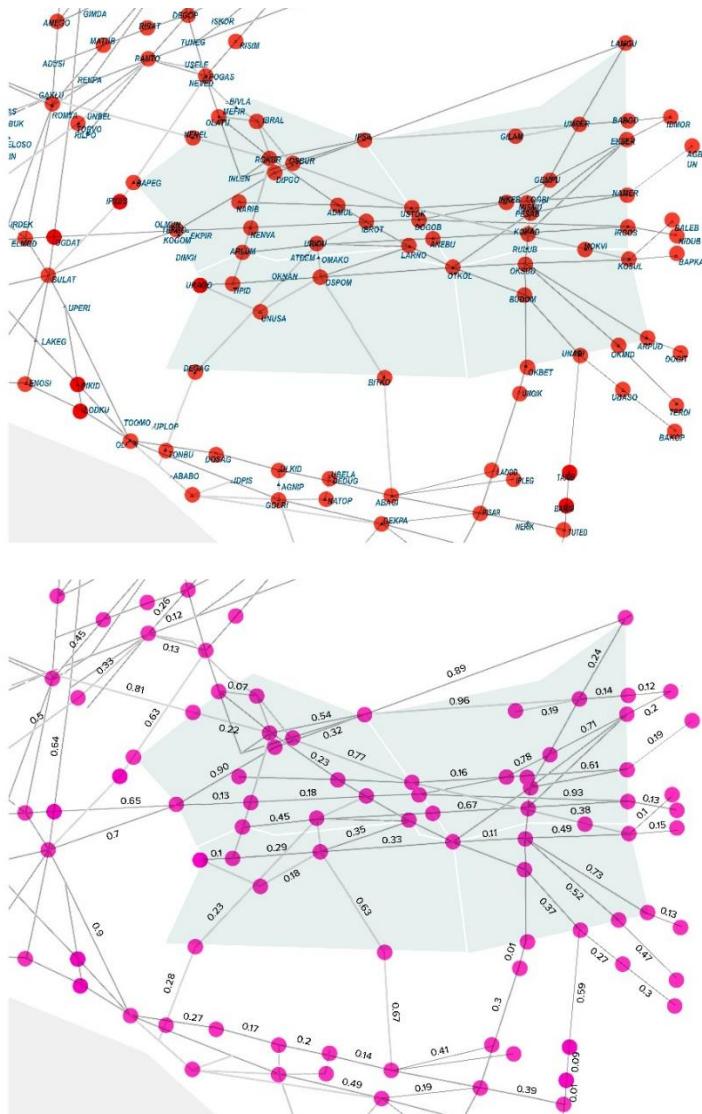


Рисунок 3 – Структура сети МВЗ с географической информацией и взвешенная сеть МВЗ с весами, представляющими собой нормализованную среднюю скорость полётов по каждому звену

Дополнительно, как видно на рисунке 4 (а), можно отметить характерные суточные колебания количества критических звеньев. Минимальные значения, как правило, приходятся на временной диапазон с 18:00 до 23:00 UTC, особенно около 21:00 UTC, тогда как наибольшее количество критических звеньев наблюдается с 23:00 до 18:00 следующего дня.

Наиболее вероятное объяснение таких осцилляций связано с хабовой функцией московского аэроузла. Анализ часовой активности трёх крупнейших аэропортов региона демонстрирует волнообразные пики загрузки, отражающие особенности их функционирования как узловых пунктов. Как правило, пиковая нагрузка возникает во время раннего утреннего и вечернего прибытия рейсов, после чего через примерно два часа следует волна вылетов. Эти пики часто приходятся на 7:00 и 19:00 по местному времени, что обусловлено предпочтениями пассажиров: ранние утренние

вылеты и вечерние возвращения особенно характерны для ближнемагистральных маршрутов.

Поскольку состав критических звеньев может различаться в зависимости от выбранного временного интервала, проводится сравнительный анализ их пространственного распределения. Для этого для каждого метода – метрики центральности рёбер и подхода на основе переколационной теории – рассчитывается частота, с которой каждое звено оказывается критическим в совокупности всех взвешенных сетей.

На рисунке 4 представлено обобщённое пространственное распределение критических звеньев в маршрутной сети МВЗ. Фиолетовым цветом обозначены звенья, классифицированные как критические на основе показателя центральности, а красным – те, которые выявлены с использованием переколационного анализа. Толщина линии каждого звена соответствует частоте его включения в критическую подсеть.

Из анализа рисунка следует, что звенья, определённые с помощью метрики центральности, имеют существенно большую частоту появления среди критических. Это связано с тем, что при данном методе для каждого временного интервала систематически выбирается по 10 звеньев с наибольшим значением центральности. В то же время, при применении переколационного подхода количество критических звеньев на один интервал, как правило, варьируется в диапазоне от 2 до 3. Независимо от применяемого метода, можно отметить, что лишь ограниченное число звеньев обнаруживаются как критические с высокой частотой.

Также рисунок 4 демонстрирует зависимость частоты выявления критических звеньев от продолжительности временных интервалов, на основе которых формируются пространственно-временные сети. При увеличении длины интервала (с 10 до 60 минут) наблюдается общее снижение частоты включения звеньев в критическую подсеть, что визуально выражается в уменьшении толщины линий. Это объясняется сокращением общего числа временных «снимков» сети, формируемых на месячном массиве данных при более длинных интервалах.

При этом краткие интервалы позволяют получить более детализированную, «микроскопическую» картину изменения структуры сети, тогда как длинные интервалы дают обобщённое, «макроскопическое» представление. Подобная гибкость при выборе длины временного окна делает возможной адаптацию подхода к различным исследовательским задачам и практическим приложениям, что важно для проектирования устойчивых решений в ОВД.

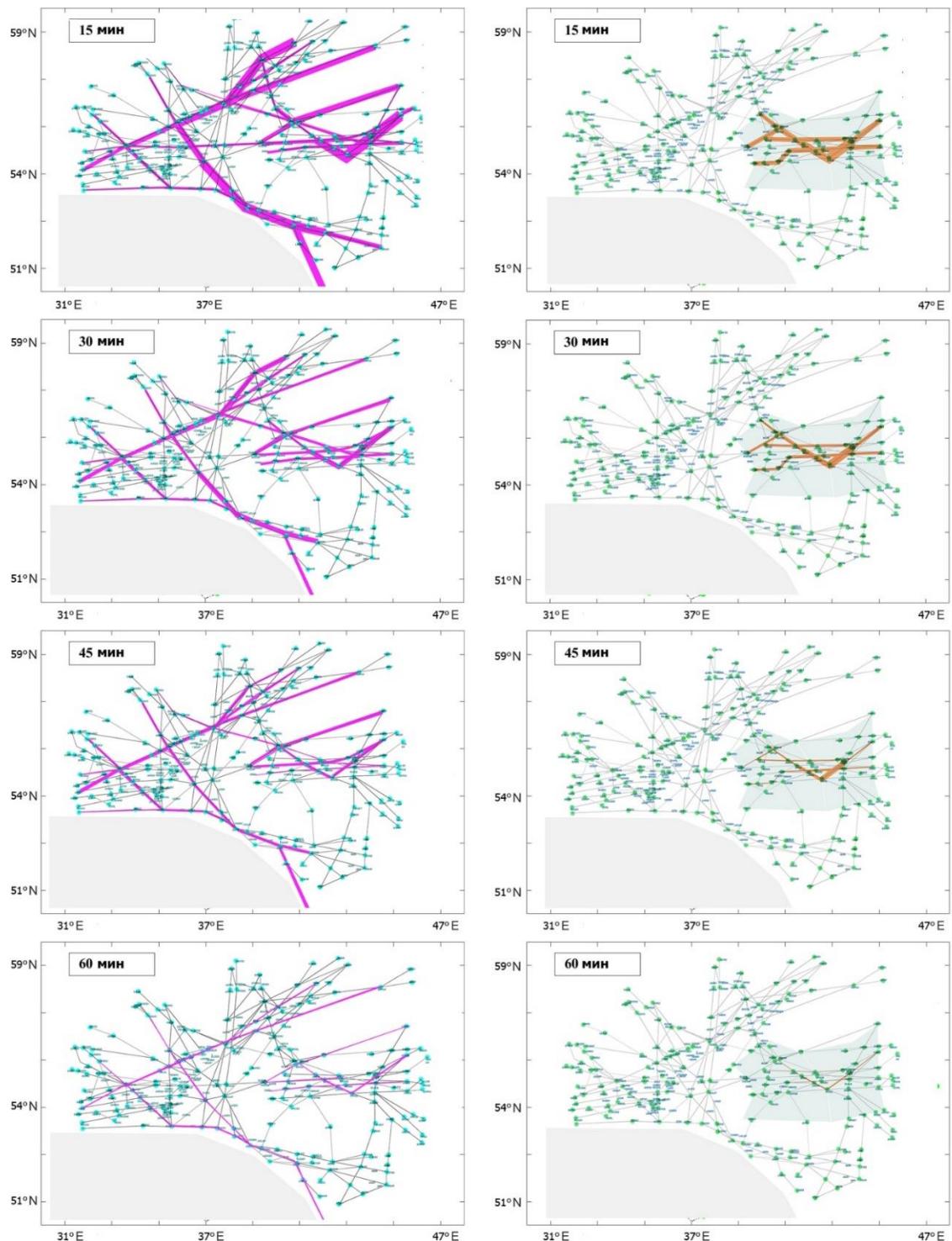


Рисунок 4 – Критические звенья, выявленные с использованием метрики промежуточной центральности (левая колонка) и теории перколяции (правая колонка)

Проведённые выше эксперименты позволяют провести обобщённое сравнение пространственной структуры критических звеньев, выявленных посредством промежуточной центральности и перколяционного подхода. На следующем этапе исследования будут представлены финальные итоги

определения критических звеньев, объединяющие результаты, полученные с использованием обеих методик.

Для каждого временного интервала критические звенья в соответствующей сети определяются как пересечение двух множеств, полученных на основе двух независимых сетевых показателей. Распределение количества таких звеньев по всем временным срезам представлено на рисунке 5, где по оси x указано число критических звеньев, а по оси y – соответствующая частота их появления.

Согласно данным рисунка 5, можно отметить, что после объединения результатов, полученных с использованием теории перколяции и метрики промежуточной центральности, количество критических звеньев в отдельных временных интервалах стабилизируется в пределах от 1 до 5. При этом наибольшая часть наблюдений соответствует случаям, когда выявляется одно критическое звено на временной срез, что указывает на достаточную селективность предложенного подхода.

Разработанный сетевой метод даёт возможность анализировать критичность звеньев как в пространственной, так и во временной проекции. Визуализация временной динамики критических звеньев для МВЗ представлена на рисунке 6. По оси x обозначены идентификаторы 289 звеньев маршрутной сети, по оси y – моменты времени. Горизонтальная ось позволяет определить, какие именно звенья признавались критичными в тот или иной момент времени, тогда как вертикальная демонстрирует временную эволюцию статуса конкретного звена. Сиреневые ячейки на матрице (x, y) указывают на то, что соответствующее звено было признано критическим в конкретный временной интервал. Четыре звена существенно чаще остальных идентифицируются как критические. Это участки: «TOGMO – ULKID», «IBROT – OTKOL», «EKSER – OTKOL» и «GOBOM – ROMTA», которые дополнительно отмечены красными подписями на рисунке.

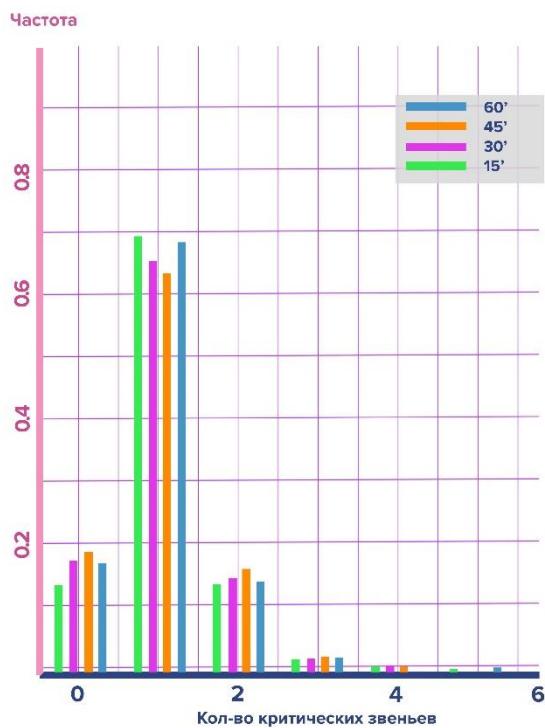


Рисунок 5 – Распределение количества выявленных критических звеньев

Также можно отметить, что с увеличением длительности временного интервала, используемого при формировании временных «снимков» сети, наблюдается общее снижение как числа выявленных критических звеньев, так и частоты их идентификации. Это визуально выражается уменьшением толщины линий, обозначающих звенья на рисунке.

Причины такого снижения двоякие. Во-первых, при удлинении временного окна количество формируемых снимков сети на основе одного и того же массива данных за месяц уменьшается, что приводит к снижению общего числа случаев, в которых может быть зафиксирован статус критичности того или иного звена. Во-вторых, при увеличении интервала наблюдения веса рёбер в сети усредняются, что способствует формированию более однородной топологии. В такой структуре различия между значимостью звеньев сглаживаются, и ни одно из них не демонстрирует явного превосходства в смысле сетевой важности.

Как следствие, при анализе подобных однородных структур эффективность как показателя промежуточной центральности, так и методов, основанных на перколяционной теории, существенно снижается, поскольку отсутствуют ярко выраженные лидирующие звенья, играющие ключевую роль в обеспечении структурной устойчивости сети.

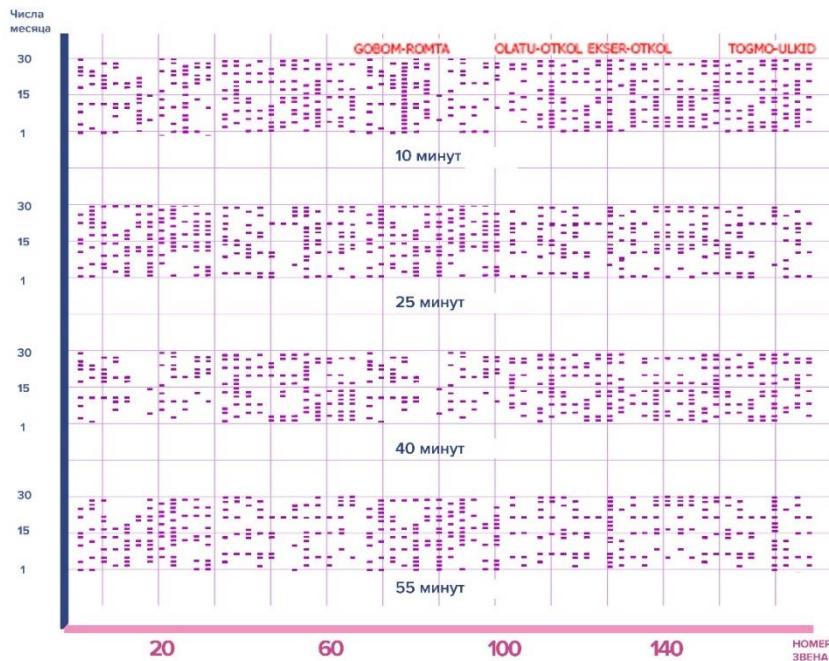


Рисунок 6 – Критические звенья, выявленные при различных временных интервалах в модели пространственно-временной сети

На рисунке 7 приведены симулированные зависимости LCC от доли удалённых рёбер q , а также вторая производная, на пике которой визуализируется критический порог переколяции.

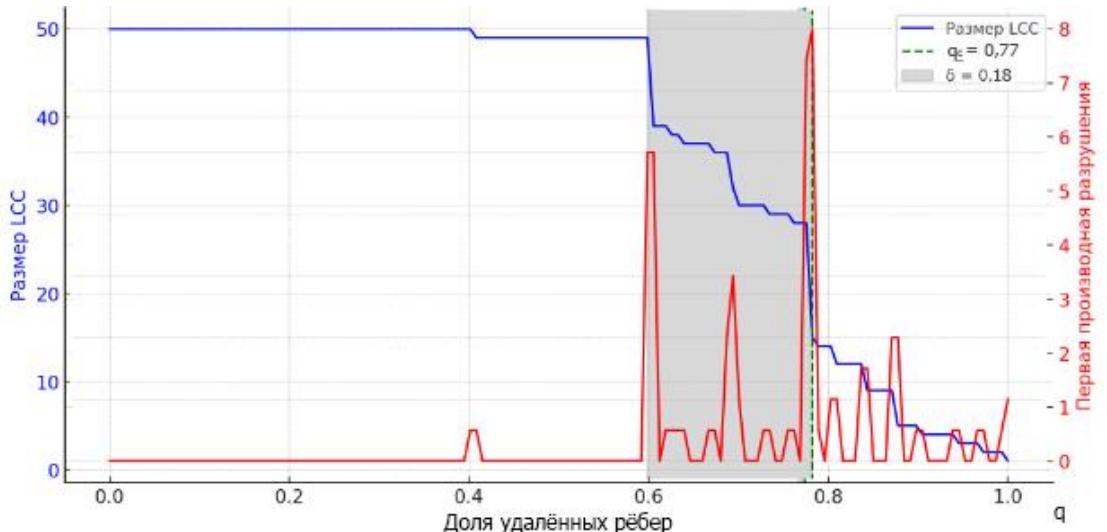


Рисунок 7 – График зависимости LCC от q и первой производной – $\Delta S(q)$

На графике наблюдается плавное снижение LCC до $q_c \approx 0,77$, после чего происходит резкое разрушение сети. Максимум производной указывает на критический порог $q_c = 0,77$, при котором связность графа нарушается, а порог разрушения составляет $\delta \approx 0,18$. Это значение используется как ориентир при классификации критичных рёбер.

Ранее приведённые эксперименты продемонстрировали практическую реализацию предложенного метода выявления критических звеньев в

маршрутной сети МВЗ на основе сетевых теоретических подходов. В данном разделе проводится валидация критичности обнаруженных звеньев с трёх различных точек зрения: с позиции объёмов ВД, с позиции проектных характеристик структуры ВП, а также с эксплуатационной точки зрения.

Как видно из рисунка 6, максимальное количество критических звеньев, одновременно выявленных в отдельный временной момент, составляет 5. По информации за август 2024 года, через МВЗ было зарегистрировано 51 347 полётов. В таблице 1 представлены доли рейсов, прошедших через пять наиболее часто встречающихся критических звеньев сети, с учётом различных временных интервалов. Эти значения выражены как отношение количества полётов, затронувших указанные звенья, к общему числу зарегистрированных ВС в анализируемый период. Эти значения позволяют оценить масштаб операционного значения каждого звена и подтвердить его важность с точки зрения реального движения.

Таблица 1 – Соотношение полетов (r) на каждом из пяти критических звеньев при различных длительностях временных интервалов

15 минут	r (%)	30 минут	r (%)	45 минут	r (%)	60 минут	r (%)
TOGMO - ULKID	10.68	TOGMO - ULKID	10.68	IBROT - OTKOL	5.68	GOBOM - ROMTA	5.69
IBROT - OTKOL	5.68	IBROT - OTKOL	5.68	DESUD - ROMTA	13.37	DESUD - ROMTA	13.37
RANTO - STAPA	10.69	GOBOM - ROMTA	5.69	TOGMO - ULKID	10.68	IBROT - OTKOL	5.68
TOKNU - STAPA	9.90	EKSER - OTKOL	5.68	GOBOM - ROMTA	5.69	TOGMO - ULKID	10.68
EKSER - OTKOL	5.68	GOLRI - OLOPI	10.69	EKSER - OTKOL	5.68	EKSER - OTKOL	5.68

Следует отметить, что четыре звена, выделенные жирным шрифтом в Таблице 1, являются общими критическими звеньями, выявленными при различных длительностях временных интервалов. Из данных таблицы видно, что эти звенья характеризуются высокой относительной нагрузкой – доля транзитных полётов через них значительна. В случае блокировки любого из этих звеньев, например, из-за неблагоприятных погодных условий или ограничений на использование воздушного пространства (ИВП), затронутый сегмент воздушного движения окажется непосредственно ограниченным. Так, при блокировке звена «TOGMO – ULKID» будет затронуто около 10,68% от общего количества перевозок, что потребует оперативных мер со стороны органов ОВД – таких как корректировка маршрутов, управление скоростью и векторение ВС.

Из рисунка 8 видно, что два звена – «EKSER – OTKOL» (на маршруте Р162) и «IBROT – OTKOL» (T784) – расположены в восточных секторах МВЗ.

Первое обслуживает прибывающий поток во все московские аэропорты, второе – транзитный поток из Санкт-Петербурга, а также вылетной поток из московских аэропортов в Среднюю Азию, восточные регионы России и ближневосточный регион. Звено «TOGMO – ULKID» находится на маршруте, ведущем к точке ABAGI – выходу в районный диспетчерский центр (РДЦ) Самары из МВЗ. Через него проходят рейсы из Европы в Среднюю Азию, Китай, южные регионы РФ и ближний Восток. Точка «OTKOL» является узловой точкой пересечения маршрутов P162, T784 и T787, которые обеспечивают движение основных потоков ВД в/из восточных и южных регионов РФ в Москву и Санкт-Петербург. Звено «GOBOM – ROMTA» обслуживает интенсивный входящий поток в зону аэроузла с востока и северо-востока России. Точка «ROMTA» – начальная точка STAR для аэропортов Москвы.

В этом разделе проводится проверка критичности выявленных звеньев с эксплуатационной точки зрения с учётом обратной связи от специалистов Московского РегЦ. Результаты подтверждаются с двух позиций: а) пространственного представления на основе структуры потоков ВД; б) временного представления, основанного на реальных сценариях движения.

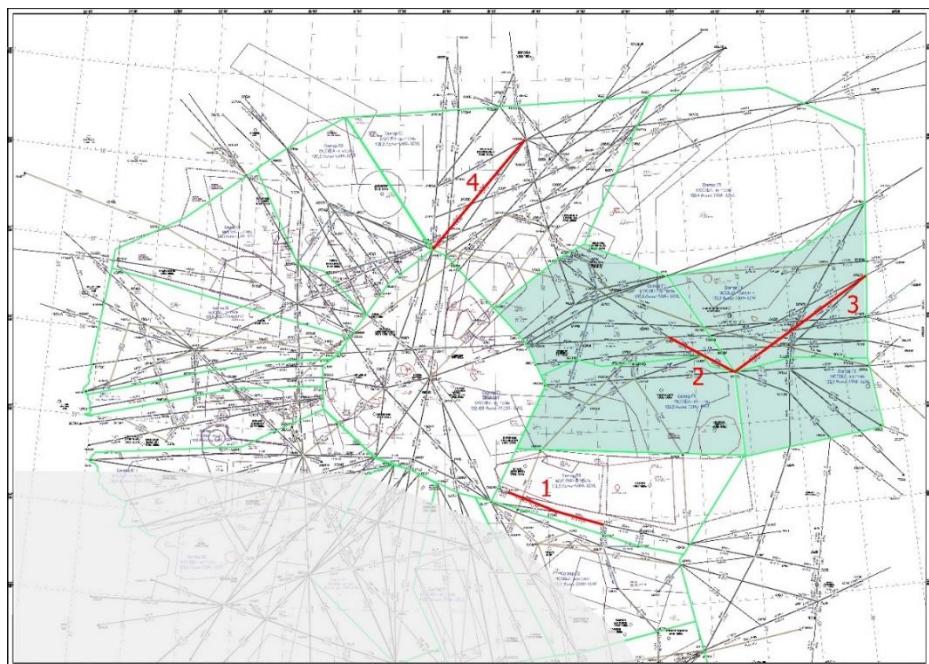


Рисунок 8 – Географические положения критических звеньев: 1 – «TOGMO-ULKID», 2 – «IBROT-OTKOL», 3 – «EKSER-OTKOL» и 4 – «GOBOM-ROMTA»

Специалисты отдела Организации ИВП Московского Центра Автоматизированного Управления Воздушным Движением (МЦ АУВД) использовали вышеуказанные данные для анализа пространственной критичности выявленных звеньев. Далее представлен разбор звена «TOGMO – ULKID».

Звено «TOGMO – ULKID» расположено на одностороннем маршруте M56. Оно характеризуется крайне высоким объёмом движения – доля полётов, проходящих через это звено в МВЗ, составляет 10,68%. При длине всего 72 морских мили это звено демонстрирует высокую плотность движения: согласно данным, пиковое количество ВС, проходящих через него за 15 минут, достигает 6–7.

На карте также указаны точки входа и выхода в МВЗ, связанные с «TOGMO – ULKID». Стрелка вправо обозначает направление движения по маршруту, указанному в заголовке таблицы, и наоборот. Соответствующие траектории выделены фиолетовым цветом на рисунке 8. Из рисунка видно, что все вылетающие из аэроузла Москвы рейсы, использующие любую из возможных SID, неизменно проходят через это звено (выделено жёлтым). Маршрут M56 обеспечивает объединение потоков из московских аэропортов, Санкт-Петербурга, северных регионов России, Минска и европейских городов в южные регионы РФ, Закавказье, Ближний Восток, Африку, а также Среднюю и Юго-Восточную Азию. Маршрут M758 обслуживал порядка 742 линий в неделю по состоянию на 2024 год.

На рисунке 9 видно, что входящие рейсы из перечисленных регионов, двигаясь по маршрутам P65 (односторонний) и L4 (двусторонний), сливаются с маршрутом T833 и проходят через звено «TOGMO – ULKID» на восток. С этой точки зрения звено служит ключевой опорой для распределения транзитных и вылетных рейсов из МВЗ в южном и юго-восточном направлениях.

Критичность «TOGMO – ULKID» определяется не только высокой плотностью и положением на главном маршруте M56, но и его локализацией в одном из наиболее загруженных секторов ПЗ РДЦ Москвы. После точки ABAGI и выхода в Самарский РДЦ маршрут пересекается с двусторонним маршрутом N604, обслуживающим рейсы с севера России в южные регионы на тех же эшелонах. Это часто приводит к запросам от РДЦ Самары не выдавать отдельным ВС подписанные эшелоны до момента расхождения с другими судами в секторе «Самара-5». Кроме того, сложность создают возможные военные ограничения: в районе Рязани расположены аэродромы государственной авиации – Дягилево, Протасово и Турлатово. Согласно структуре ВП МВЗ, маршрут M56 проходит через зону аэродрома Дягилево, где полёт допускается не ниже FL100. При введении в работу ограничения UUP245 верхний эшелон полёта на участке TOGMO – DOSAG ограничивается FL350, выше которого действуют военные ограничения. Воздушным судам приходится снижаться, обходить маршрут или прибегать к процедурам векторения.

Особое значение звено «TOGMO – ULKID» приобретает из-за слияния потоков на различных этапах полёта. Рейсы, вылетающие из Москвы, на этапе набора высоты вынуждены осуществлять ступенчатый набор эшелонов на этом участке из-за пересекающегося потока с севера и запада. Это формирует потенциальную зону конфликтов в районе точки DOSAG и снижает общую эффективность движения потоков по маршруту.



Рисунок 9 – Маршруты в сети МВЗ, проходящие через звенья «TOGMO → ULKID» (юг карты) и «GOBOM → ROMTA» (север)

Все четыре ключевых звена обслуживают значительный объём воздушного движения в МВЗ. Эти звенья характеризуются высокой плотностью движения и небольшой длиной, а также располагаются внутри или на границе наиболее загруженного участка (см. рисунок 8), где пересекаются основные маршруты в различных направлениях. Соответствующие точки являются узловыми пунктами пересечения нескольких таких маршрутов. Учитывая эти факторы, любые нештатные ситуации – например, отказ комплекса средств автоматизации УВД или бортового оборудования – могут привести к серьёзным нарушениям эффективности движения в этих районах. В таких случаях диспетчеры вынуждены принимать оперативные меры для предотвращения задержек и конфликтов.

Таким образом, проведённый выше анализ с точки зрения плотности движения, структуры маршрутной сети и операционного контекста подтверждает, что предложенный метод позволяет эффективно выявлять критические звенья и динамически адаптироваться к изменяющимся условиям ВД.

Заключение

В условиях непрерывного роста интенсивности воздушного движения и увеличения зависимости от устойчивости маршрутной инфраструктуры задача своевременного выявления критических связей в воздушной сети приобретает стратегическое значение. Исследование [Kong et al., 2024] внесло значимый вклад в решение этой задачи, предложив использование теории сложных сетей и перколяционного анализа для обнаружения ключевых рёбер,

играющих определяющую роль в сохранении связности пространственно-временного графа маршрутов.

В данной работе предложен усовершенствованный подход к выявлению критических рёбер, объединяющий как топологические, так и динамические характеристики воздушной сети. Основной акцент сделан на внедрении более реалистичной модели веса маршрута, учитывающей не только среднюю скорость воздушных судов, но и её дисперсию в пределах временного окна. Дополнительно в анализ включены метрики нагрузки и устойчивости, что обеспечивает многогранную оценку значения каждого ребра для целостности сети. Автоматизированный перколяционный анализ, основанный на вычислении второй производной от функции LCC (q), позволил отказаться от ручного задания порога δ , обеспечив объективную идентификацию точки разрушения сети. Это существенно повышает воспроизводимость и универсальность метода.

Проведённое расширение базовой методики показало, что учёт динамических характеристик воздушных потоков, автоматическая настройка перколяционных порогов и использование моделей машинного обучения позволяют значительно повысить точность и интерпретируемость выделения критических связей. Полученные результаты демонстрируют потенциал интеграции сетевого и прогностического анализа для повышения надёжности и устойчивости воздушной транспортной сети.

Библиографический список

Нгуен Н. Н. К. Математическая модель и применение алгоритма A-Star для оптимизации маршрутов ОВД в воздушном пространстве районного диспетчерского центра / Н. Н. К. Нгуен, В. Н. Нечаев, В. Б. Малыгин // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2025. № 1. С. 12-22. EDN XGLVST.

Печенежский В. К. Особенности организации планирования использования воздушного пространства в Российской Федерации на примере Московской воздушной зоны / В. К. Печенежский, Е. К. Чувиковская // Научный вестник МГТУ ГА. 2023. № 26(6). С. 47-57. EDN VJOFJZ

Эшмурадов Д. Э. Вопросы оптимизации распределения загрузок воздушного пространства по секторам / Д. Э. Эшмурадов, Н. А. Сайфуллаева // Теория и практика современной науки. 2020. № 3. С. 45-52. EDN ZFSEAG.

A network-based dynamic air traffic flow model for en route airspace system traffic flow optimization / D. Chen, M. Hu, H. Zhang, J. Yin, K. Han // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2017. Vol. 106 (C). pp. 1-19. DOI 10.1016/j.tre.2017.07.009.

Aeronautical Information Publication & Amendments // [Электронный ресурс] – 2020. URL: <https://www.caas.gov.sg/docs/default-source/pdf/aip-singapore-31-dec-20.pdf> (дата обращения: 08.02.2021).

Air traffic complexity map based on linear dynamical systems / T. Ha, A. García, J. Lavandier, S. Chaimatanan, D. Delahaye // Aerospace. 2022. № 9(5). P. 230. DOI 10.3390/aerospace9050230.

An optimization-simulation closed-loop feedback framework for modeling the airport capacity management problem under uncertainty / P. Scala, M. M. Mota, C.-L. Wu, D. Delahaye // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 124. Article 102937. DOI 10.1016/j.trc.2020.102937.

Dynamics of disruption and recovery in air transportation networks / M. Z. Li, K. Gopalakrishnan, H. Balakrishnan, S. Shin // *CEAS Aeronautical Journal*. 2021. Vol. 13, № 12. pp. 1-11. DOI 10.1007/s13272-021-00521-x.

IATA. European Air Traffic Control Delays Loom Over Summer Air Travel // [Электронный ресурс] – 2018. URL: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2018-07-18-01.aspx> (дата обращения: 28.01.2023).

Identification of critical links based on the optimal reliable path in stochastic traffic networks / Y. Sun, S. Wang, X. Xu, L. Shen // *PLoS ONE*. 2024. № 19(1). P. e0298173. DOI 10.1371/journal.pone.0301272.

Identifying critical links in urban transportation networks based on spatio-temporal dependency learning / X. Huang, S. Hu, W. Wang, I. Kaparias, S. Zhong, X. Na, M.G.H. Bell, D.-H. Lee // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2023. № 24(6). pp. 6632-6646. DOI 10.1109/TITS.2022.3339507.

Kalpana R. Analyzing transportation network vulnerability to critical-link attacks through topology changes and traffic volume assessment / R. Kalpana, A. Sivakumar, S. Sundar // *Applied Sciences*. 2023. № 13(1). P. 221. DOI 10.3390/app15084099.

Kong W. Spatio-Temporal Pivotal Graph Neural Networks for Traffic Flow Forecasting / W. Kong, Z. Guo, Y. Liu // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2024. № 38(8). pp. 8627-8635. DOI 10.1609/aaai.v38i8.28707.

Mahabadi Z. Network properties for robust multilayer infrastructure systems: A percolation theory review / Z. Mahabadi, L. Varga., T. Dolan // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. Pp. 135755-135773. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3116868.

Multi-objective network structure optimization method based on waypoint layout / Y. Zheng, C. Li, Y. Wang, Y. Qi, Z. Li // *Journal of Aeronautics*, Beijing University of Aeronautics and Astronautics. 2019. Vol. 45, № 1. pp. 1-9. DOI 10.13700/j.bh.1001-5965.2018.0157.

National airspace sector occupancy and conflict analysis models for evaluating scenarios under the free-flight paradigm / H. Sherali, J. Smith, A. Trani, S. Sale // *Transportation Science*. 2000. № 34 (4). pp. 321-339. DOI 10.1287/trsc.34.4.321.12326.

New centrality and causality metrics assessing air traffic network interactions / P. Mazzarisi, S. Zaoli, F. Lillo, L. Delgado, G. Gurtner // *Journal of Air Transport Management*. 2019. Vol. 85. Article 101801. DOI 10.1016/j.jairtraman.2020.101801.

Optimal schedule recovery for the aircraft gate assignment with constrained resources / S. Zhou, Y. Shi, L. Chen, T. Wang // *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 156. № 107682. DOI 10.1016/j.cie.2021.107682.

Percolation transition in dynamical traffic network with evolving critical bottlenecks / D. Li, B. Fu, Y. Wang, G. Lu, Y. Berezin, H. E. Stanley, S. Havlin // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. № 112(3). pp. 669-672. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1419185112>.

Ren G. Robustness Analysis of Air Route Network Based on Topology Potential and Relative Entropy Methods // *Journal of Advanced Transportation*. 2021. Vol. 2021. pp. 1-11. DOI 10.1155/2021/5527423.

Takhtfiroozeh H. Topological-based measures with flow attributes to identify critical links in a transportation network / H. Takhtfiroozeh, M. Golias, S. Mishra // *Transportation Research Record*. 2021. № 2675(11). pp. 46-57. DOI 10.1177/03611981211013039.

Tian X. Identification of critical links in urban road networks considering cascading failures / X. Tian, X. Liu, Z. Li // *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Article ID 6656837. DOI 10.1155/2021/9994347.

Timescales of delay propagation in airport networks / Y. Wang, M. Z. Li, K. Gopalakrishnan, T. Liu // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. Vol. 161. Article 102687. DOI 10.1016/j.tre.2022.102687.

UAV Trajectory and Communication Co-design: Flexible Path Discretization and Path Compression / Y. Guo, C. You, C. Yin, R. Zhang // *IEEE Journal on Selected Areas in*

References

Aeronautical Information Publication & Amendments (2020). Available at: <https://www.caas.gov.sg/docs/default-source/pdf/aip-singapore-31-dec-20.pdf> (accessed 08 February 2021).

Eshmuradov D. E., Saifullaeva N. A. (2020). Issues of optimizing the distribution of airspace sector load. Bulletin of Tashkent State Technical University. (3): 45-52. EDN ZFSEAG.

Chen D., Hu M., Zhang H., Yin J., Han K. (2017). A network-based dynamic air traffic flow model for en route airspace system traffic flow optimization. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 106 (C): 1-19. DOI 10.1016/j.tre.2017.07.009.

Ha T., Garcia A., Lavandier J., Chaimatanan S., Delahaye D. (2022). Air traffic complexity map based on linear dynamical systems. Aerospace. 9 (5): 230. DOI 10.3390/aerospace9050230

Huang X., Hu S., Wang W., Kaparias I., Zhong S., Na X., Bell M.G.H., Lee D.-H. (2023). Identifying critical links in urban transportation networks based on spatio-temporal dependency learning. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 24(6): 6632-6646. DOI 10.1109/TITS.2022.3339507.

Guo Y., You C., Yin C., Zhang R. (2020). UAV Trajectory and Communication Co-design: Flexible Path Discretization and Path Compression. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on UAV Communications in 5G and beyond networks. 39(11): 3506-3523. DOI 10.1109/JSAC.2021.3088690.

IATA. European Air Traffic Control Delays Loom Over Summer Air Travel (2018). Available at: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2018-07-18-01.aspx> (accessed 28 January 2023).

Kalpana R., Sivakumar A., Sundar S. (2023). Analyzing transportation network vulnerability to critical-link attacks through topology changes and traffic volume assessment. Applied Sciences. 13(1): 221. DOI 10.3390/app15084099.

Kong W., Guo Z., Liu Y. (2024). Spatio-Temporal Pivotal Graph Neural Networks for Traffic Flow Forecasting. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 38(8): 8627-8635. DOI 10.1609/aaai.v38i8.28707.

Li D., Fu B., Wang Y., Lu G., Berezin Y., Stanley H. E., Havlin S. (2015). Percolation transition in dynamical traffic network with evolving critical bottlenecks. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 112 (3): 669-672. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1419185112>.

Li M. Z., Gopalakrishnan K., Balakrishnan H., Shin S. (2021). Dynamics of disruption and recovery in air transportation networks. CEAS Aeronautical Journal. .13(12): 1-11. DOI 10.1007/s13272-021-00521-x.

Mahabadi Z., Varga L., Dolan T. (2021). Network properties for robust multilayer infrastructure systems: A percolation theory review. IEEE Access. 9: 135755-135773. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3116868.

Mazzarisi P., Zaoli S., Lillo F., Delgado L., Gurtner G. (2019). New centrality and causality metrics assessing air traffic network interactions. Journal of Air Transport Management. 85. Article 101801. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2020.101801.

Nguyen N. N. K., Nechaev V. N., Malygin V. B. (2025). Mathematical model and A-Star algorithm for optimizing air traffic control routing in area control center airspace. Crede Experto: Transport, Society, Education, Language. 1: 12-22. DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_64 EDN XGLVST

Pechenezhsky V. K., Chuvikovskaya E. K. (2023). Features of airspace planning organization in the Russian Federation: the case of the Moscow airspace. Scientific Bulletin of MSTU CA. 26 (6): 47-57. EDN VJOFJZ.

Ren G. (2021). Robustness Analysis of Air Route Network Based on Topology Potential and Relative Entropy Methods. Journal of Advanced Transportation. 1-11. DOI 10.1155/2021/5527423.

Scala P., Mota M., Wu C.-L., Delahaye D. (2021). An optimization-simulation closed-loop feedback framework for modeling the airport capacity management problem under uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 124. Article 102937. DOI 10.1016/j.trc.2020.102937.

Sherali H. D., Smith J. C., Trani A. A., Sale S. (2000). National airspace sector occupancy and conflict analysis models for evaluating scenarios under the free-flight paradigm. *Transportation Science*. 34 (4): 321-339. DOI 10.1287/trsc.34.4.321.12326.

Sun Y., Wang S., Xu X., Shen L. (2024). Identification of critical links based on the optimal reliable path in stochastic traffic networks. *PLoS ONE*. 19(1): e0298173. DOI 10.1371/journal.pone.0301272.

Takhtfiroozeh H., Golias M., Mishra S. (2021). Topological-based measures with flow attributes to identify critical links in a transportation network. *Transportation Research Record*. 2675(11): 46-57. DOI 10.1177/03611981211013039.

Tian X., Liu Z., Chen Z. (2021). Identification of critical links in urban road networks considering cascading failures. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 6656837. DOI 10.1155/2021/9994347.

Wang Y., Li M. Z., Gopalakrishnan K., Liu T. (2022). Timescales of delay propagation in airport networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 161. Article 102687. DOI 10.1016/j.tre.2022.102687.

Zheng Y., Li C., Wang Y., Qi Y., Li Z. (2019). Multi-objective network structure optimization method based on waypoint layout. *Journal of Aeronautics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics*. 45(1). 1-9. DOI 10.13700/j.bh.1001-5965.2018.0157.

Zhou S., Shi Y., Chen L., Wang T. (2021). Optimal schedule recovery for the aircraft gate assignment with constrained resources. *Computers & Industrial Engineering*. 156: 107682. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107682.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК (ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ)

УДК 65-656.222.6:519.872.8
DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_162

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ВАГОНОПОТОКАХ. ЧАСТЬ I

Анна Константиновна Мозалевская,
orcid.org/0000-0002-0590-176X,
соискатель

Иркутский государственный университет путей сообщения,
ул. Чернышевского, 15
Иркутск, 664074, Россия
mozalevskay@mail.ru

Екатерина Викторовна Маловецкая,
orcid.org/0000-0003-1549-5336,
кандидат технических наук, доцент
Иркутский государственный университет путей сообщения,
ул. Чернышевского, 15
Иркутск, 664074, Россия
Katerina8119@mail.ru

Роман Сергеевич Большаков,
orcid.org/0000-0002-1187-5932,
кандидат технических наук, доцент
Иркутский государственный университет путей сообщения,
ул. Чернышевского, 15
Иркутск, 664074, Россия
bolshakov_rs@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности анализа колебаний вагонопотоков в направлении портов Дальнего Востока с учётом прохождения через стыковые пункты смежных железных дорог, входящих в границы Восточного полигона. При этом поступающий вагонопоток как массив данных представлен в виде временного ряда. Оценивается распределение вагонопотока при помощи статистических гипотез, поскольку подбор вида распределения при работе с временными рядами является важным этапом анализа. Произведена проверка соответствия гипотез о виде распределения с фактическими значениями статистических данных вагонопотоков. Анализируется массив данных эксплуатационных показателей «погрузка» и «выгрузка». Исследованы статистические данные по объему погруженных и выгруженных вагонов, проходящих по Восточному полигону через стыковые пункты по единой методике с оценкой ежемесячных данных за пять лет. Для обработки статистических данных об изменении вагонопотоков и анализе характера их распределения в качестве основного инструмента используется совокупность статистических параметров.

Ключевые слова: погрузка, выгрузка, анализ вагонопотоков, закон распределения, параметрические критерии, непараметрические критерии, критерии нормальности.

ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF STATISTICAL DATA ABOUT WAGON FLOWS. PART I

*Anna K. Mozalevskaya,
orcid.org/0000-0002-0590-176X,
applicant
Irkutsk State Transport University,
15, Chernyshevskogo
Irkutsk, 664074, Russia
mozalevskay@mail.ru*

*Ekaterina V. Malovetskaya,
orcid.org/0000-0003-1549-5336,
Candidate of technical sciences, docent
Irkutsk State Transport University,
15, Chernyshevskogo
Irkutsk, 664074, Russia
Katerina8119@mail.ru*

*Roman S. Bolshakov,
orcid.org/0000-0002-1187-5932,
Candidate of technical sciences, docent
Irkutsk State Transport University,
15, Chernyshevskogo
Irkutsk, 664074, Russia
bolshakov_rs@mail.ru*

Abstract. The features of the analysis of fluctuations in wagon flows in the direction of the ports of the Far East are considered, taking into account the passage through the junction points of adjacent railways entering the borders of the Eastern polygon. At the same time, the incoming wagon traffic is presented as a time series as an array of data. The distribution of wagon flow is estimated using statistical hypotheses. Selection the type of distribution when working with a volume of data is an important stage of the analysis. The data set of operational indicators "loading" and "unloading" is analyzed. Statistical data on the volume of wagon traffic passing through the Eastern polygon through junction points was studied using a unified methodology with a sample of five years. To process static data on changes in wagon flows and form predictive models, the complex of statistical parameters is used as the main tool.

Key words: loading, unloading, analysis of wagon flows, distribution law, parametric criteria, non-parametric criteria, normality criteria.

Введение

Разработка эффективных транспортных моделей и методик исследований позволяет осуществить научную поддержку транспортной отрасли, особенно в период геополитической и макроэкономической трансформации. Анализ объемов вагонопотоков является важной темой в области транспортной логистики и управления эксплуатационной работой железнодорожного транспорта.

Основные принципы неравномерности движения поездов были заложены в конце 1960 г. А.К. Угрюмовым. Поэтапный переход исследований от вопросов неравномерности вагонопотоков к их прогнозированию произошел в результате эволюции научных исследований и практических разработок в области организации транспортных потоков [Угрюмов, 1968].

Этот процесс был обусловлен необходимостью более точного и эффективного управления как грузовыми, так и пассажирскими потоками на железнодорожном транспорте.

Основы прогнозирования железнодорожных транспортных потоков были заложены в работах Правдина Н.В. [Правдин и др., 1980] в середине 1980-х годов.

Аналитические исследования вагонопотоков – многогранная область, охватывающая как традиционные методы, так и современные технологии. Научные исследования в период с 1980-х годов показывают эволюцию подходов к прогнозированию, включая учет экономических, социальных и технологических факторов. Научные работы таких авторов, как М.А. Горелик, В.Г. Галабурда, В.Я. Негрей, В.А. Персианов и другие, сформировали основу для дальнейших исследований и практического применения в области железнодорожного транспорта [Гольц, 1982; Горелик, 1982; Правдин и др., 1980].

На сегодняшний день методы прогнозирования основаны на совокупности различных подходов. Это сочетание маркетинговых, балансовых, логистических исследований с использованием информационных технологий.

Проводимые исследования подчеркивают важность интеграции различных подходов и технологий для достижения более точных и надежных прогнозов вагонопотоков.

Напряженная работа холдинга ОАО «РЖД» по складированию, обработке и транспортировке различных видов грузов напрямую связана с возможностями имеющейся инфраструктуры железнодорожного транспорта, поэтому одними из основных стратегических целей компании являются уменьшение размеров издержек инфраструктуры, повышение пропускной способности железнодорожных линий за счёт модернизации её объектов, а также другие мероприятия, направленные на улучшение клиентаориентированности и формирования эффективной логистической составляющей [Бычков и др., 2023; Задачи..., 2023; Кабанов и др., 2022, Лапидус, 2023, Стратегия развития..., 2008; Modeling..., 2021].

Принятие управленческих решений о проведении масштабных реконструктивных мероприятий существующих объектов инфраструктуры сопряжено с проведением трудоемких технологических и экономических расчётов, направленных на оценку эффекта от их внедрения [Бышляго и др., 2018; Технология построения..., 2019; Domojirova et al., 2021; Eremenko et al., 2023]. Однако в большинстве случаев расчёты производятся на основании текущих данных, либо информации за небольшой промежуток времени, что, в свою очередь, не всегда позволяет учесть перспективу изменения вагонопотоков. Для решения такой задачи необходимо использование существующих методов прогнозирования [Маловецкая и др., 2023; Маловецкая и др., 2022; Malovetskaya et al., 2023].

Подходящей методикой для формирования устойчивых прогнозов для железнодорожного транспорта является применение временных рядов

[Мамаев и др., 2016]. В некоторых случаях поиск закона распределения исходных статистических данных является достаточно сложной задачей, требующей использования дополнительных математических средств.

В предлагаемой статье рассматривается анализ статистических данных железнодорожных вагонопотоков для оценки закона распределения.

Материалы и методы

Как известно, математические методы в транспортных перевозках, в том числе железнодорожных, используются для построения моделей перевозочных процессов, в частности, для проверки соответствия аналитических исследований реальным объемам перевозок. В транспортной прогнозной статистике в последние годы получены положительные результаты главным образом благодаря тому, что при проведении исследований имеется представление о специфике транспортных задач, а выбор математического аппарата отвечал специфике рассматриваемого аналитического материала.

Поскольку специфике железнодорожных перевозок отвечает теория вероятностей, авторы статьи для своих исследований широко использовали математическую статистику, являющуюся связующим звеном между статистическими данными (историческими данными изменения основных параметров перевозочного процесса) и аппаратом теории вероятности.

В связи с этим авторами был введён специальный аппарат исследования, позволяющий эффективно изучать специфические черты распределения вагонопотоков при погрузке и выгрузке, извлекать из них необходимую информацию и давать им соответствующее объяснение, удовлетворяющее современным представлениям о транспортной статистике. Указанный аппарат включал в себя обработку наблюдений методами математической статистики с последующей интерпретацией полученных данных на основе синтеза статистических и транспортных положений. При этом теоретические положения транспортного распределения были переведены на язык статистических гипотез, и произведена проверка соответствия этих гипотез фактическим данным. Материалом для исследования послужили статистические данные, накопленные за период с 2018 по 2022 гг. по объему вагонопотока, проходящего по Восточному полигону ОАО «РЖД» по стыковым пунктам. Исследования по каждому стыковому пункту проводились по единой методике с исторической выборкой за пять лет. Трудоёмкие вычислительные операции, связанные с обработкой материала, выполнены в программном пакете *Statistica*. Для проведения исследований были выбраны железнодорожные стыковые пункты, расположенные в границах Восточного полигона [Маловецкая и др., 2023].

Для оценки ряда распределения были определены основные статистические параметры [Кремер, 2010].

Средняя взвешенная (выборочная средняя) определена выражением:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i}. \quad (1)$$

Далее медиана по следующей формуле

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n+1}{2}}}{2}. \quad (2)$$

На следующем этапе необходимо определить абсолютные показатели вариации. В частности, размах вариации представляет собой выражение

$$R = x_{\max} - x_{\min}. \quad (3)$$

Далее найдём среднее линейное отклонение:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}| f_i}{\sum f_i}. \quad (4)$$

Дисперсия определится выражением

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i}. \quad (5)$$

Формула несмешенной (исправленной) оценки дисперсии имеет вид

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i - 1}. \quad (6)$$

Найдём среднее квадратическое отклонение.

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (7)$$

Оценка среднеквадратического отклонения примет следующий вид

$$s = \sqrt{S}. \quad (8)$$

Следующим шагом является нахождение относительных показателей вариации, первым из которых является коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (9)$$

Далее определим линейный коэффициент вариации (относительное линейное отклонение)

$$Kd = \frac{d}{\bar{x}}. \quad (10)$$

Выражение для коэффициента осцилляции имеет вид

$$Kr = \frac{R}{\bar{x}}. \quad (11)$$

На основании полученных параметров можно определить форму распределения рассматриваемых статистических данных, то есть показатели формы распределения, к которым можно отнести степень асимметрии:

$$A_s = \frac{M_3}{s^3}, \quad (12)$$

где M_3 – центральный момент третьего порядка, s – среднеквадратическое отклонение.

Оценка существенности показателя асимметрии определяется следующим образом:

$$s_{As} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}. \quad (13)$$

Выражение для определения структурного коэффициента асимметрии Пирсона имеет вид:

$$A_{SP} = x - M_{o\sigma}. \quad (14)$$

Эксцесс определяем следующим образом:

$$E_x = \frac{M_4}{s^4} - 3. \quad (15)$$

Оценка существенности эксцесса при учёте статистики проводится при помощи выражения

$$\frac{E_x}{s_{Ex}}, \quad (16)$$

где s_{Ex} – средняя квадратическая ошибка коэффициента эксцесса:

$$s_{Ex} = 24n(n-2)(n-3)(n+1)(n+3)(n+5). \quad (17)$$

Выражения для определения вероятности выхода за нижнюю и верхнюю границы распределения случайной величины запишем в виде

$$P(\chi^2_{n-1} < h_H) = \frac{\gamma}{2}, \quad (18)$$

$$P(\chi^2_{n-1} \geq h_B) = 1 - P(\chi^2_{n-1} < h_H). \quad (19)$$

Число степеней свободы массива данных определим по следующей формуле

$$k = n - 1. \quad (20)$$

Далее запишем выражения для определения случайных ошибок дисперсии нижней и верхней границы распределения соответственно:

$$t_H = \frac{(n-1)S^2}{h_H}, \quad (21)$$

$$t_B = (n-1) \frac{S^2}{h_H}. \quad (22)$$

После чего необходимо определить доверительный интервал для среднеквадратического отклонения случайной величины

$$S^*(1-q) < \sigma < S^*(1+q). \quad (23)$$

Выражение для идентификации доверительного интервала для генеральной доли распределения имеет вид

$$2\Phi(t_{kp}) = \gamma. \quad (24)$$

После преобразования (24) найдём

$$\Phi(t_{kp}) = \frac{\gamma}{2}. \quad (25)$$

Представленный математический аппарат позволяет проанализировать исследуемые данные колебаний вагонопотоков с установлением законов распределения для дальнейшего построения адекватных прогнозных моделей.

Дискуссия

В своём исследовании авторы исходили из того положения, что решение рассматриваемого вопроса зависит не только от получения объективных сведений о закономерностях изменения объемов проходящего вагонопотока во времени, но и от успешного извлечения из него необходимой информации о распределении транспортных потоков.

На примере показателя «Выгрузка» одной из рассматриваемых железных дорог за исторический период с 2018 по 2022 год оценивается статистическая обработка результатов измерений с использованием вариационного ряда величин значений с учётом критериев согласия и надежности оценки, основанной на вероятностных характеристиках [Мамаев и др., 2016].

Краеугольным камнем транспортной статистики по праву считается оценка нормальности распределения [Ghosh, 2020]. В статистике тесты на нормальность используются для того, чтобы определить, насколько хорошо моделируется набор данных в исследовании нормальным распределением, и рассчитать вероятность того, что случайная переменная, лежащая в основе набора данных, будет нормально распределена [Razali et al., 2011].

Погрузка и выгрузка всех видов грузов суммарно выражается в ежемесячном количестве вагонов X , прошедших через стыковой пункт на рассматриваемой железной дороге. Объем выборки составил $n = 60$ (12 календарных месяцев за период 5 лет). В работе было исследовано 4 стыковых пункта железных дорог Восточного полигона, анализ массивов данных проводился отдельно по эксплуатационным показателям – «Погрузка» и «Выгрузка».

Выбор метода статистического анализа возможен только после оценки характеристик распределения данных и сравнения вариабельности в выборках. Авторами были выбраны параметрические методы статистического анализа, что соответствует первоначальному предположению, что массив данных соответствует нормальному закону распределения. В анализе было выбрано использование параметрических критериев (t -критерий Стьюдента, критерий Пирсона χ^2 и другие), так как они обладают большей значимостью по сравнению с непараметрическими методами и позволяют уменьшить вероятность ошибки второго рода.

Результаты

На основании известных положений по определению статистических показателей найдём их значения [Кремер, 2010]. Используются следующие статистические параметры: x_i – количество выгруженных вагонов за каждый месяц рассматриваемого периода, f_i – частота появления события, S –

накопленная частота, x_{cp} – средневзвешенное значение количества выгруженных вагонов, f – относительная частота.

Средняя взвешенная (выборочная средняя): $\bar{x} = \frac{1855665}{60} = 30927.8$.

Медиана: $x_i = 31636$.

Найдём численное значение размаха вариации:
 $R = 35935 - 24531 = 11404$.

По формуле (4) определим среднее линейное отклонение:

$$d = \frac{143638}{60} = 2394.$$

Таким образом, отличие случайных величин друг от друга варьируется в среднем на 2394.

При помощи выражения (5) найдём значение дисперсии:

$$D = \frac{485594753.25}{60} = 8093245.888.$$

Её несмешенную оценку определим с учётом выражения (6):

$$S = \frac{485594753.25}{59} = 8230419.547$$

Далее определим среднее квадратическое отклонение.

$$\sigma = \sqrt{8093245.888} = 2844.863,$$

которое показывает отличие случайных величин ряда от средних показателей 30927.8 в среднем на 2844.863.

Далее проведём оценку среднеквадратического отклонения по формуле (8):

$$s = \sqrt{8230419.547} = 2868.871.$$

$$\text{Коэффициент вариации: } v = \frac{2844.863}{30927.8} 100\% = 9.2\%.$$

Таким образом, достоверность результата подтверждается значением v меньше 30% при однородности свойств структуры данных со слабой вариацией.

Определим относительное линейное отклонение:

$$Kd = \frac{2394}{30927.8} 100\% = 7.74\%.$$

$$\text{Коэффициент осцилляции: } Kr = \frac{11404}{30927.8} 100\% = 36.87\%.$$

$$M_3 = -\frac{477353514521.13}{60} = -7955725242.02,$$

$$A_s = \frac{-7955725242.02}{(2844.863)^3} = -0,346.$$

Имеет место наличие левосторонней асимметрии.

$$s_{As} = \sqrt{\frac{6(60-2)}{(60+1)(60+3)}} = 0.301.$$

Распределение обладает несущественной асимметрией
 $(\frac{-0.346}{0.301} = 1.15 < 3)$

Структурный коэффициент асимметрии Пирсона:

$$A_{sp} = 30927.8 - 316362844.863 = -0.25.$$

Эксцесс в этом случае равен: $E_x = \frac{M_4}{s^4} - 3$.

При $E_x < 0$ распределение является плосковершинным относительно нормального:

$$M_4 = 9.0201748664926E+15/60 = 1.5033624777488E+14 ,$$

$$E_x = 1.5033624777488E+14/2844.8634 - 3 = 2.2952 - 3 = -0.7 .$$

Существенность эксцесса оценивается при помощи статистики $\frac{E_x}{s_{Ex}}$.

Если полученное значение > 3 , то это указывает на существенное отклонение от нормального закона распределения.

$$s_{Ex} = 24 \cdot 60(60-2)(60-3)(60+1)2(60+3)(60+5) = 0.559$$

$$\frac{E_x}{s_{Ex}} = \frac{-0.7}{0.559} = -1.252$$

В данном случае отклонение не существенно.

Возможность выхода за нижнюю границу распределения определим следующим образом

$$P(\chi^2_{n-1} < h_H) = 0.023.$$

Далее в соответствии с выражениями (21) – (24) найдём:

$$t_H = 59 \cdot 2868.871283.29768 = 5829631.19 ,$$

$$t_B = 59 \cdot 2868.871237.48485 = 12954427.01 ,$$

$$\chi^2(59; 0.023) = 83.29768 ,$$

$$\chi^2(59; 0.977) = 37.48485 .$$

Таким образом надежность покрытия S_2 составляет $\alpha = 0.046$ ($\gamma = 95.4\%$).

Доверительный интервал $q = q(0.954; 60)$ определится следующим образом

$$2868.871(1 - 0.188) < \sigma < 2868.871(1 + 0.188)$$

$$2329.523 < \sigma < 3408.219 ,$$

что показывает то, что надежность покрытия параметра σ $\gamma = 0.954$.

Определим доверительный интервал для генеральной доли распределения случайной величины

$$\Phi(t_{kp}) = \frac{0.954}{2} = 0.477 .$$

После чего по таблице функций Лапласа определим значение $\Phi(t_{kp}) = 0.477$ с учётом t_{kp}

$$t_{kp}(\gamma) = (0.477) = 2.$$

Таким образом, вероятность равенства долей будет находиться в обозначенных интервалах с вероятностью 0.954.

Выполнены тесты нормальности, доступные в статистическом программном пакете «Statistica». По результатам анализа определены доступные тесты нормальности в данном программном обеспечении: графические методы (построение гистограммы и Q-Q графика), критерий Колмогорова-Смирнова и критерий χ^2 Пирсона (рис. 1).

Среднее	Медиана	Минимум	Максим.	Дисперсия	Ст.откл.	Коэф.Вар.	Асимметрия	Стд.ош. Асимметрия	Эксцесс	Стд.ош. Эксцесс
30927,75	31364,50	24531,00	35935,00	8230420	2868,871	9,276041	-0,354462	0,308694	-0,660199	0,608492

Рисунок 1 – Общие описательные статистические показатели массива данных «Выгрузка» на одной из рассматриваемых железных дорог, полученные с использованием программы «Statistica»

Анализ критериев описательной статистики показывает, что значения средней взвешенной и медианы примерно равны, что говорит о симметричности ряда. Коэффициент вариации меньше 30%, что тоже свидетельствует о нормальном распределении. Асимметрия отрицательная, следовательно, имеется сдвиг гистограммы в сторону больших по величине значений, но величина сдвига незначительна. В этом случае асимметрия незначительная, что указывает на нормальное распределение. Эксцесс также имеет малое отрицательное значение, что свидетельствует о плосковершинности распределения. Также график «Огива-Гальтона» (рис. 2) имеет плавное очертание, что дает возможность сделать предположения о нормальности распределения.

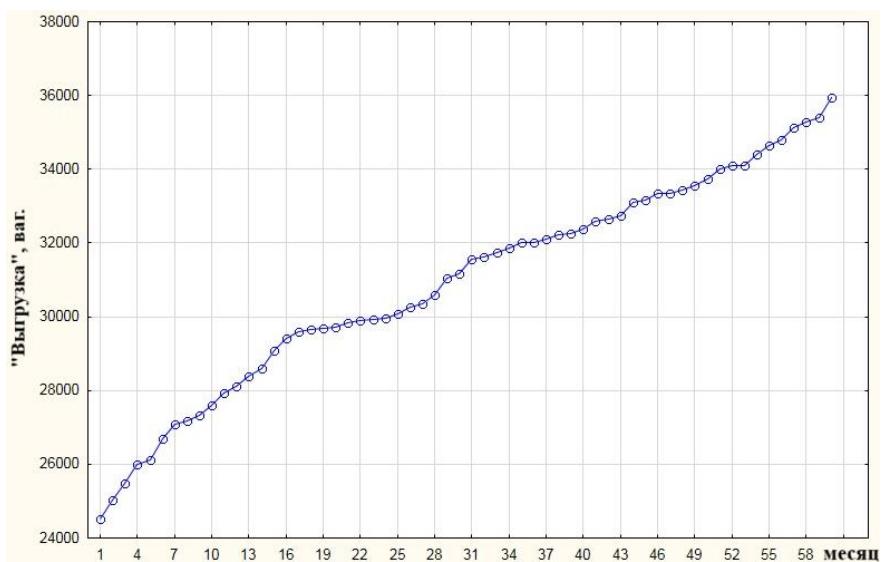


Рисунок 2 – График «Огива-Гальтона» «Выгрузка» на рассматриваемой железной дороге

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, что распределение похоже на кривую нормального распределения со смещением влево.

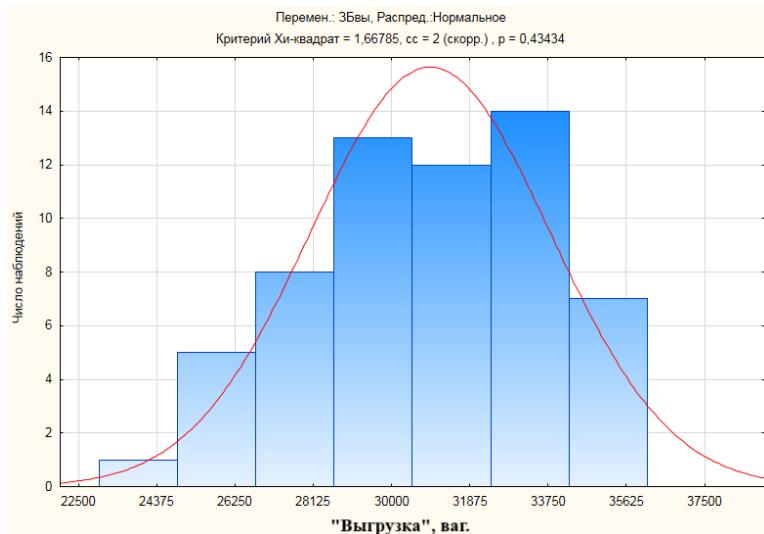


Рисунок 3 – Гистограмма расчета критерия χ^2 -квадрат «Выгрузка» на железной дороге

Графические методы субъективны и не могут предоставить убедительных доказательств того, что предположение о нормальности закона распределения выполняется. Поэтому необходимы численные статистические тесты, чтобы подтвердить вывод, сделанный с помощью графических методов [Yap et al., 2011; Yazici et al., 2007].

В исследовании размеров выборки $n=60$ достаточен для применения теста Колмогорова-Смирнова (без поправки Лиллиефорса) и критерия χ^2 . В связи с этим необходима оценка нормальности распределения по критерию согласованности статистического и теоретического распределений χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^l \frac{(w_i - p_i)^2}{p_i}, \quad (26)$$

где w_i – относительные частоты; p_i – вероятности, полученные по некоторому теоретическому закону распределения.

В данном случае $\chi^2 = 1,67$, вероятность нулевой гипотезы $p = 0,4343$. Минимальный стандартный уровень значимости обычно принимается на уровне 5%. Результаты статистического анализа показывают, что уровень значимости равен 43%, что свидетельствует об истинности гипотезы, а по критерию Пирсона распределение соответствует нормальному.

Верхняя Граница	Перемен.: ЗБвы, Распред.:Нормальное (Книга1 ПОГРУЗКА-ВЫГРУЗКА) Хи-квадрат = 1,66785, cc = 2 (скорр.) , p = 0,43434									
	Наблюд. Частота	Кумул. Наблюд.	Процент Наблюд.	Кумул. % Наблюд.	Ожидаем. Частота	Кумул. Ожидаем.	Процент Ожидаем.	Кумул. % Ожидаем.	Наблюд.- Ожидаем.	
<= 24875,00000	1	1	1,66667	1,6667	1,04626	1,04626	1,74377	1,7438	-0,04626	
26750,00000	5	6	8,33333	10,0000	3,31357	4,35983	5,52261	7,2664	1,68643	
28625,00000	8	14	13,33333	23,3333	8,30517	12,66500	13,84196	21,1083	-0,30517	
30500,00000	13	27	21,66667	45,0000	13,77923	26,44423	22,96538	44,0737	-0,77923	
32375,00000	12	39	20,00000	65,0000	15,13777	41,58200	25,22961	69,3033	-3,13777	
34250,00000	14	53	23,33333	88,3333	11,01250	52,59450	18,35416	87,6575	2,98750	
36125,00000	7	60	11,66667	100,0000	5,30407	57,89857	8,84012	96,4976	1,69593	
< бесконеч.	0	60	0,00000	100,0000	2,10143	60,00000	3,50239	100,0000	-2,10143	

Рисунок 4 – Таблица расчета критерия χ^2 «Выгрузка»
на рассматриваемой железной дороге

Далее проведём анализ нормальности распределения по критерию Колмогорова. Количество интервалов в гистограмме принимаем $\sqrt{60} = 7,75 \approx 8$.

Критерий Колмогорова равен:

$$D_{\text{факт}} = 0,0879 \leq D_{0,05} = \frac{1,36}{\sqrt{60}} = 0,1755.$$

Так как наблюдаемое значение меньше значения критического, принимается нулевая гипотеза. На рисунке 5 приведена гистограмма с учётом проверки по критерию Колмогорова.

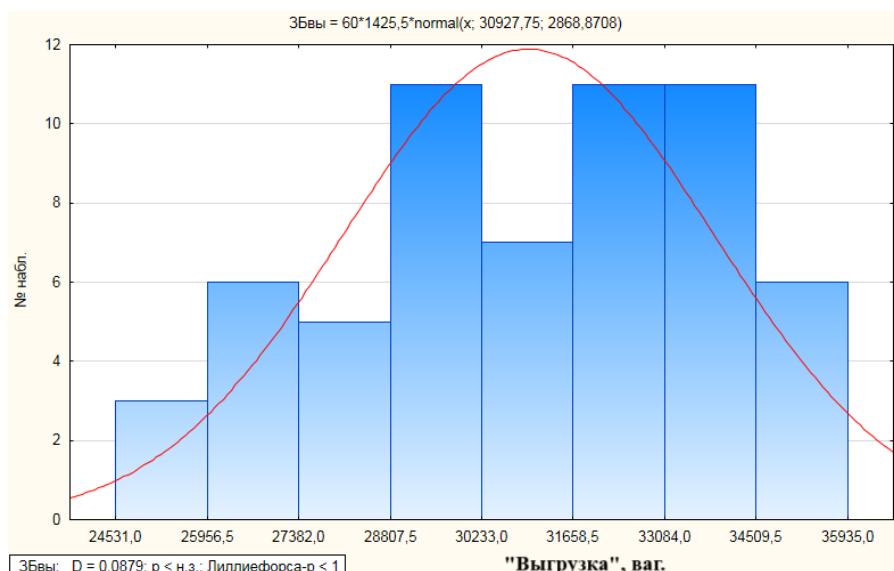


Рисунок 5 – Гистограмма параметра «Выгрузка» вагонов на стыковом пункте на рассматриваемой железной дороге

Установлено, что по критерию Колмогорова и по критерию χ^2 Пирсона, рассматриваемое распределение является нормальным, что подтверждает предположение, выдвинутое по косвенным наблюдениям (с учётом описательной статистики).

Показатели «выгрузки» вагонов на стыковом пункте рассматриваемой железной дороги подчиняются нормальному закону распределения с плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (27)$$

где Mx и σ^2 – параметры распределения (математическое ожидание и дисперсия).

Таким образом, анализ значений полученных статистических параметров удовлетворяет критериям, необходимым для признания рассмотренного распределения в нормальных пределах.

Заключение

В исследовании проведен анализ данных поступления вагонопотоков на стыковые пункты Восточного полигона за период пять лет.

При этом поступающий вагонопоток рассматривается в качестве временного ряда. Рассматриваемый объём данных является достаточно специфичной совокупностью параметров, характерных для железнодорожного транспорта. В ходе проведения исследований определены статистические параметры массива данных погрузки железнодорожных вагонопотоков, представлен пошаговый алгоритм определения принадлежности распределения опытных данных соответствующему закону распределения. Оценивается распределение грузопотока при помощи статистических гипотез, поскольку подбор вида распределения при работе с временными рядами является важным этапом исследования.

Был осуществлен анализ статистических данных по всем стыковым пунктам Восточного полигона. В представленной статье отражен ход исследований на примере массива данных по одному стыковому пункту. По итогам анализа было установлено, что не по всем выборкам подтверждается гипотеза о нормальном законе распределения. Нулевая гипотеза не подтвердилась по параметру «погрузка», о чем свидетельствует ряд характерных особенностей. Поскольку параметры рассматриваемых стыковых пунктов достаточно различны в связи с исторически сложившейся спецификой работы (география расположения, количество примыканий, структура и объемы входящего и исходящего вагонопотока) и специфичны, это предполагает дальнейшее изучение и анализ влияния различных условий на характер процессов, управляющих распределением объемов пропуска (обмена) грузовых поездов между железнодорожными дорогами.

Правильный выбор распределения позволяет более точно в дальнейшем моделировать поведение временного ряда и выявлять его закономерности. Разные модели и методы прогнозирования требуют различных предположений о распределении данных. На последующих этапах исследования, при использовании ARIMA или GARCH моделей важно знать, какое распределение лучше всего описывает ошибки модели. С этой целью во второй части научной статьи будет проведен поиск функции распределения для стыковых пунктов, не прошедших проверки на нулевую гипотезу. Также будут рассмотрены практические применения данных заключений о законах распределения при построении адекватных моделей прогноза вагонопотоков.

Библиографический список

Бычков И. В. Применение теории массового обслуживания для моделирования Улан-Баторской железной дороги / И. В. Бычков, М. Л. Жарков, А. Л. Казаков // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 17-36. DOI 10.25743/ICT.2023.28.6.003. EDN JKTSVJ.

Бышляго А. А. Об организации пропуска соединенных поездов в целях повышения провозной и пропускной способностей Байкало- Амурской магистрали / А. А. Бышляго, А. В. Дудакова // Молодая наука Сибири. 2018. № 1(1). С. 1-7. EDN YCOKST.

Гольц Г. А. Исследование закономерностей развития перевозок в СССР. Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта. М.: Наука, 1982. С. 23-63.

Горелик М. А. Прогнозирование перспективных грузопотоков на морском транспорте // Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта. М.: Наука, 1982. С. 63-78.

Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лапидус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов // Железнодорожный транспорт. 2023. № 7. С. 6-11. EDN ZAFGPF.

Кабанов А. Б. Научный подход к планированию железнодорожных грузовых перевозок / А. Б. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. 2022. № 8. С. 12-16. EDN OZHUWT.

Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 551 с.

Кроль Н. В. Технология построения оптимального маршрута при организации мультимодальных пассажирских перевозок с учетом выбора места пребывания / Н. В. Кроль, А. С. Полетаев, Р. Ю. Упры, А. В. Дудакова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2(62). С. 109-118. DOI 10.26731/1813-9108.2019.2(62).109-118. EDN HZCFRZ.

Лапидус Б. М. Задачи опережающего развития российских железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2023. № 2. С. 4-14. EDN HYHML.

Маловецкая Е. В. Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17, № 7. С. 38-46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46. EDN IAEWSG.

Маловецкая Е. В. Оценка влияния неравномерностей на перевозочный процесс / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года. Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2022. С. 207-209. EDN BRTMRC.

Мамаев Э. А. Прогнозирование контейнерооборота морских портов мира / Э. А. Мамаев, Е. С. Вальчук // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 2(62). С. 94-101. EDN WFEHQZ.

Правдин Н. В. К вопросу построения теоретических моделей колебаний транспортных потоков / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, А. И. Шелеляев // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвузовский сборник научных статей / Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта. Гомель: Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1980. С. 3-20. EDN YNHDQN.

Правдин Н. В. Прогнозирование пассажирских потоков / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. М.: Транспорт, 1980. 224 с.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: от 17 июня 2008 г. № 877-р: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации. – 2008. – 17 июня. Доступно по адресу: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (доступно 30 april 2025).

Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.

Domojirova A. Predicting for train movement based on historical statistical data / A. Domojirova, R. Upyr, M. Eremenko // Journal of Physics: Conference Series: International Conference on IT

in Business and Industry, ITBI 2021, Novosibirsk, 12–14 мая 2021 года. Vol. 2032. IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 012036. DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012036. EDN QBLNGM.

Eremenko M. N. Stability of train traffic in the event of failures and the mechanism of phantom traffic jams on the railway / M. N. Eremenko, R. Yu. Upyr, A. D. Domojirova // International Scientific and Practical Conference "Railway Transport and Technologies" (RTT-2021) : Collection of conference materials. Volume 2624, Ekaterinburg, 24–25 ноября 2021 года. Vol. 2624, Issue 1. USA: AIP PUBLISHING, 2023. P. 040018. DOI 10.1063/5.0133388. EDN PTKFMQ.

Ghosh S. Importance of Normality Testing, Parametric and Non-Parametric Approach, Association, Correlation and Linear Regression (Multiple & Multivariate) of Data in Food & Bio-Process Engineering // In: Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering. CRC Press; 2020. P. 112-126. DOI 10.1201/9780429436963-9.

Malovetskaya E. Prospects for Comprehensive Forecasts When Assessing the Load of Railway Transport Infrastructure / E. Malovetskaya, E. Voskresenskaya, A. Mozalevskaya // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development (ESG 2023) : Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Sustainable Development, St. Petersburg, 19–20 октября 2023 года. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2024. P. 217-225. EDN GLELMN.

Modeling of railway stations based on queuing networks / I. Bychkov, A. Kazakov, A. Lempert, M. Zharkov // Applied Sciences (Switzerland). 2021. Vol. 11, No. 5. DOI 10.3390/app11052425. EDN UUVMVI.

Razali N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah // Journal of Statistical Modeling and Analytics. 2011. № 2(1). Pp. 21-33.

Yap B. W. Comparisons of various types of normality tests / B. W. Yap, C. H. Sim // Journal of Statistical Computation and Simulation. 2011. № 81(12). Pp. 2141-2155. DOI 10.1080/00949655.2010.520163.

Yazici B. A comparison of various tests of normality / B. Yazici, S. Yolacan // Journal of Statistical Computation and Simulation. 2007. № 77(2). Pp. 175-183. DOI 10.1080/10629360600678310.

References

Bychkov I. V., Kazakov A. L., Lempert A. A., Zharkov M. L. (2021). Modeling of railway stations based on queuing networks. *Applied Sciences (Switzerland)*. 5(11). DOI 10.3390/app11052425.

Bychkov I. V., Zharkov M. L., Kazakov A. L. (2023). Application of queuing theory for modeling the Ulaanbaatar railway. *Computational technologies*. 6(28): 17-36. (In Russian)

Byshlyago A. A., Dudakova A. V. (2018). On the organization of the passage of connected trains in order to increase the carrying and throughput capacities of the Baikal-Amur Mainline. *Young Science of Siberia*. 1(1): 1-7.

Domojirova A. D., Upyr R. Yu., Eremenko M. N. (2021). Predicting for train movement based on historical statistical data. *Journal of Physics: Conference Series*, Novosibirsk. 012036. DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012036.

Eremenko M. N., Upyr R. Yu., Domojirova A. D. (2021). Stability of train traffic in the event of failures and the mechanism of phantom traffic jams on the railway. *International Scientific and Practical Conference "Railway Transport and Technologies" (RTT-2021)*. (1)2624: 040018. DOI 10.1063/5.0133388.

Ghosh S, Mitra J. (2020). Importance of Normality Testing, Parametric and Non-Parametric Approach, Association, Correlation and Linear Regression (Multiple & Multivariate) of Data in Food & Bio-Process Engineering. In: *Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering*. CRC Press; 2020; 112-126.

Golts G. A. (1982). Studying the patterns of transport development in the USSR. *Problems of forecasting and optimization of transport operations*. Moscow: Nauka, 1982. pp. 23-63. (In Russian)

Gorelik M. A. (1982). Forecasting promising cargo flows in maritime transport. Problems of forecasting and optimization of transport operations. Moscow: Nauka, 1982. pp. 63-78.

Kabanov A. B., Osminin A. T. (2022). Scientific approach to planning rail freight transportation. Railway transport. 18: 12-16. (In Russian)

Kremer N. Sh. (2010). Probability Theory and Mathematical Statistics. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow: UNITY-DANA, 2010. 551 p. (In Russian)

Krol N. V., Poletaev A. S., Upyr R. Yu., Dudakova A. V. (2019). Technology for constructing an optimal route when organizing multimodal passenger transportation, taking into account the choice of place of stay. Modern technologies. Systems analysis. Modeling. 2 (62): 109-118. DOI 10.26731/1813-9108.2019.2(62).109-118.

Lapidus B. M. (2023). Tasks of advanced development of Russian railways. Railway transport. 2: 4-14.

Makhutov N. A., Lapidus B. M., Gadenin M. M., Titov E. Yu. (2023). Tasks and Prospects for the Development of Scientific Research within the Framework of Cooperation between Russian Railways and the Russian Academy of Sciences. Railway Transport. 7: 6-11.

Malovetskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2022). Assessing the Impact of Irregularities on the Transportation Process. Problems of Transport Safety: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 160th Anniversary of the Belarusian Railway. In 2 parts, Gomel, November 24–25, 2022. Gomel: Belarusian State University of Transport. 207-209.

Malovetskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2023). Possibilities of Improving the Efficiency of the Transportation Process Based on the Construction of Comprehensive Forecast Models of Infrastructure Loading. T-Comm: Telecommunications and Transport. 7(17): 38-46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46.

Malovetskaya E. V., Voskresenskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2023). Prospects for comprehensive forecasts when assessing the load of railway transport infrastructure. Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development (ESG 2023). 217-225.

Mamaev E. A., Valchuk E. S. (2016). Forecasting container turnover of world seaports. Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering. 2 (62): 94-101.

Pravdin I. V., Negrey V. Ya. (1980). Forecasting passenger flows. Moscow: Transport, 1980. 224 p.

Pravdin N. V., Negrey V. Ya., Shelelyaev A. I. (1980). On the issue of constructing theoretical models of fluctuations in traffic flows. Problems of perspective development of railway stations and junctions. 3-20.

Razali N. M., Wah Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics. 2(1): 21-33.

Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030: of June 17, 2008 No. 877-r: approved by the order of the Government of the Russian Federation (2008). Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (accessed 30 April 2025).

Ugryumov A. K. (1968). The unevenness of train movement. Moscow: Transport, 1968. 112 p.

Yap B. W., Sim C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. Journal of Statistical Computation and Simulation. 81(12): 2141-2155.

Yazici B., Yolacan S. (2007). A comparison of various tests of normality. Journal of Statistical Computation and Simulation. 77(2): 175-183.

УДК 629.7.017
DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_178

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ ТЕРМИНА «ЛЕТНАЯ ГОДНОСТЬ» ВОЗДУШНОГО СУДНА КАК ОДНОГО ИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Сергей Николаевич Кузнецов,
orcid.org/0000-0001-6823-141X,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
sergei20320@mail.ru

Андрей Мирсасимович Сафарбаков,
orcid.org/0000-0002-6849-5041,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
safarbakov@yandex.ru

Марина Александровна
Кондратьева,
orcid.org/0000-0002-6363-4532,
соискатель
Московский государственный технический
университет гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
marina_mgtu@mail.ru

Сергей Валентинович Снимщиков,
orcid.org/0009-0003-4356-3516,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, д. 20
Москва, 125993, Россия
info@mstuca.ru

Аннотация. Летная годность воздушного судна является фундаментальным понятием, обеспечивающим безопасность полетов гражданской авиации. Она определяется и регулируется через ряд международных и национальных документов, при этом термин «Летная годность» воздушного судна широко используется, но по-разному трактуется в мировой гражданской авиации. Анализ определения термина «Летная годность» в разнообразных международных и национальных рамках позволяет не только выявить существующее многообразие трактовок, но и акцентирует внимание на необходимости его

стандартизации, что является важной задачей для обеспечения его точности при использовании в учебных материалах и научных публикациях. Анализ существующих определений и контекста их использования осуществлялся на основе метода контент-анализа с применением инструментария в виде искусственного интеллекта ChatGPT, позволяющего упростить решение рутинных задач по определению ключевых характеристик и свойств понятий в большом объеме трактовок определений. Точность и однозначность в терминах являются критически важными для повышения уровня безопасности.

Ключевые слова: летная годность, безопасность, полет, термин, определение, способность, соответствие, риск, сертификат, конструкция, эксплуатация.

ANALYSIS OF THE CONCEPT «AIRWORTHINESS» AS ONE OF THE KEY FACTORS IN ENSURING FLIGHT SAFETY

*Sergey N. Kuznetsov,
orcid.org/0000-0001-6823-141X,
Candidate of Technical Sciences, associate professor
Moscow State Technical
Civil Aviation University (Irkutsk branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
sergei20320@mail.ru*

*Andrey M. Safarbakov,
orcid.org/0000-0002-6849-5041,
Candidate of Technical Sciences, associate professor
Moscow State Technical
Civil Aviation University (Irkutsk branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
safarbakov@yandex.ru*

*Marina A. Kondratieva,
orcid.org/ 0000-0002-6363-4532,
candidate for a degree
Moscow State Technical
Civil Aviation University (Irkutsk branch),
3, Kommunarov
Irkutsk, 664047, Russia
marina_mgtu@mail.ru*

*Sergey V. Snimshchikov,
orcid.org/0009-0003-4356-3516,
Candidate of Technical Sciences
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronstadtsky boulevard, 20
Moscow, 125993, Russia
info@mstuca.ru*

Abstract. The airworthiness of an aircraft is a fundamental concept that ensures the safety of civil aviation flights. It is defined and regulated through a series of international and national documents. The term "airworthiness" is widely used but is interpreted differently across the global civil aviation sector. Analyzing the definition of the term "airworthiness" within various international and national frameworks not only reveals the existing diversity of interpretations but also emphasizes the need for its standardization, which is an important task for ensuring accuracy

in its application in educational materials and scientific publications. The analysis of existing definitions and the context of their use was conducted using content analysis methodology, employing tools such as the artificial intelligence ChatGPT, which helps simplify the routine tasks of identifying key characteristics and properties of concepts within a large volume of definitional interpretations. Precision and clarity in terminology are critically important for enhancing safety levels.

Keywords: airworthiness, safety, flight, term, definition, capability, compliance, risk, certificate, design, operation.

Introduction (Введение)

Термин «Летная годность» («Airworthiness») в контексте использования воздушных судов (ВС) начал применяться с развитием гражданской авиации в начале XX века. Развитие термина «Летная годность» и соответствующих правил, норм или стандартов было ответом на потребности в безопасности полетов гражданской авиации на протяжении всей ее истории. Однако его формальное определение стало более четким и систематизированным с созданием международной организации ICAO (ИКАО).

Существующая взаимосвязь между летной годностью воздушного судна и безопасностью полетов очевидна. Летная годность определяет, насколько безопасно и эффективно воздушное судно может выполнять свои функции в процессе эксплуатации, в свою очередь безопасная эксплуатация ВС зависит от совершенства его летной годности. При этом недостатки в летной годности ВС могут быть выявлены только после свершения авиационного события в процессе эксплуатации, без должного уровня летной годности вероятность авиационных происшествий значительно возрастает.

Таким образом, летная годность воздушного судна является фундаментальным компонентом безопасных полетов, подтверждая важность данного понятия в авиационной сфере гражданской авиации.

Термин «Летная годность» воздушного судна широко используется, но по-разному трактуется в мировой гражданской авиации, при этом необходимо учитывать, что определения должны ясно и однозначно описывать понятия, термины или явления.

Целью исследования является определение ключевых характеристик и свойств понятия, с последующей формулировкой термина, в основе которого должны лежать: ясность и точность (использование понятных и однозначных слов), краткость и лаконичность (минимум слов без потери смысла), отсутствие цикличности (определение термина не должно содержать самого термина или его производных), что будет способствовать лучшему пониманию и использованию термина в области знаний обучающихся и профессиональных работников гражданской авиации.

Materials and methods (Материалы и методы)

Материалом исследования послужило существующее многообразие трактовок понятия «Летная годность» (Airworthiness) воздушного судна, контексты использования данного термина, а также его лексические,

семантические и культурные аспекты в отечественной и международной практике.

Изучение особенностей термина «Летная годность» воздушного судна в трудах ведущих ученых и регулятивных документах сферы гражданской авиации, в которых заложены основные смысловые значения данного понятия, осуществлялось на основе применения феноменологического подхода, лексикографического и сравнительного методов, филологического и контент-анализов.

Discussion (Дискуссия)

В последние десятилетия было опубликовано значительное количество научных работ (статьй, монографий, диссертаций), посвященных проблемам безопасности полетов, сохранению и поддержанию летной годности ВС, накоплен значительный научно-практический опыт.

Среди ведущих ученых, внесивших существенный вклад по решению задач, связанных с обеспечением летной годности ВС, можно выделить Шишкина В.Г., Воробьева В.В., Зубкова В.В., Ицковича А.А., Дергача О.Я., Смирнова Н.Н., Чинючина Ю.М., Бойко О.Г., Герасимова Е.Д., Гипича Г.Н., Громова М.С., Далецкого С.В., Дацкова И.Д., Кротова С.А., Петрова А.Н., Шапкина В.С., Петухова В.В., Снисаренко С.И., Титова И.В., Акопяна К.Э. и др.

В научных трудах ведущих и молодых ученых в области гражданской авиации широко используется понятие «Летная годность», однако оно формулируется по-разному.

Например, в научных работах Петрова А.Н., Далецкого С.В., Дергача О.Я. в определениях летной годности подчеркивается важность соблюдения установленных стандартов при проектировании ВС, направленных на обеспечение безопасности полета в ожидаемых условиях эксплуатации. Понятие «Летная годность» (английский термин «airworthiness» – пригодность к полету) АТ подразумевает наличие требований (норм ЛГ), предъявляемых к конструкции ВС и направленных на обеспечение безопасности полета. Как свойство ВС ЛГ определяется его способностью совершать безопасный полет во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации [Далецкий, 2002 и др.; Петров, 2008, с. 34].

«Летная годность воздушного судна (ВС) характеризуется частотой появления в эксплуатации особых ситуаций (ОС) в полете» [Далецкий, 2017, с. 38] и др.

В работах Ступакова В.Я., Гипича Г.Н. определение включает взаимодействие различных характеристик в комплексе, таких как принципы, технологии, конструктивные решения и условия эксплуатации ВС без акцента на безопасность полетов. «Летная годность воздушного судна – это характеристика комплексная, определяемая принципами, технологическими и конструктивными решениями воздушного судна, а также соответствующими условиями его эксплуатации» [Гипич, 2005; Ступаков, 2022, с. 668].

В работах Смирнова Н.Н., Чинючина Ю.М. акцентировано внимание на комплексном свойстве ВС, что подчеркивает неотъемлемую связь с возможностью выполнения безопасного полета при установленных методах эксплуатации в соответствующих условиях.

«Летная годность воздушного судна – комплексное свойство ВС, определяемое реализованными в его конструкции принципами и конструктивно-технологическими решениями и позволяющее совершать безопасные полеты в заданных условиях и при установленных методах эксплуатации»³² [Чинючин, 2024].

Исследования Бондаренко В.Г., Кочетова В.Н., Гончарова О.А. формулируют определение с фокусом на характеристиках ВС реализованными конструктивными и технологическими решениями, позволяющими совершать безопасный полет с учетом летных качеств, методов и условий эксплуатации.

«Летная годность является характеристикой самолета и определяется реализованными в его конструкции принципами, конструктивными и технологическими решениями, позволяющими совершать безопасные полеты в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации» [Бондаренко, 2005, с. 109].

«Летная годность – это характеристика воздушного судна, определяемая предусмотренными и реализованными в его конструкции и летных качествах принципами, позволяющая совершать безопасный полет в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации» [Кочетова и др., 2020, с. 204] и др.

Савченко-Бельский В.Ю., Черепов Р.А., Ермаков А.Д. представляют термин «Летная годность» как комплексную характеристику ВС, т. е. характеристику, включающую как количественные, так и качественные показатели, реализованные в конструкции с учетом методов и условий эксплуатации. «Летная годность (ЛГ) – это комплексная характеристика ВС, определяемая реализованными в его конструкции принципами и решениями, позволяющими совершать безопасные полеты в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации» [Ермаков, 2019, с. 463; Савченко-Бельский и др., 2012, с. 148] и др.

В определениях присутствуют такие понятия, как «характеристика воздушного судна» и «свойство воздушного судна», данные понятия взаимосвязаны, но разные по значению. Первое понятие более конкретно и измеряemo, характеристики важны для проектирования, сертификации и эксплуатации ВС, а второе понятие используется в более широком смысле для оценки общего качества и пригодности воздушного судна к эксплуатации, при этом оценка может не быть строго количественной. Характеристики ВС могут рассматриваться как конкретные проявления свойства ВС.

³² Смирнов Н. Н. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов: учебник / Н. Н. Смирнов, Ю. М. Чинючин. М.: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2015. 505 с. EDN NPWFEN.

В нормативных документах Российской Федерации, касающихся термина «Летная годность», также имеются разные трактовки данного термина.

Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт «Центр» (ФГУП «ВНИИ «Центр») в разработанном ГОСТ Р 59815-2021 (Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Организация работ по техническому обслуживанию авиационной техники. Основные положения) определение термина летная годность трактуется как «состояние гражданского воздушного судна, авиационного двигателя, воздушного винта, при котором они соответствуют типовой конструкции и способны обеспечивать их безопасную эксплуатацию»³³, со ссылкой на Воздушный кодекс РФ глава V, статья 35, пункт 1.

Хотя Воздушный кодекс РФ трактует понятие летной годности как «состояние ... гражданского воздушного судна, авиационного двигателя, воздушного винта, при котором они соответствуют типовой конструкции или характеристикам, установленным актом оценки воздушного судна на его соответствие требованиям к летной годности и требованиям в области охраны окружающей среды от воздействия деятельности в области авиации, и способны обеспечивать их безопасную эксплуатацию»³⁴.

В ГОСТ Р 58849-2020 (Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания. Основные положения), разработанном Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского» (ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»), термин «Летная годность» определяется как «состояние образца авиационной техники, характеризующее его соответствие применимым требованиям к летной годности и пригодность к выполнению безопасного полета в пределах установленных эксплуатационных ограничений и методов эксплуатации»³⁵. Данное определение, в отличие от предыдущих, вводит понятие «эксплуатационные ограничения и методы эксплуатации».

Рассмотренные определения имеют как общие черты, так и значительные различия. В формулировках летная годность связывается с состоянием ВС, которое способно обеспечить безопасную эксплуатацию, а различия связаны с эксплуатационными ограничениями и экологическими аспектами.

На основе применяемых трактовок определений в различных научных трудах и нормативных документах можно прийти к выводу, что изменение

³³ ГОСТ Р 59815–2021. Национальный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Организация работ по техническому обслуживанию авиационной техники. Основные положения: издание официальное: утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2021 г. № 1571-ст. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 24 с.

³⁴ Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 08.08.2024).

³⁵ ГОСТ Р 58849–2020. Авиационная техника. Порядок создания. Общие положения: издание официальное: утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 апр. 2020 г. № 176-ст. М.: Стандартинформ, 2020. 62 с.

формулировок термина «Летная годность» зависит от того, в какой научной сфере работает ученый, если это сфера интересов связана с безопасностью полетов, то и упор в определении делается на безопасную эксплуатацию ВС, если сфера интересов связана с технической эксплуатацией, то определение дополняется методами эксплуатации ВС, если это сфера проектирования, то концентрируется внимание на нормах летной годности, с юридической стороны упор делается на акт оценки соответствия ВС. Эти различия могут отражать разные подходы к оценке летной годности и требования, предъявляемые к авиационной технике в различных контекстах.

Results (Результаты)

С целью ясного и однозначного понимания термина «Летная годность», выявления противоречий и неточностей в современной терминологии проведено исследование, направленное на анализ существующих определений и контекста их применения с использованием выше указанных методов.

Лексический анализ термина «Летная годность» воздушных судов:

«Летная» – относится к активности полета, то есть способности к выполнению полетов.

«Годность» – это качество, состояние, соответствующее определенным стандартам или требованиям; в данном контексте это означает пригодность для эксплуатации.

«Воздушные суда» – термин, объединяющий различные виды летательных аппаратов, включая самолеты, вертолеты и другие.

Семантика:

Понятие «Летная годность» ВС предполагает не только технические характеристики летательного аппарата, но и соответствие установленным нормам безопасности, эксплуатационным требованиям и другим критериям, которые обеспечивают безопасность полетов.

Структура термина:

«Летная годность» как термин образован от существительных, где первое слово указывает на область применения (летание), а второе – на оценку состояния (годность). Это позволяет ясно определить, что речь идет о способности воздушного судна безопасно выполнять полеты.

Культурный контекст:

В контексте авиационной терминологии летная годность ВС имеет особое значение, так как напрямую связана с безопасностью людей и грузов. В этом смысле термин может ждать перехода от сугубо технического определения к более широкому понятию, включающему социальные и этические аспекты.

В англоязычной версии существует два понятия: «Airworthiness» и «Fitness to fly», первое означает летная годность, второе пригодность к полету.

Webster's Dictionary gives a far simpler definition of airworthiness as “Fitness to fly” but raises the question of what fitness actually means. (В словаре Уэбстера гораздо более простое определение летной годности звучит как

«пригодность к полету», но возникает вопрос, что на самом деле означает пригодность.) [Skybrary, s.a.].

С филологической точки зрения термин «пригодность» происходит от слова «пригодный», данное слово имеет корень, связанный с понятием «годности» или «соответствия». Приставка «при-» может указывать на приближение или соответствие, а корень «годный» происходит от слова «год», что в старославянском языке означало «подходящий», «приемлемый» или «достаточный», т.е. соответствие чему-либо. В случае с «летной годностью» это означает соответствие определенным стандартам и требованиям.

Таким образом, «Летная годность» воздушных судов является сложным и многоаспектным понятием, которое охватывает как технические, так и социальные аспекты, связанные с безопасностью и эффективностью эксплуатации воздушных судов.

Применяемый в исследовании термина контент-анализ предполагает изучение текстов, документов и других материалов с целью выявления определенных тем, понятий, идей и их контекста в различных источниках. Также можно сказать, что данный подход связан с качественными методами исследования, так как он фокусируется на глубоком понимании содержания и значений слов и терминов в определенных условиях.

«Качественный (традиционный, интерпретативный, нечастотный) этап контент-анализа – совокупность операций отбора и оценки документов, восприятия и интерпретации их содержания без формализации и «текстуального кодирования», второй этап контент-анализа представляется как количественный метод анализа, т. е. формализованный перевод текстовой информации в количественные показатели с последующей статистической обработкой и содержательной интерпретацией выявленных числовых закономерностей» [Троцук, 2024].

В таблице 1 представлены определения термина в различных международных официальных документах гражданской авиации. Данные определения сформулированы специалистами в области авиационной деятельности и документально закреплены как в официальных документах международной организации гражданской авиации ИКАО, так и в национальных правовых документах стран разработчиков и эксплуатантов воздушных судов. Разные страны имеют свои стандарты и нормы, где прописаны основные понятия, касающиеся летной годности ВС, а это создает сложности при международной эксплуатации гражданского воздушного флота.

Таблица 1 – Определения термина «Летная годность» (Airworthiness) в различных официальных документах гражданской авиации

Летная годность (Airworthiness)
– состояние воздушного судна, двигателя, воздушного винта или части, когда они соответствуют утвержденной конструкции и находятся в состоянии для безопасной эксплуатации ³⁶ ;
– пригодное и безопасное для полета состояние ВС и его соответствие типовой конструкции (Канадские авиационные правила, CAR 101.01);
– любое ВС должно соответствовать требованиям норм летной годности (Регламент Европейской Комиссии (ЕС) 1178/2011);
– пригодность воздушного судна к полетам во всех условиях, для которых оно было спроектировано, и которым, следовательно, может подвергаться (Регламент Европейской комиссии № 748/2012);
– состояние воздушного судна, двигателя, воздушного винта или его части, когда они соответствуют утвержденной конструкции и находятся в состоянии, обеспечивающем безопасную эксплуатацию [Агентство..., б.г.];
– готовность ВС к безопасному полету (Code of Federal Regulations Title 21);
– пригодный для полетов самолет как самолет, который соответствует своему типовому проекту и находится в состоянии, пригодном для безопасного полета (Свод федеральных постановлений 14 CFR «Общие требования», США, Code of Federal Regulations Title 14);
– способность воздушного судна или другого летательного аппарата или системы работать без существенного риска для экипажа, наземного персонала, пассажиров (при необходимости) или для населения, над которым пролетают такие летательные аппараты [Leon Purtona, 2013] и др.;
– способность воздушного судна или другого летательного аппарата или системы эксплуатироваться в полете и на земле без существенного риска для экипажа, наземного персонала, пассажиров или третьих сторон; это технический параметр материальной части на протяжении всего ее жизненного цикла» [Skybrary, s.a.];
– комплексная характеристика воздушного судна, определяющая его соответствие с действующими правилами по допуску данного воздушного судна к полету [Орган гражданской..., б.г.];
– сертификат летной годности удостоверяет способность воздушного судна выполнять безопасные полеты ..., действует до тех пор, пока воздушное судно соответствует нормам летной годности [Центральный банк данных..., б.г.];
– состояние ... гражданского воздушного судна, авиационного двигателя, воздушного винта, при котором они соответствуют типовой конструкции или характеристикам, установленным актом оценки воздушного судна на его соответствие требованиям к летной годности и требованиям в области охраны окружающей среды от воздействия деятельности в области авиации, и способны обеспечивать их безопасную эксплуатацию ³⁷ ;
– состояние гражданского воздушного судна, авиационного двигателя, воздушного винта, при котором они соответствуют типовой конструкции и способны обеспечивать их безопасную эксплуатацию ³⁸ ;

³⁶ ИКАО. Приложение 8: Летная годность воздушных судов. 13-е изд.; Июль 2022. Канада, Монреаль: ИКАО, 2022. 378 с.

³⁷ Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 08.08.2024)

³⁸ ГОСТ Р 59815–2021. Национальный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Организация работ по техническому обслуживанию авиационной техники. Основные положения: издание официальное: утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2021 г. № 1571-ст. М.: Российский институт стандартов, 2021. 24 с.

- состояние образца авиационной техники, характеризующее его соответствие применимым требованиям к летной годности и пригодность к выполнению безопасного полета в пределах установленных эксплуатационных ограничений и методов эксплуатации³⁹;
- комплексное свойство ВС, определяемое реализованными в его конструкции принципами и конструктивно-технологическими решениями и позволяющее совершать безопасные полеты в заданных условиях и при установленных методах эксплуатации⁴⁰;
- характеристика ВС, определяемая предусмотренными и реализованными в его конструкции и летных качествах принципами, позволяющими совершать безопасный полет (т. е. обеспечивающими возможность выполнения полета с приемлемым уровнем риска) в ожидаемых условиях⁴¹.

Согласно ИКАО, летная годность определяется соответствием конструкции и пригодностью для безопасной эксплуатации. В правилах Агентства гражданской авиации Словении подчеркивается соответствие состояния двигателя и винта утвержденной конструкции для безопасной эксплуатации. В данных случаях основой термина является соответствие утвержденной конструкции.

Регламент Европейского Союза требует соответствия ВС нормам летной годности, при этом в Регламенте Европейской комиссии №748/2012 говорится о пригодности ВС к полетам во всех условиях эксплуатации, для которых оно было спроектировано. Внимание акцентировано на нормативные требования к условиям эксплуатации.

В канадских правилах упор делается на соответствие типовой конструкции и безопасности для полетов. В США (Code of Federal Regulations) летная годность определяется готовностью к безопасному полету. В обоих случаях упор делается на безопасность полета ВС.

В Республике Молдова летная годность рассматривается как комплексная характеристика, соответствующая действующим правилам. В Воздушном кодексе Российской Федерации подчеркивается соответствие типовой конструкции и безопасной эксплуатации. В данных случаях летная годность рассматривается как комплексная характеристика.

Во многих определениях подтверждающим документом способности ВС выполнять безопасные полеты является сертификат летной годности.

На рисунке 1 представлен алгоритм контент-анализа определений термина «Летная годность» ВС на основе различных международных официальных документов гражданской авиации, представленных в таблице 1.

³⁹ ГОСТ Р 58849–2020. Авиационная техника. Порядок создания. Общие положения: издание официальное: утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 апр. 2020 г. № 176-ст. М.: Стандартинформ, 2020. 62 с.

⁴⁰ Смирнов Н. Н. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов: учебник / Н. Н. Смирнов, Ю. М. Чинючин. М.: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2015. 505 с. EDN NPWFEN

⁴¹ Зубков Б. В. Безопасность полетов: учебник / Б. В. Зубков, С. Е. Призоров; под редакцией Б. В. Зубкова. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2012. 451 с.

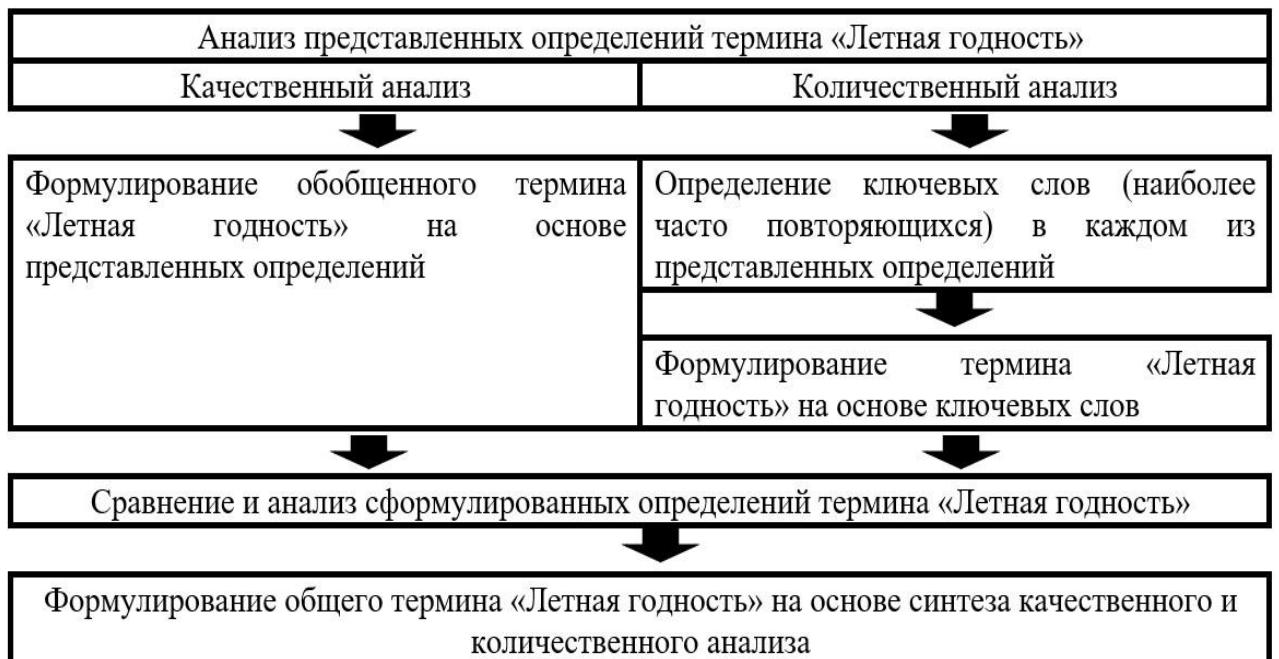


Рисунок 1 – Алгоритм контент-анализа определений термина «Летная годность»

С целью выполнения контент-анализа представленных определений и выявления основных ключевых понятий, заложенных в их содержании, предлагается выполнить ряд действий с использованием инструментария генеративного искусственного интеллекта ChatGPT (от англ. Generative Pre-trained Transformer – «генеративный предварительно обученный трансформер»).

1. Качественный контент-анализ представленных определений термина по таблице 1 и сравнение их ключевых элементов:

а) все определения подчеркивают важность соответствия воздушного судна установленным нормам и стандартам летной годности. Они акцентируют внимание на состоянии ВС, его двигателя и воздушного винта, а также на их способности обеспечивать безопасные полеты;

б) практически каждое определение упоминает состояние воздушного судна, двигателя и воздушного винта как один из основных факторов, которые влияют на его летную годность. Они должны соответствовать утвержденной конструкции и быть пригодными для безопасной эксплуатации;

с) многие определения указывают на необходимость соответствия требованиям и нормам летной годности. Это подчеркивает важность сертификации и контроля за соблюдением стандартов;

д) определения акцентируют внимание на способности ВС выполнять полеты в условиях, для которых оно было спроектировано. Это включает в себя оценку состояния компонентов ВС и гарантированную безопасность полетов;

е) в большинстве определений предусмотрены аспекты, касающиеся безопасной эксплуатации. Это включает минимизацию рисков для экипажа, пассажиров и населения на земле;

f) несколько определений говорят о значении сертификата летной годности как документа, удостоверяющего соответствие ВС установленным требованиям. Это является гарантией для всех заинтересованных сторон о том, что воздушное судно безопасно для эксплуатации;

g) некоторые определения более детализированы и структурированы, чем другие. Например, одни определения подчеркивают необходимость соответствия конструктивно-технологическим решениям, в то время как другие акцентируют внимание на общем состоянии летательного аппарата;

h) некоторые определения детализируют аспекты эксплуатации, такие как установленные эксплуатационные ограничения и методы эксплуатации, в то время как другие определения не охватывают эти аспекты;

i) некоторые определения явно указывают на необходимость минимизации рисков, что является критически важным аспектом летной годности. Другие менее акцентируют внимание на этом аспекте и больше сосредоточены на технических характеристиках.

2. Определение обобщенного термина «Летная годность» на основе представленных определений при проведении качественного анализа.

Представленное ниже определение (первое определение) на основе качественного анализа отражает ключевые аспекты, такие как состояние компонентов, соответствие нормам и делается акцент на безопасности, что важно для понимания концепции летной годности в авиации.

Первое определение: «*Летная годность – это способность воздушного судна, его двигателя и воздушного винта находиться в состоянии, соответствующем утвержденной конструкции и действующим нормам, обеспечивая безопасную эксплуатацию при выполнении полетов в условиях, для которых они были спроектированы. Летная годность включает в себя соблюдение требований к техническим характеристикам, минимизацию рисков для экипажа, пассажиров и населения, а также наличие соответствующего сертификата летной годности, удостоверяющего соответствие ВС установленным стандартам и правилам*»⁴².

3. Количественный контент-анализ, т.е. определение ключевых слов (наиболее часто повторяющихся, совпадающих) в каждом из представленных определений.

Для анализа совпадающих слов в приведенных определениях (Таблица 1) важно выявить уникальные термины (ключевые слова) и их частоту в каждой из строк, а затем определить количество повторений. В определениях имеются общие термины, такие как «воздушное судно» (ВС), «двигатель», «воздушный винт», «безопасный полет», «пригодность», «конструкция», «нормы летной годности» и т.д.

Выделяются термины, которые наиболее часто повторяются в определениях (Таблица 2).

⁴² ChatGPT-4 // [Электронный ресурс]. – URL: https://t.me/Chat_GPT4_rubot/ (дата обращения: 05.03.2025)

Таблица 2 – Ключевые слова, наиболее часто повторяющиеся в определениях

Ключевое слово	Частота повторений	Примечание
Воздушное судно (ВС)	8 повторений	упоминается в контексте его состояния, соответствия и способности к полетам
Состояние	7 повторений	упоминается в контексте состояния ВС, двигателя и винта
Конструкция	6 повторений	упоминается в отношении соответствия конструкции и нормам
Безопасный полет	5 повторений	упоминается в контексте способности судна совершать безопасные полеты
Пригодность	5 повторений	упоминается в отношении состояния или способности воздушного судна
Двигатель	4 повторения	упоминается в контексте его соответствия и состояния
Воздушный винт	4 повторения	упоминается в контексте его соответствия
Нормы летной годности	4 повторения	упоминается в отношении требований, которым должно соответствовать ВС
Способность	3 повторения	упоминается в контексте способности к безопасной эксплуатации
Комплексная характеристика	2 повторения	упоминается в контексте определения соответствия

На основе анализа можно сделать вывод, что термины, такие как «воздушное судно», «состояние», «конструкция», «безопасный полет» и «пригодность» являются ключевыми в определениях, связанных с летной годностью. Эти термины подчеркивают аспекты, связанные с безопасностью, соответствием требованиям и характеристиками воздушного судна.

4. Формулирование термина «Летная годность» на основе количественного анализа ключевых слов.

На основе анализа ключевых слов сформулировано понятие «Летная годность» следующим образом (второе определение):

Второе определение: «Летная годность – это состояние ВС, при котором оно, включая его двигатель и воздушный винт, соответствует утвержденной конструкции и действующим нормам летной годности, что обеспечивает возможность безопасного выполнения полетов. Летная годность включает в себя оценку пригодности воздушного судна к эксплуатации в различных условиях, соответствие типовым проектам и требованиям к техническим характеристикам. Она подтверждается наличием сертификата летной годности, который удостоверяет способность воздушного судна эффективно и безопасно работать без существенного риска для экипажа, пассажиров и населения»⁴³.

Этот термин охватывает важные моменты, связанные с безопасностью выполнения полета, соответствием конструкции ВС нормам летной годности, а также с необходимыми процедурами сертификации.

5. Сравнение сформулированных определений термина «Летная годность» на основе синтеза качественного и количественного анализа.

⁴³ ChatGPT-4 // [Электронный ресурс]. – URL: https://t.me/Chat_GPT4_rubot/ (дата обращения: 05.03.2025)

В таблице 3 представлен сравнительный анализ сформулированных определений термина «Летная годность» на основе структуры, условий эксплуатации, риска и безопасности, а также сертификации.

Таблица 3 – Сравнительный анализ определений термина «Летная годность»

Первое определение (качественный анализ)	Второе определение (количественный анализ)
1. Структура определения:	
Первое определение фокусируется на <u>«способности»</u> воздушного судна выполнять полеты, при этом делается акцент на активном характере (способность) судна	Второе определение сосредоточено на <u>«состоянии»</u> ВС, подчеркивая статический аспект (состояние), в котором судно должно находиться, чтобы считаться пригодным к выполнению полета
2. Проектирование и эксплуатация (использование):	
Первое определение подразумевает важность проектирования в контексте оценки летной годности в условиях эксплуатации	Второе определение сфокусировано на пригодности воздушного судна к эксплуатации в различных условиях, но в меньшей мере на проектных аспектах
3. Риски безопасной эксплуатации:	
В обоих определениях подчеркивается важность уменьшения вероятности наступления неблагоприятного свершения события (риска)	
В первом определении обращается внимание на соблюдение требований к техническим характеристикам в контексте минимизации рисков для экипажа, пассажиров и населения	Во втором определении обращается внимание на подтверждение способности воздушного судна работать без существенного риска
4. Сертификация воздушного судна:	
В обоих определениях упоминается сертификат летной годности	
В первом определении говорится о сертификате летной годности как о документе, который удостоверяет соответствие ВС установленным стандартам и правилам	Второе определение акцентирует внимание на наличие сертификата летной годности, который удостоверяет способность воздушного судна функционировать эффективно и безопасно
Общие черты	
В обоих определениях акцентируется внимание на соответствии ВС утвержденной конструкции и действующим нормам, что является ключевым моментом для понимания летной годности, при этом подчеркивается важность сертификата летной годности как подтверждающего документа, который удостоверяет пригодность ВС к безопасным полетам	
Вывод:	
Первое определение более акцентировано на способности и условиях эксплуатации ВС	Второе определение акцентировано на состоянии и подтверждении соответствия ВС

Сгенерированные формулировки термина «Летная годность» охватывают основные и важные характеристики летной годности воздушного судна и содержат ключевые моменты, связанные с безопасной эксплуатацией при соответствии воздушного судна конструктивным требованиям, но они фокусируются на разных аспектах.

Для более полного представления о понятии «Летная годность» целесообразно синтезировать оба определения, что позволит лучше понять смысловую суть данного термина.

6. Формулировка общего термина «Летная годность» на основе синтеза качественного и количественного анализа.

Общее сгенерированное определение термина «Летная годность» воздушного судна, основанное на представленных выше определениях, может быть сформулировано следующим образом:

«Летная годность – это состояние, при котором воздушное судно, включая его двигатель и воздушный винт, соответствует утвержденной конструкции и действующим нормам летной годности, что обеспечивает его способность к безопасному выполнению полетов в условиях, для которых оно было спроектировано. Летная годность включает в себя соблюдение требований к техническим характеристикам, оценку пригодности к эксплуатации в различных условиях и минимизацию рисков для экипажа, пассажиров и населения. Данная годность подтверждается наличием сертификата летной годности, который удостоверяет способность воздушного судна эффективно и безопасно функционировать без существенного риска»⁴⁴.

Такое синтезированное определение учитывает ключевые понятия, представленные в обеих исходных формулировках, и предлагает целостное понимание термина.

Сгенерированное на основе синтеза качественного и количественного анализа определение «Летная годность» ВС может оказать помощь в дальнейшем уточнении и стандартизации определения в международной практике, в разработке национальных регуляторных документов и норм, касающихся данного термина. Корректная трактовка «Летной годности» позволит более эффективно выявлять потенциальные риски и способствовать повышению эффективности нормативного регулирования и, как следствие, безопасности полетов.

Conclusion (Заключение)

Применение при анализе определений термина «Летная годность» ВС инструментария в виде искусственного интеллекта ChatGPT позволяет упростить решение рутинных задач по определению ключевых характеристик и свойств понятий в большом объеме трактовок определений.

По мнению авторов, поставленная цель исследования была достигнута, представленная формулировка термина «Летная годность» сглаживает различия в подходах к оценке летной годности и учитывает разные сферы интересов профессиональной деятельности на основе ясности и точности, краткости и лаконичности, что способствует лучшему пониманию и использованию термина в области знаний обучающихся и профессиональных работников гражданской авиации.

⁴⁴ ChatGPT-4 // [Электронный ресурс]. – URL: https://t.me/Chat_GPT4_rubot/ (дата обращения: 05.03.2025)

Летная годность – это многогранное понятие, включающее в себя множество факторов: от соответствия конструкции до безопасной эксплуатации, при этом оно продолжает эволюционировать в свете новых технологий и подходов к обеспечению безопасности полетов. Представленное определение не является аксиомой, однако оно может быть основой для обсуждения (дискуссии) в научных кругах в области гражданской авиации.

Библиографический список

Агентство гражданской авиации Словении (Civil Aviation Agency Slovenia (CAA) // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.caa.si/en/airworthiness.html> (дата обращения: 03.03.2025).

Бондаренко В. Г. Вопросы методологии обеспечения надежности, летной годности и безопасности полетов самолетов гражданской авиации // К: Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2005. № 3 С. 109-113. EDN HSRCIR.

Гипич Г. Н. Обеспечение и поддержание летной годности воздушных судов гражданской авиации (Теория и практика): специальность 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гипич Геннадий Николаевич. Москва, 2005. 334 с. EDN NNPZUD.

Далецкий С. В. Апостериорный прогноз уровней летной годности воздушных судов / С. В. Далецкий, И. Д. Дацков // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2017. № 16(327). С. 37-44. EDN YJXYGN.

Далецкий С. В. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации / С. В. Далецкий, О. Я. Деркач, А. Н. Петров. М. : Воздушный транспорт, 2002. 216 с. EDN YRHPSA.

Ермаков А. Д. Поддержание и сохранение летной годности ВС на предприятии / А. Д. Ермаков // Актуальные аспекты развития воздушного транспорта (Авиатранс-2019): Материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 50-летию со дня основания Ростовского филиала МГТУ ГА. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 21–23 июня 2019 года. Том 2. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Фонд науки и образования», 2019. С. 462-465. EDN ZQHSCU.

Кочетова В. Н. Факторы, определяющие летную годность ВС и ее сохранение в процессе эксплуатации / В. Н. Кочетова, О. А. Гончарова // Авиация: прошлое, настоящее, будущее (Авиатранс-2020): материалы научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов, Ростов-на-Дону, 20–21 октября 2020 года. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Фонд науки и образования», 2020. С. 204-207. EDN CGWTDT.

Орган гражданской авиации Республика Молдова // [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.caa.md/ru/cadrul-normativ-1-121> (дата обращения: 03.03.2025)

Петров А. Н. Методология поддержания летной годности воздушного судна на основе управления эффективностью системы его технического обслуживания и ремонта // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2008. № 130. С. 33-41. EDN KVVGZV.

Савченко-Бельский В. Ю. Экономические риски авиапредприятий при изменениях летной годности воздушных судов / В. Ю. Савченко-Бельский, Р. А. Черепов // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2012. № 2. С. 145-153. EDN VIXKEN.

Ступаков В. Я. Проблемы обеспечения летной годности воздушных судов: экономические аспекты / В. Я. Ступаков // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12, № 9-1. С. 667-673. DOI 10.34670/AR.2022.68.55.074. EDN ITDUYQ.

Троцук И. В. Контент-анализ // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал // [Электронный ресурс] – 2024. URL: <https://bigenc.ru/c/kontent-analiz2-764443/?v=10557354> (дата обращения: 03.03.2025).

Центральный банк данных правовой информации Кыргызской Республики // [Электронный ресурс]. – URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/111262/edition/929268/ru> (дата обращения: 03.03.2025).

Чинючин Ю. М. Летная годность воздушных судов в системе управления безопасностью полетов. В: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Инфра-Инженерия», 2024. 188 с. EDN PUVIBP.

Purtona L. Military airworthiness management frameworks: a critical review / L. Purtona, K. Kourousisa // International Symposium on Aircraft Airworthiness, ISAA. 2013. С. 545-564. Skybrary. [Электронный ресурс] – URL: <https://skybrary.aero/articles/airworthiness> (дата обращения: 03.03.2025).

References

Bondarenko V. G. (2005). Issues of methodology for ensuring reliability, airworthiness and flight safety of civil aviation aircraft. *Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev*. (3): 109-113.

Central Database of Legal Information of the Kyrgyz Republic. Available at: <http://cbd.minjust.gov.kg/111262/edition/929268/ru> (accessed 3 March 2025).

Chinyuchin Yu. M. (2024). Airworthiness of aircraft in the flight safety management system. Vologda: Limited Liability Company Infra-Engineering Publishing House, 2024. 188 p.

Civil Aviation Agency Slovenia. CAA. Available at: <http://www-caa-si.translate.goog/en/airworthiness> (accessed 3 March 2025). (In Slovenia)

Civil Aviation Authority of the Republic of Moldova. Available at: <http://www.caa.md/ru/cadrul-normativ-1-121> (accessed 3 March 2025). (In Moldova)

Daletsky S. V., Dashkov I. D. (2017). A posteriori forecast of aircraft airworthiness levels. *Scientific Bulletin of GosNII GA*. 16(327): 37-44.

Daletsky S. V., Derkach O. Ya., Petrov A. N. (2002). Efficiency of technical operation of civil aviation aircraft. Moscow: Air Transport, 2002. 216 p. 205.

Ermakov A. D. (2019). Maintaining and maintaining the airworthiness of aircraft at the enterprise. *Current aspects of the development of air transport (Aviatrans- 2019)*. 462-465.

Hypich G. N. (2005). Ensuring and maintaining the airworthiness of civil aviation aircraft (Theory and practice): specialty 05.22.14 «Operation of air transport»/ *Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences*. Moscow. 2005. 334.

Kochetova V. N., Goncharova O. A. (2020). Factors determining the airworthiness of aircraft and its preservation during operation. *Aviation: past, present, future (Aviotrans-2020)*. 204-207.

Petrov A. N. (2008). Methodology for maintaining the airworthiness of an aircraft based on the efficiency management of its maintenance and repair system. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. (130): 33-41.

Purtona L., Kourousisa K. (2013). Military airworthiness management frameworks: a critical review. *International Symposium on Aircraft Airworthiness, ISAA*. 545-564.

Savchenko-Belsky V. Y., Cherepov R. A. (2012). Economic risks of aviation enterprises with changes in the airworthiness of aircraft. *Bulletin of the Buryat State University*. (2): 145-153.

Skybrary. Available at: <https://skybrary.aero/articles/airworthiness> (accessed 3 March 2025).

Stupakov V. Ya. (2022). Problems of ensuring the airworthiness of aircraft: economic aspects. *Economics: yesterday, today, tomorrow*. 12 (9-1): 667-673.

Trotsuk I. V. (2024). The Great Russian Encyclopedia: Scientific and Educational Portal Available at: <https://bigenc.ru/c/kontent-analiz2-764443/?v=10557354> (accessed 3 March 2025).

УДК 811.111

ББК 81.432.1

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_195

ЦЕННОСТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕПТА SUSTAINABLE FASHION И ЕГО ОБЪЕКТИВАЦИЯ В АНГЛОЯЗЫЧНОМ МЕДИАДИСКУРСЕ

*Татьяна Ивановна Семенова,
orcid.org/0000-0002-8929-699X,
доктор филологических наук, профессор
Иркутский государственный университет,
ул. Карла Маркса, д. 1
Иркутск, 664003, Россия
tisemenova54@mail.ru*

*Анастасия Павловна Налобина,
orcid.org/0009-0002-3396-8723,
аспирант
Иркутский государственный университет,
ул. Карла Маркса, д. 1
Иркутск, 664003, Россия
i-nasy@yandex.ru*

Аннотация. В статье обсуждается структура и содержание ценностного компонента социокультурного концепта SUSTAINABLE FASHION и его оценочная актуализация в англоязычном медиадискурсе. В основу изучения лингвистического отражения ценностных параметров концепта SUSTAINABLE FASHION положена типология оценочных значений. Систематизация общеоценочных и частнооценочных высказываний, объективирующих аксиологически маркированные признаки исследуемого концепта, позволила выявить гедонистические, утилитарные, эстетические, этические, экологические, социальные ценности концепта SUSTAINABLE FASHION. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что ценностное измерение концепта SUSTAINABLE FASHION, заложенное в семантике соответствующих оценочных высказываний, содержит ценностные ориентиры, направленные на поддержание жизнеспособности экосистемы и на формирование осознанного потребительского поведения.

Ключевые слова: концепт SUSTAINABLE FASHION, ценности, оценка, оценочное высказывание, лингвоаксиологический анализ, медиадискурс.

VALUE DIMENSIONS OF THE CONCEPT SUSTAINABLE FASHION AND THEIR REPRESENTATION IN ENGLISH MEDIA DISCOURSE

*Tatiana I. Semenova,
orcid.org/0000-0002-8929-699X,
Doctor of Sciences (Philology), Professor
Irkutsk State University,
1, Karl Marx Street
Irkutsk, 664003, Russia
tisemenova54@mail.ru*

Anastasia P. Nalobina,
orcid.org/0009-0002-3396-8723,
Postgraduate student
Irkutsk State University,
1, Karl Marx Street
Irkutsk, 664003, Russia
i-nasy@yandex.ru

Abstract. The paper discusses value dimensions of the linguocultural regulative concept SUSTAINABLE FASHION. The research objective of the paper is to explore the cognitive basis of the evaluative aspect of the concept under consideration. The study of the value potential of the concept SUSTAINABLE FASHION is viewed from the theoretical perspective of axiological linguistics. Of particular concern in the study is the linguoaxiological analysis of the evaluative language units verbalizing aesthetic value, environmental and ethical value, social value, hedonistic value of the concept SUSTAINABLE FASHION in English media discourse. The results obtained suggest that these value dimensions ensure a more responsible approach to fashion, shaping ethical and conscious consumption behavior.

Kew words: concept SUSTAINABLE FASHION, values, evaluation, evaluative statement, linguoaxiological analysis, media discourse.

Введение (Introduction)

Включенность настоящего исследования в проблематику научных изысканий в сфере аксиологических характеристик лингвокультурных концептов обуславливает актуальность настоящей работы. Статья нацелена на выявление аксиологически маркированных языковых единиц, объективирующих ценностное измерение концепта SUSTAINABLE FASHION. Новизна исследования обусловлена введением в исследовательский фокус языковой презентации ценностных параметров концепта SUSTAINABLE FASHION, актуализирующих социально-осознанное отношение к моде. До настоящего времени ценностный потенциал концепта SUSTAINABLE FASHION не был предметом лингвоаксиологического исследования.

Материалы и методы (Materials and methods)

Эмпирическим материалом исследования языковой актуализации ценностных аспектов концепта SUSTAINABLE FASHION послужили медиатексты с тематической доминантой *fashion* в электронных версиях газет The New York Times, The Guardian, The Independent. Для достижения поставленной цели были использованы методы концептуально-деконструктивного анализа, когнитивно-дискурсивного анализа, методы интерпретации, интроспекции, лингвоаксиологического анализа.

Дискуссия (Discussion)

Современный взгляд на мир глубоко антропоцентричен, это значит, что в языке находит отражение вся область когнитивного взаимодействия человека с миром, в том числе и ценностное осмысление познаваемого человеком мира, именно в ценностном отношении к миру «состоит специфика человека» [Маслова, 2011, с. 383]. Мир человеческой деятельности как

индивидуальной, так и коллективной, насквозь пронизан ценностями [Ивин, 2006, с. 58]. Н. Ф. Алефиренко определяет ценности как культурно значимые отношения человека к окружающему миру, которые служат ему в качестве ценностных ориентиров⁴⁵. Для современной аксиологии интерес представляет динамика социальной ценостной парадигмы, трансформации в системе ценностей, культивирование новых ценностей и их воплощение в аксиологических концептах. Методика изучения ценностных доминант в языке базируется на понятии «концепт» [Карасик, 2024а, с. 186]. Ценостная составляющая, отражающая значимость концепта как для индивидуального сознания, так и для коллективного менталитета, признается центральной характеристикой лингвокультурного концепта [Карасик, 2002, с. 10]. Ценностное содержание концепта раскрывается в виде ориентиров поведения, заложенных в семантике соответствующего смыслового образования [Карасик, 2024б, с. 9].

Феномен моды принадлежит к ценностным формам проявления эстетических отношений культуры. Мода как социокультурный динамичный феномен воплощает ценностные установки, ценностные ориентации, ценностные доминанты, которые подвергаются переосмыслинию, трансформации в зависимости от ряда социальных, политических, экономических факторов [Гофман, 2004; Дроздова и др., 2017]. Дискурс моды как транслятор информации о ценностных доминантах социума отличается ярко выраженным аксиологическим характером и периодически меняющейся аксиосферой [Гапутина, 2019, с. 8]. А. Б. Гофман структурирует теоретическую модель моды, в которой выделяет доминирующие ценностные характеристики, включающие современность, универсальность, демонстративность и игру [Гофман, 2004]. В лингвоконцептуальных и лингводискурсивных исследованиях феномена моды выделяют ключевые концепты, воплощающие ценности моды [Аракелова, 2017; Болотова, 2017; Чурсина, 2010; Ягафарова, 2014]. В дискурсивном конструировании образа будущего в сфере моды выявляются аксиологические параметры: яркость, инновационность и креативность [Кламер, 2024].

В современных дискурсивных практиках в центр аксиологической рефлексии выдвигается осознание деструктивного антропогенного воздействия на окружающую среду, расточительное отношение к ресурсам, и всё чаще через призму проблем экологических угроз и рисков осмыслинию подвергается ценностный конфликт между модой и экологией [Биното и др., 2019; Ильин, 2017; Сапожникова, 2021]. Оценочная категоризация негативного воздействия моды на окружающую среду находит отражение в пропозициональном содержании медиатекстов, в которых мода получает интерпретацию как *один из крупнейших источников загрязнения и деградации планетарной экосистемы*, ср.: *Fashion is a hugely polluting industry, it is a top global polluter* [The Guardian view on fast fashion..., 2020]; *The fashion industry*

⁴⁵ Алефиренко Н. Ф. Лингвокультурология: ценностно-смысловое пространство языка: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Флинта: Наука, 2013. 288 с.

is one of the main contributors to the world's largest pollution [Helbig, 2018]. Перепроизводство и сверхпотребление в индустрии моды приводит к тому, что почти пятая часть производимой одежды масс-маркета оказывается на текстильных свалках или сжигается [Биното и др., 2019; Niinimäki, 2015]. Расточительное потребление формирует общество / культуру одноразового потребления, о чем свидетельствуют оценочные номинации *throwaway society, throwaway culture, disposable society, disposable culture, liquid culture, waste culture*.

Проблема негативного воздействия моды на окружающую среду задаёт вектор нового социально-осознанного подхода к индустрии моды, который находит языковую презентацию в содержании концепта SUSTAINABLE FASHION. Ценностное содержание данного концепта проявляется в виде ориентиров поведения на снижение негативного воздействия на экосистему, объективируемых на пропозициональном уровне, ср.: *Sustainable fashion refers to the concept of creating fashion items in a way that reduces the environmental impact and promotes social responsibility throughout the entire production process* [What is sustainable fashion..., 2023]. Вектор на экологизацию свидетельствует о том, что устойчивая мода «стремится стать одним из доминирующих ресурсов, транслирующих ценности нового общества» [Сапожникова, 2021, с. 229]. В зарубежных междисциплинарных исследованиях феномена *sustainable fashion* постулируется значимость изучения ценностных основ этого социально-культурного явления – “*It is worthwhile to investigate the value base in sustainable fashion*” [Niinimäki, 2015, p. 11].

Изучение аксиологического аспекта концепта SUSTAINABLE FASHION позволит глубже понять транслируемые в социум ценностные ориентации, направленные на трансформацию принципов потребления. Вербальное воплощение ценностей связано с процессом оценивания как актом установления ценностного отношения через оценку, посредством которой формируется аксиологический компонент языковой семантики. В основу изучения лингвистического отражения ценностных параметров концепта SUSTAINABLE FASHION положена типология оценочных значений. В таксономии оценок выделяются общеоценочные значения и частнооценочные значения, различие между которыми заключается в объеме оценочных и дескриптивных компонентов в их структуре [Арутюнова, 1988; Арутюнова, 1999]. В анализируемом языковом материале общеоценочные значения реализуются прилагательными *good, bad* и их синонимами с разными стилистическими и экспрессивными оттенками (*great, beneficial, marvelous, cool, crusty*). Прилагательные общей оценки выражают «холистическую оценку, аксиологический итог» [Арутюнова, 1999, с. 198]. Общая оценка присуждается по совокупности признаков, замещая определенный спектр частнооценочных признаков, составляющих стереотипное представление об объекте. Так, например, в оценочных высказываниях *Secondhand fashion is great for people's pockets and the planet* [Quach, 2021]; *Sustainable fashion is beneficial for the environment, society, and the economy* [Sustainable Fashion...,

2024], подразумевается совокупность аксиологически релевантных признаков: *сокращение негативного воздействия индустрии моды на окружающую среду, повышение социальной ответственности, поощрение более осознанного потребления*. Информативная недостаточность оценочных предикатов компенсируется при помощи дескриптивного развертывания оценки, ср.: *Sustainable fashion is better than fast fashion because it reduces environmental impact and promotes ethical practices* [Sharma, 2024]. Функцию основания оценки выполняет вводимое союзом *because* придаточное предложение, аргументирующее позитивную оценку устойчивой моды.

В дискурсе устойчивой моды общеоценочное значение вербализуется оценочным предикатом *cool*, ср.: *'Repair is the new cool': how Amsterdam started a fashion revolution* [Beddington, 2023]; *Upcycling is cool not crusty* [Mac Donnell, 2025]. Прилагательные *cool, crusty* реализуют оценочные сленговые значения, имеющие отношение к моде, ср.: *cool – great, excellent, wonderful, stylish, fashionable* [OED, s.a.]; *crusty – a style of dress and appearance that is intentionally messy, with a focus on functionality* [MEDAL, 2007].

Типология частнооценочных значений включает сенсорные (психологические, интеллектуальные, вкусовые) оценки; сублимированные оценки (эстетические и этические); рационалистические (утилитарные, нормативные, телеологические) оценки [Арутюнова, 1999, с. 198]. В семантику частнооценочных предикатов входит дескриптивный компонент, указывающий на то или иное свойство объекта, которое получает оценку. Как явствует из языкового материала, частная оценка признаков концепта SUSTAINABLE FASHION соответствует сразу нескольким принципам ценностной параметризации: морально-этическому, эстетическому, гедонистическому.

Гедонистическую область бытования ценности, которая касается сферы ощущений, определяемых в терминах «приятное – отвратительное», формируют сенсорные оценки, которые не имеют основания и, как подчеркивает Н. Д. Арутюнова, обычно не мотивируются в силу того, что они исходят «из того ощущения, которое, независимо от воли и самоконтроля, испытывает человек» [Арутюнова, 1999, с. 199]. В дискурсе устойчивой моды человек аксиологически маркирует свойства предметов моды и порождаемые ими сенсорные впечатления. Сенсорные оценки ориентируют человека в природной и социальной среде, способствуя, в частности, достижению комфорта. Оценочная характеристика ощущений в дискурсе устойчивой моды вербализуется словом *comfort* и его производными *comfortable, comfortably*, в значении которых заложены дескриптивные и оценочные признаки «удобство», «свобода движений», «приятный для пользования», ср: *comfortable – (especially of clothes or furnishings) providing physical ease and relaxation* [OLD, s.a.]. Оценочные номинации *soft, breathable, silky soft* вербализуют приятные тактильные ощущения от изделий из экологических тканей, идеально подходящих для чувствительной кожи, ср.: *The materials used in sustainable fashion have changed radically: organic cotton: soft, breathable and perfect for sensitive skin* [Rohan, 2023]; *TencelTM: A wood-derived fiber that is silky*

soft and extremely comfortable [What is Tencel?..., 2023]. Производная номинация *breathable* концептуализирует свойство ткани быть воздухопроводимой, что обеспечивает комфорт при носке, ср.: *fabric that allows air to pass through it easily, so that clothing made from it does not become too warm or uncomfortable* [CLD, 2001].

Область выведения ценностей, связанная с практической пользой, выражается оценочными высказываниями утилитарной оценки. Утилитарная оценка «основана на выборе того, что может быть полезным или может благоприятствовать выполнению некоторой задачи» [Арутюнова, 1988, с. 68]. Утилитарные оценки устанавливают цели и указывают средства их достижения [Ивин, 2006, с. 15]. В высказываниях утилитарной оценки, как отмечает Н. Д. Арутюнова, оценочное слово «стремится приобрести реляционное значение, установив отношение между средством и целью» [Арутюнова, 1988, с. 70]. Данный вид оценки связан со значением полезности и возможности использования объекта в каких-либо целях. Позитивно ценной является такая ситуация, «какой она должна быть в соответствии с существующим в данном обществе образцом или стандартом» [Ивин, 2006, с. 8]. В дискурсе устойчивой моды объектами утилитарной оценки являются материалы, сырье, предметы индустрии моды, снижающие пагубное воздействие на окружающую среду. Средством репрезентации утилитарной оценки выступают производные прилагательные с суффиксом *-able* (*sustainable, mendable, reparable, biodegradable, compostable, durable, recyclable, traceable, wearable, upgradeable*). Прототипическое значение суффикса *-able* дефинируется как '*able to be verbed*' – 'пригодный для осуществления действия, обозначенного производящей основой' [Lee, 2004]. Номинируемые вышеуказанными прилагательными свойства, признаки, обусловленные внутренними качествами объекта, оказываются полезными в решении задачи по сокращению негативного воздействия используемых в индустрии моды сырья и материалов, то есть они становятся аксиологически маркированными. Утилитарная оценка как вид рационалистической оценки имеет объективные основания, ср.: *The idea behind sustainable materials is that they are less damaging to the environment* [Gould, 2015] – используемые материалы отвечают критерию утилитарной оценки, поскольку они приносят меньший вред экосистеме, а ремонт одежды позволяет сократить текстильные отходы, ср.: *Most clothing problems are easily mendable: missing buttons and loose stitching, for example* [Helbig, 2018]. Использование биоразлагаемого сырья нацелено на снижение уровня загрязнения окружающей среды, ср.: *Biodegradable fabrics naturally decompose when discarded, they are environmentally friendly – they reduce pollution levels* [Preston, 2025]. Позитивную утилитарную ценность вербализует прилагательное *durable*, объективирующее долговечность, износостойкость материалов, ср.: *Durable clothing reduces the need for frequent replacements, helping to decrease textile waste* [Durable Clothing..., 2025].

Аксиологически нагруженное дискурсивное медиапространство актуализирует эстетическую оценку объектов устойчивой моды. Эстетическая

оценка связана «с удовлетворением чувства прекрасного» [Арутюнова, 1999, с. 199]. Как способ установления эстетической ценности объекта, эстетическая оценка выражается посредством лексических единиц, вербализующих критерии красоты, гармонии и стиля, что свойственно эстетическому восприятию объектов. В англоязычной аксиосфере дискурса моды Л. Р. Аракелова выделяет архетипический концепт BEAUTY, который входит в ценностную концептосферу дискурса моды [Аракелова, 2017].

В систему эстетических ценностей входит и концепт SUSTAINABLE FASHION. Эстетика устойчивой моды претерпевает трансформацию в соответствии с новой идеологией потребления, вектор которой направлен на экологизацию, на сохранение потребительской ценности предметов моды, не уменьшая при этом значимости традиционных представлений о красоте и стиле, эстетической привлекательности предметов моды. Вопрос об эстетической основе устойчивой моды и ее критериев, параметров, освещается в социологических и маркетинговых исследованиях [Folkmann, 2015; Zafarmand et al., 2003]. Эстетическая ценность предметов устойчивой моды в профессиональном дискурсе определяется как совокупность аксиологически маркированных параметров, связанных как со сферой моды, так и с осознанным отношением к экосистеме, ср.: *Sustainable clothing can have significant aesthetic value by offering a unique and desirable style that aligns with environmental and ethical values. It can be achieved through timeless designs, high-quality materials, and a focus on durability and versatility, creating a personal style that is both fashionable and environmentally conscious* [Zafarmand et al, 2003].

Ценностное осмысление получает параметр ‘*aesthetic durability*’ – ‘эстетическая долговечность’ / ‘долгосрочность’, это значит, что эстетическим идеалом становятся неподвластные времени элегантность и стиль, ср.: *We believe this collection of 7 most elegant and timeless dresses can help you find the dress that will match your taste and style* [7 Timeless Elegant Dresses..., 2024]; *Timeless elegance back in style as Fendi launches Milan fashion week* [Cartner-Morley, 2023]. В рамках Недели моды в Милане в феврале 2023 года Джорджо Армани, признанный король моды с непрекращающим стилем (*fashion's king of enduring style*) заявил, что *вечный шик* (*timeless chic*) снова вошел в моду, ср: *The trend headline from Milan fashion week may be that timeless chic is in after Giorgio Armani closed proceedings on Sunday afternoon, reminding us that he is fashion's king of enduring style* [Conlon, 2023]. Джорджо Армани заверил, что «вневременность» как неотъемлемый элемент эстетического подхода и главная ценность бренда, «не изменится в ближайшее время»: *“Timelessness is an essential element of my aesthetic approach and a core value for my brand,” the designer said. “And that is not going to change any time soon”* [Conlon, 2023]. Оценочные номинации *timeless dresses, timeless elegance, timeless chic, timeless style, timeless design* воплощают на языковом уровне эстетику устойчивой моды, ценностью которой является стиль, который не подвержен влиянию моды и сохраняет свою актуальность на протяжении долгого времени, ср.: *Clothes we want to wear for ever and ever might seem like the opposite of what*

fashion represents. But from where I'm standing, they look like the last word in chic [Cartner-Morley, 2022]. Вневременная элегантность не диктует, а позволяет проявить свою индивидуальность, поскольку базируется на проверенных временем принципах стиля. В дихотомическом сопоставлении моде как феномену преходящему, быстротечному и поверхностному, противопоставляется стиль как воплощение устойчивости, самотождественности [Гофман, 2004, с. 147].

В формировании ценностной картины устойчивой моды значимыми являются этические ценности. Зарубежные исследователи трактуют устойчивую моду / *sustainable fashion* как «*wicked problem*», понимая под этим термином злободневную проблему, которая не имеет очевидного и простого решения, и привлечение этического измерения позволит увидеть проблему более холистично – *seeing problem areas more holistically and further to include the ethical dimension more tightly to discussion* [Niinimäki, 2015, p. 11]. Этическое измерение концепта SUSTAINABLE FASHION включает такие этически значимые ценности, как экологическую этику – *environmental ethics*, принципы этичного потребления – *ethical consumption*, этические принципы социальной справедливости – *social justice and better working conditions*, отказ от жестокого обращения с животными – *animal ethics*. Положительная этическая оценка в общем случае требует ориентации на этическую норму, соблюдение нравственного кодекса, то есть большего или меньшего количества правил и заповедей» [Арутюнова, 1999, с. 199].

Вышеназванные этические ценности выражаются оценочными номинациями, в которых ключевой выдвигается задача по обеспечению достойных условий труда для работников, включая справедливую заработную плату, сп.: *An essential part of any ethical trade has to be to ensure that workers are being paid a living wage* [Siegle, 2010]; *Fair pricing is key to a living wage and brands must have the courage to change their profit model to combat poverty pay* [Gould, 2014]; *How to achieve fair wages in the fashion industry – we ask the experts* [Gould, 2014]. Этические принципы устойчивой моды представлены на уровне пропозиционального содержания, сп.: *Eco-fashion is any brand or line that attempts to minimize the impact on the environment, and often the health of the consumers and the working conditions for the people that are making the clothes* [What is eco-fashion..., 2016]. В приведенном примере этические параметры устойчивой моды выражены оценочными пропозициями: *to minimize the impact on the environment, the health and the working condition* – минимизировать вредоносное воздействие на экологию, обеспечить достойные условия труда для работников производства.

Этическим принципом устойчивой моды является гуманное отношение к животным, объективируемое номинациями, в семантике которых заложена положительная оценочность, сп.: *animal-friendly materials, animal protection, animal welfare, animal well being*. Отказ от тестирования продукции на животных на протяжении всего производственного процесса актуализируется номинациями с семантикой отрицания, сп.: *cruelty-free fashion, animal-free leather, wildlife-free options, cruelty-free brands, cruelty-free alternatives, wildlife-*

free alternatives. В социокультурном контексте экологично-ориентированной моды признак ‘отсутствие’ в составе номинации получает позитивный оценочный знак и интерпретируется как этически маркированная ценность. С точки зрения аксиологии признак «является позитивно ценным, когда его отсутствие негативно ценно» [Ивин, 2006, с. 26]. Бренды, отказавшиеся от производства одежды из животных материалов и использующие материалы растительного или синтетического происхождения, позиционируют себя как *vegan fashion* или *cruelty-free brands*. Так, например, экологичный бренд *Stella McCartney* позиционирует себя как «свободная от жестокости мода», ср.: *Stella McCartney has long been synonymous with cruelty-free fashion. McCartney's brand has never used leather, fur, feathers, or skins since its inception in 2001* [Vegetarian Leather..., 2017]. Таким образом, социокультурный концепт-регулятив SUSTAINABLE FASHION не только объективирует новое понимание моды как социально-ответственного явления, но и способствует трансформации ценностных эстетических, этических, социальных ориентиров поведения.

Заключение (Conclusion)

Итак, лингвоаксиологический анализ содержания ценностного компонента концепта SUSTAINABLE FASHION позволил выявить гедонистические, утилитарные, эстетические, этические, социальные ценности и их оценочную актуализацию в англоязычном медиадискурсе. Ценностные смыслы концепта SUSTAINABLE FASHION объективируются оценочными высказываниями, устанавливающими абсолютную или сравнительную ценность модных объектов, их свойств и характеристик сквозь призму сенсорных, сублимированных и рационалистических оценок. Аксиологически нагруженный англоязычный дискурс устойчивой моды транслирует комплекс ценностных установок, ценностных ориентиров, нацеленных на поддержание жизнеспособности экосистемы и на формирование осознанного потребительского поведения.

Библиографический список

Аракелова А. Р. Лингво-аксиологические характеристики современного англоязычного дискурса моды: специальность 10.02.04 - германские языки: автореф. дис. ... канд. филол. / Амалия Робертовна Аракелова. Пятигорск, 2017. 25 с.

Арутюнова Н. Д. Типы языковых значений: Оценка. Событие. Факт. М.: Наука, 1988. 341 с.

Арутюнова Н. Д. Язык и мир человека. М.: Языки русской культуры, 1999. 896 с. EDN YLAWAR.

Биното К. Поэтика мусора: современные практики моды в контексте неоправданной расточительности / К. Биното, Э. Пейн // Теория моды: тело, одежда, культура. 2019. № 53. С. 61-90. EDN YHNDON.

Болотова Ю. С. Лингвопрагматический аспект дискурса моды: специальность 10.02.04 - германские языки: автореф. дис. ... канд. филол. наук / Юлия Сергеевна Болотова. Москва, 2017. 23 с.

Гапутина В. А. Проявления гибридности в современном русскоязычном медиадискурсе моды: специальность 10.02.00 - Языкознание: автореф. дис. ... канд. филол. наук / Виолетта Александровна Гапутина. Волгоград, 2019. 19 с. EDN JYNUWP.

Гофман А. Б. Мода и люди: новая теория моды и модного поведения. М.: Наука, 2004. 208 с.

Дроздова А. В. Трансформация моды в современной медиакультуре / А. В. Дроздова, Т. Л. Трушина // Ярославский педагогический вестник. 2017. № 6. С. 366-370. EDN ZXYZZR.

Ивин А. А. Аксиология: науч. изд. Москва: Высшая школа. 2006. 390 с.

Ильин А. Н. Культура потребления и экология: проблемы взаимодействия // Альтернативы. 2017. №4. С. 156-167. EDN YXPHRR.

Карасик В. И. Ценностная картина мира как объект аксиологической лингвистики // Языки, литературы и культуры народов России в современной академической науке. Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Международного научного форума), посвященной 85-летию создания Института языка, литературы и искусства им. Г. Ибрагимова Академии наук Республики Татарстан. 2024а. С. 183-188. EDN QOPXEQ.

Карасик В. И. Языковой круг: личность, концепты, дискурс. Волгоград: Научное издательство ВГСПУ "Перемена", 2002. 477 с. EDN UGQAMP.

Карасик В. И. Языковые камертоны смысла. М.: Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина. 2024б. 416 с. EDN EZOQLU.

Кламер И. Е. Концептуальные особенности конструирования образа будущего в англоязычном дискурсе моды // Актуальные проблемы лингвистики и литературоведения. Сборник материалов XI (XXV) Международной научно-практической конференции молодых учёных. 2024. Выпуск 25. С. 206-212. EDN DWWTSD.

Маслова В. А. Концепты и ценности: содержание понятий, языковая презентация // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: филология. социальные коммуникации. 2011. Т. 24(63). № 2-3. С. 383-387. EDN UJIKNT.

Сапожникова В. В. Экологичность как функция моды в обществе цифровых трансформаций // Знание. Понимание. Умение. 2021. № 1. С. 226-237. DOI 10.17805/zru.2021.1.17. EDN UVYYTK.

Чурсина О. В. Лингвокультурный концепт «мода» в языковом сознании и коммуникативном поведении: специальность 10.02.19 - Теория языка: автореф. дис. ... канд. филол. наук / Ольга Владимировна Чурсина. Волгоград, 2010. 20 с. EDN QGVYON.

Ягафарова Л. Т. Вербализация концептосферы «мода» в современной отечественной массовой литературе: специальность 10.02.01 - Русский язык: автореф. дис. ... канд. филол. наук / Лилия Талгатовна Ягафарова. Елец, 2014. 22 с. EDN ZPNMOP.

CLD – Cambridge learner's dictionary. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 816 p.

Folkmann M. Exploring the Aesthetics of Sustainable Fashion. 2015. Pp. 1–12.

Lee D. Cognitive Linguistics: An Introduction. Oxford: OUP, 2004. 223 p.

MEDAL – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners. Macmillan Education, 2007. – 1776 p.

Niinimäki K. Ethical Foundations in Sustainable Fashion. Textiles and Clothing Sustainability, Springer Nature, 2015. Pp. 1-11.

OED – Oxford English Dictionary [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oed.com/?tl=true> (дата обращения: 20.07.2025).

OLD – Oxford Learner's Dictionaries [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/> (дата обращения: 24.07.2025).

Zafarmand S. Ja. Aesthetic and Sustainability: The Aesthetic Attributes Promoting Product Sustainability / S. Ja. Zafarmand, K. Sugiyama, M. Watanabe // The Journal of Sustainable Product Design. 2003. Vol. 3, № 3. P. 173-186. DOI 10.1007/s10970-005-6157-0. EDN JNPROW.

Список источников примеров

Beddington E. (2023). ‘Repair is the new cool’: how Amsterdam started a fashion revolution. Available at: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2023/oct/11/repair-is-the-new-cool-how-amsterdam-started-a-fashion-revolution> (accessed 25 July 2025).

Cartner-Morley J. (2022). Brands are moving from fast to ‘forever fashion’ – but are new clothes ever sustainable? Available at: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2022/feb/05/fast-forever-fashion-trend-new-clothes-sustainable> (accessed 25 June 2025).

Cartner-Morley J. (2023). Timeless elegance back in style as Fendi launches Milan fashion week. Available at: <https://www.theguardian.com/fashion/2023/sep/20/timeless-elegance-back-in-style-as-fendi-launches-milan-fashion-week> (accessed 10 June 2025).

Conlon S. (2023). Armani finery lauds ‘timelessness’ at Milan fashion week. Available at: <https://www.theguardian.com/fashion/2023/feb/26/armani-finery-lauds-timelessness-at-milan-fashion-week> (accessed 10 July 2025).

Durable Clothing (2025). Available at: <https://sustainability-directory.com/term/durable-clothing/> (accessed 25 July 2025).

Gould H. (2015). Sustainable material pioneers: what does the future hold? Available at: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/2015/apr/01/sustainable-material-pioneers-what-does-the-future-hold> (accessed 10 July 2025).

Gould H. How to achieve fair wages in the fashion industry – we ask the experts (2014). Available at: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/2014/nov/18/fair-wages-fashion-industry-expert-opinion> (accessed 10 March 2025).

Helbig K. (2018). Shop less, mend more: making more sustainable fashion choices. Available at: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2018/feb/10/shop-less-mend-more-making-more-sustainable-fashion-choices> (accessed 25 July 2025).

Mac Donnell Ch. (2025). Outfits of defiance: would you wear shoes made from rugs? Available at: <https://www.theguardian.com/fashion/2025/apr/24/fashion-statement-fashion-revolution-mending-clothes-upcycling> (accessed 25 June 2025).

Preston Sh. (2025). The Importance of Biodegradable Textiles as Eco-Friendly Fabric. Available at: <https://maake.com/blogs/news/biodegradable-textiles> (accessed 15 July 2025).

Quach G. (2021). Reselling, repairing and ‘swishing’: the rise of sustainable fashion apps. Available at: <https://www.theguardian.com/fashion/2021/jan/29/reselling-repairing-and-swishing-the-rise-of-sustainable-fashion-apps> (accessed 25 July 2025).

Rohan (2023). Revolutionary Cotton Fabric: Perfect Solution for Sensitive Skin. Available at: <https://knowingfabric.com/revolutionary-cotton-fabric-perfect-solution-for-sensitive-skin/> (accessed 12 July 2025).

Sharma R. (2024). Why Sustainable Fashion is Crucial for a Greener Future and Ethical Consumerism. Available at: <https://www.gofynd.com/thecloset/why-is-sustainable-fashion-important> (accessed 16 July 2025).

Siegle L. (2010). Britain’s appetite for fast fashion is pushing workers into starvation. Available at: <https://www.theguardian.com/world/2010/aug/08/fashion-sweatshops-lucy-siegle-comment> (accessed 10 June 2025).

Sustainable Fashion: The Future of Clothing You Can Feel Good About (2024). Available at: <https://www.nonasties.in/blogs/news/sustainable-fashion-the-future-of-clothing-you-can-feel-good-about> (accessed 10 July 2025).

The Guardian view on fast fashion: it can’t cost the earth (2020). Available at: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/mar/13/the-guardian-view-on-fast-fashion-it-cant-cost-the-earth> (accessed 15 June 2025).

Vegetarian Leather (2017). Available at <https://www.stellamccartney.com/us/en/sustainability/vegetarian-leather.html> (accessed 15 July 2025).

What is eco-fashion and how to be responsibly fashionable (2016). Available at: <https://www.naturespath.com/en-us/blog/what-is-eco-fashion-and-how-to-be-responsibly-fashionable/> (accessed 18 July 2025).

What is sustainable fashion: definition, examples and why it is now more important than ever (2023). Available at: <https://dresslemuse.com/blogs/blog/what-is-sustainable-fashion> (accessed 29 July 2025).

What is Tencel? Fabric Guide & Uses (2023). Available at: <https://homewithmilly.com/what-is-tencel/> (accessed 16 July 2025).

7 Timeless Elegant Dresses That Define Sophistication (2024). Available at: <https://www.insiderlyfe.com/fashion/timeless-elegant-dresses/> (accessed 25 July 2025).

References

Arakelova A. R. (2017). Linguo-Axiological Characteristics of Modern English-Language Fashion Discourse (PhD diss. summary, specialty 10.02.04 – Germanic Languages). Pyatigorsk. 2017. 25 p. (In Russian)

Arutyunova N. D. (1988). *Types of Linguistic Meanings: Evaluation, Event, Fact*. Moscow: Nauka. 341 p. (In Russian)

Arutyunova N. D. (1999). *Language and the Human World*. Moscow: Languages of Russian Culture. 896 p. (In Russian)

Binoto K., Payne E. (2019). The Poetics of Waste: Contemporary Fashion Practices in the Context of Unjustified Excess. *Theory of Fashion: Body, Clothing, Culture*. (53): 61-90. (In Russian)

Bolotova Yu. S. (2017). Linguopragmatic Aspects of Fashion Discourse (PhD diss. summary, specialty 10.02.04 – Germanic Languages). Moscow. 2017. 23 p. (In Russian)

Chursina O. V. (2010). The Linguocultural Concept of “Fashion” in Language Consciousness and Communicative Behavior (PhD diss. summary, specialty 10.02.19 – Theory of Language). Volgograd. 2010. 20 p. (In Russian)

CLD – Cambridge Learner’s Dictionary. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 816 p.

Drozdova A. V., Trushina T. L. (2017). Transformation of Fashion in Contemporary Media Culture. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. (6): 366-370. (In Russian)

Folkmann M. (2015). Exploring the Aesthetics of Sustainable Fashion. 2015. P. 1-12.

Gaputina V. A. (2019). Manifestations of Hybridity in Modern Russian-Language Media Fashion Discourse (PhD diss. summary, specialty 10.02.00 – Russian Language). Volgograd. 2019. 19 p. (In Russian)

Gofman A. B. (2004). Fashion and People: A New Theory of Fashion and Fashion Behavior. Moscow: Nauka, 2004. 208 p. (In Russian)

Il'in A.N. (2017). Consumer Culture and Ecology: Problems of Interaction. *Alternatives*. (4): 156-167. (In Russian)

Ivin A. A. (2006). Axiology. Moscow: Vysshaya Shkola, 2006. 390 p. (In Russian)

Karasik V. I. (2002). Language Circle: Personality, Concepts, Discourse. Volgograd: Peremena, 2002. 477 p. (In Russian)

Karasik V. I. (2024a). The Value Picture of the World as an Object of Axiological Linguistics. *Languages, Literatures and Cultures of the Peoples of Russia in Modern Academic Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (International Scientific Forum)*, dedicated to the 85th anniversary of the G. Ibrahimov Institute of Language, Literature and Art of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan. P. 183-188. (In Russian)

Karasik V. I. (2024b). Linguistic Tuning Forks of Meaning. Moscow: A.S. Pushkin State Institute of Russian Language, 2024. 416 p. (In Russian)

Klamer I. E. (2024). Conceptual Features of Constructing the Image of the Future in English-Language Fashion Discourse. *Actual Problems of Linguistics and Literary Studies: Proceedings of the XI (XXV) International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. 25: 206-212. (In Russian)

Lee D. (2004). Cognitive Linguistics: An Introduction. Oxford: *Oxford University Press*, 2004. 223 p.

Maslova V. A. (2011). Concepts and Values: Content of Notions, Linguistic Representation. *Scientific Notes of Tavrida National University V.I. Vernadskogo. Series: Philology. Social Communications.* 24-63(2-3): 383-387. (In Russian)

MEDAL – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners. Macmillan Education, 2007. 1776 p.

Niinimäki K. (2015). Ethical Foundations in Sustainable Fashion. *Textiles and Clothing Sustainability*. Springer Nature. P. 1-11.

OED – Oxford English Dictionary. Available at: <https://www.oed.com/?tl=true> (accessed 20 July 2025).

OLD – Oxford Learner’s Dictionaries (OLD). Available at: from <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/> (accessed 24 July 2025).

Sapozhnikova V. V. (2021). Eco-Friendliness as a Function of Fashion in the Society of Digital Transformations. *Knowledge. Understanding. Skill.* (1): 226-237. (In Russian)

Yagafarova L. T. (2014). Verbalization of the Concept Sphere “Fashion” in Contemporary Domestic Mass Literature (PhD diss., specialty 10.02.01 – Russian Language). Elets. 2014. 22 p. (In Russian)

Zafarmand S. Ja., Sugiyama K., Watanabe M. (2003). The Aesthetic Attributes Promoting Product Sustainability. *The Journal of Sustainable Product Design.* 3(3): 173-186.

ДИСКУРС, ДИСКУРСИВНЫЕ ПРАКТИКИ И ТЕКСТ: ВЕКТОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 81+791.43/45
DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_208

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СКАЗОЧНОГО КИНОДИСКУРСА НА ПРИМЕРЕ ЭКРАНИЗАЦИИ СКАЗКИ БРАТЬЕВ ГРИММ «DER TEUFEL MIT DEN DREI GOLDENEN HAAREN»

Анна Леонидовна Шадрина,
orcid.org/0000-0001-9348-788X,
независимый исследователь
ana.sh4drina@yandex.ru

Аннотация. Сказка видоизменяется в ходе культурной эволюции и технологического прогресса, приспосабливается к новым реалиям за счёт проникновения во многие современные дискурсы. В результате образуется новый (гибридный) дискурс, который характеризуется определенными лингвостилистическими и сюжетными особенностями. В данной статье нами предпринята попытка анализа одного из подобных гибридных дискурсов – сказочного кинодискурса. Принимая во внимание, что основным репрезентантом сказочного кинодискурса является экранизация волшебной народной сказки, анализ проводится посредством изучения лексико-семантических и стилистических особенностей её кинодиалога (верbalного компонента). В ходе анализа установлено, за счет чего создаётся взаимосвязь киноварианта сказки и ее литературной основы, что влияет на сохранение основного конфликта, базовых ценностей и характеристик классической сказки в кинотексте, а также чем может быть вызвано творческое развитие оригинала. Кроме того, выявлены некоторые способы создания комического эффекта в сказочном кинодискурсе.

Ключевые слова: дискурс, дискурс-анализ, сказочный кинодискурс, кинотекст, кинодиалог, экранизация, немецкие народные сказки, сказки братьев Гrimm.

LINGUISTIC FEATURES OF FAIRY TALE FILM DISCOURSE ON THE EXAMPLE OF GRIMMS' FAIRY TALE «DER TEUFEL MIT DEN DREI GOLDENEN HAAREN»

Anna L. Shadrina,
orcid.org/0000-0001-9348-788X,
independent researcher
ana.sh4drina@yandex.ru

Abstract. Fairy tale is constantly changing during cultural evolution and technological progress adapting to the new realities through embracing many modern discourses. As a result, a new (hybrid) discourse is being formed, characterized by certain style and plot features. In this article, we make an attempt to analyze one of these hybrid discourses: namely fairy tale film discourse. Taking into account that the main representative of the fairy tale film discourse is a screen adaptation of a magical folktale, the analysis is carried out by studying lexical, semantic and stylistic features of its film dialogue (verbal component). The analysis reveals factors that can influence the relationship between the film version of the fairy tale and its literary basis. The

preservation of the main conflict, basic values and main characteristics of the classic fairy tale in the film text as well as the creative development of the original are elucidated. Additionally, some ways of creating a comic effect in fairy tale film discourse are highlighted.

Keywords: discourse, discourse analysis, fairy tale film discourse, film text, film dialogue, screen adaptation, German folktales, Grimms' fairy tales.

Введение (Introduction)

Сказка, словно живой организм, постоянно трансформируется с течением времени и чутко реагирует на любые общественные изменения, отражая ценностные ориентиры новых поколений и обладая при этом огромным влиянием на человеческое сознание, что не может не требовать пристального внимания исследователей в любое время.

На современном этапе эволюции сказка взаимодействует с разными медиасферами, институтами культуры и т. п. Исходя из этого, по нашему мнению, можно выделять музыкальный, театральный, виртуальный и пр. виды сказочных дискурсов. В рамках данного исследования мы сконцентрировали свое внимание на изучении сказки в сфере кино, на сказочном кинодискурсе и кинотексте, т. к. считаем, что фильмы-сказки являются одной из важнейших составляющих современной культуры, индустрии развлечений, интерес к которой только увеличивается.

Немецкие народные волшебные сказки и их киноадаптации, которые являются одним из репрезентантов сказочного кинодискурса Германии, кинодиалог этих адаптаций являются объектом нашего исследования. Кинодиалог (верbalный компонент) сказочных экранизаций будет проанализирован нами на предмет выявления его основных лингвостилистических признаков и содержательных особенностей.

Актуальность выбранной темы и объекта изучения объясняется популярностью сказочного кино во все времена, богатой многолетней традицией создания подобных фильмов в Германии и многих других странах (ср.: список киносказок Франции, Италии, СССР, США), а также малой изученностью и недостаточным описанием сказочного кинодискурса, кинотекста и кинодиалога в отечественном и зарубежном языкоznании.

Ученые занимаются изучением фильмов-сказок и сказочных экранизаций преимущественно с позиции искусствоведения и киноведения [Горбунова, 2012; Князюк и др., 2022; Сальникова, 2021; Спутницкая, 2019; Спутницкая, 2020; Zipes, 2011; Zipes, 2019], нами также были отмечены работы в области психологии [Кузнецова, 2016], литературоведения и фольклористики [Строганов, 2022], интерсемиотического перевода [Щюрик и др., 2019]. При этом обращает на себя внимание отсутствие исследований, которые были бы направлены на изучение сказочного кинодискурса в целом, на сравнение экранизаций народных волшебных сказок как кинотекста в диахроническом и синхроническом аспекте с позиции лингвистической науки.

Данная работа – попытка инициировать комплексное описание лингвистической составляющей и особенностей языковой реализации сказочного кинодискурса посредством анализа экранизаций волшебных

сказок как его репрезентанта. Кроме того, это первая попытка представить такое явление лингвокультуры, как сказочный кинодискурс, в качестве самостоятельного объекта дискурсивных исследований ввиду его особого положения в ряду смежных понятий.

Материалы и методы (Materials and methods)

В ходе написания статьи нами были использованы описательно-аналитический метод с его основными приемами обобщения, дискурсивный анализ в совокупности с элементами интерпретативного и контекстуального анализа, метод сплошной выборки языкового материала, метод сопоставительного и трансформационного анализа при сравнении текста оригинала с кинодиалогом.

В качестве материала для анализа была выбрана сказка братьев Гримм «Der Teufel mit den drei goldenen Haaren» (Черт с тремя золотыми волосами – *здесь и далее перевод наш. – A.III.*) из сборника «Kinder- und Hausmärchen» (Детские и семейные сказки), а также её немецкоязычная экранизация. Предпочтение было отдано экранизации на языке оригинала, т. к. анализ лингвистической составляющей и стилистических особенностей произведений, переведенных на другой язык, а затем экранизированных на этом языке, представляется не совсем корректным ввиду того, что во время перевода текст уже претерпевает изменения.

Дискуссия (Discussion)

Понятие дискурса, будучи объектом исследования множества теоретических дисциплин, является сложным и многогранным явлением, которое пока не получило в науке общепризнанного определения.

В работе мы придерживаемся подхода Красных В. В. к дефиниции дискурса: «дискурс есть вербализованная речемыслительная деятельность, понимаемая как совокупность процесса и результата и обладающая как собственно лингвистическим, так и экстравербальным планами» [Красных, 2001, с. 200]. При этом дискурс в качестве результата представляет собой совокупность текстов, порожденных в процессе коммуникации, а в качестве процесса – вербализуемую («здесь и сейчас») речемыслительную деятельность.

Говоря о дискурсивном анализе, стоит признать, что он также имеет довольно неоднозначные и зачастую субъективные трактовки, однако, опираясь на авторитетные научные труды отечественных и зарубежных исследователей, мы отмечаем важность анализа лингвистической составляющей дискурса, детальное изучение которой позволит выйти на общий дискурсивный уровень.

Ввиду того, что объектом нашего изучения являются кинофильмы, дальнейшую разработку темы мы будем проводить в терминах кинодискурс – кинотекст – кинодиалог.

Кинодискурс понимается отечественными исследователями как «процесс воспроизведения и восприятия фильма, смысл которого

складывается при взаимном влиянии нескольких семиотических систем» [Колодина, 2013, с. 332]. Данное понятие является более широким, чем «кинотекст».

Кинотекст, в свою очередь, является разновидностью текста в семиотическом понимании, состав которого образован двумя знаковыми системами – лингвистической и нелингвистической, находящимися в неразрывном единстве. Наиболее полным и содержательным нам представляется определение кинотекста, которое было дано Г. Г. Слышкиным и М. А. Ефремовой. Ученые предлагают понимать данный феномен как «связное, цельное и завершенное сообщение, выраженное при помощи вербальных (лингвистических) и невербальных (иконических и /или индексальных) знаков, организованное в соответствии с замыслом коллективного функционально дифференцированного автора при помощи кинематографических кодов, зафиксированное на материальном носителе и предназначенное для воспроизведения на экране и аудиовизуального восприятия зрителями» [Слышкин и др., 2004, с. 60].

Кинотексты разных кинематографических направлений (художественные, документальные, научные) отличаются своим семиотическим составом, а также лингвистическим компонентом в зависимости от того, к какому функциональному стилю языка принадлежит последний. Лингвистический компонент фильма обозначается в российской науке термином кинодиалог [Горшкова, 2006].

Экранизацию как один из видов кинотекста многие современные ученые включают в ряд вторичных текстов, в связи с чем к её характерным особенностям следует относить сохранение основного содержания и воспроизведение важнейших особенностей первоисточника, а также расширение и преобразование его формы. Таким первоисточником, текстом-основой для экранизации как вторичного текста становятся преимущественно прецедентные тексты, представляющие некоторую ценность для того или иного лингвокультурного сообщества, в нашем случае – сказки. Н. В. Петрова относит сказку как к прецедентным, так и к первичным текстам (прототекстам), на основе которых создаются новые, вторичные, произведения [Петрова, 2012].

В науке существует разделение классических сказок по принципу авторства на литературную и народную (фольклорную). Основными стилистическими чертами немецкой народной сказки, в частности, являются простой, диалектально окрашенный язык повествования, устоявшиеся формулы зачина и концовки, повторяющиеся рифмованные четверостишия, тенденция к употреблению архаизмов и т. д. К её особенностям как типа текста относятся неопределенное время и место действия, символика чисел, категоричность и пр. [Geister, 2010]. Образцом немецкой народной сказки считаются сборники братьев Гримм.

В ходе обзора теоретического материала с целью исследовать природу сказочного кинодискурса нами было зафиксировано выделение некоторыми учеными дискурсивной гибридизации, которая представляет собой «сочетание

двух и более видов дискурса, один из которых является дискурсом-основой, а другие – дискурсами-дополнениями. Дискурс-основа определяет содержание дискурса, а дискурс-дополнение – его форму» [Наумова, 2022, с. 5]. Солопова О. А. и Наумова К. А. полагают, что «взаимопроникновение и интеграция характеристик тех или иных типов дискурса порождает качественно новый формат дискурса, не сводимый к сумме его составляющих» [Солопова и др., 2018, с. 16].

Приведенные выше теоретические выводы кажутся нам убедительными и перспективными в области исследования типологии дискурса, поэтому мы предлагаем включать сказочный кинодискурс в ряд гибридных дискурсов ввиду интеграции конститутивных признаков сказочного и кинодискурса в его основе. К таким конститутивным признакам можно отнести, на наш взгляд, все основные признаки кинотекста и кинодискурса, а также особенности народных сказок, которые были названы выше.

По словам Т. Н. Астафуровой и Н. А. Акименко, количественная и качественная вариативность конститутивных признаков сказочного дискурса позволяет выделять его ядерные и периферийные жанры, к которым исследователь относит: 1) все жанровые разновидности сказки; 2) легенды, былины и их варианты [Астафурова и др., 2016, с. 102]. По аналогии мы также выделяем ядерные и периферийные жанры сказочного кинодискурса, где прототипом (ядерным представителем) можно считать все жанры сказочного кино, в которых сохраняются основные признаки народных сказок, а также все принципы категории сказочности (например, к таким жанрам можно отнести экранизацию народной волшебной сказки). Периферию же составляют фильмы-сказки по сюжетам авторских (литературных) сказок, сказочные фильмы-пародии, фильмы жанра романтическая комедия/ мелодрама, созданные по мотивам сказок (со значительным изменением их содержания), сказочные мюзиклы и пр. Принадлежность того или иного вида сказочного фильма к центру/ периферии сказочного кинодискурса зависит от того, какие базовые признаки сказочного и кинодискурса они сочетают в себе и в каком количестве.

Как уже было отмечено нами ранее, сказочный кинодискурс пользуется сегодня особой популярностью, однако является малоизученным в лингвистике. В то же время комплексное его описание требует более объемного исследования, чем того позволяет размер научной статьи, поэтому на данный момент мы сделаем только первый шаг к его изучению посредством анализа лингвистического плана одного из ядерных репрезентантов данного вида дискурса – экранизации волшебной сказки (на материале немецкого языка).

Результаты (Results)

Сказочная экранизация характеризуется своей вторичностью по отношению к тексту-основе (волшебной народной сказке) и, исходя из этого, должна обладать следующими признаками: заимствование элементов прототекста (персонажей, ситуативного контекста, стилистических

элементов), определенная модификация его основы (изменение формальной и содержательной стороны, приобретение нового смысла и пр.). Данные характеристики экранизации как кинотекста обуславливают ее лингвистические, структурные, а также содержательные особенности и должны учитываться при анализе. В ходе работы также важно обращать внимание на способы апелляции (обращения) к прецедентным оригинальным текстам (например, употребление прецедентных имен, высказываний, крылатых слов, цитация).

Продемонстрируем процесс анализа кинодиалога на примере сказки *Der Teufel mit den drei goldenen Haaren*. Киносказка была выпущена в 2009 году немецкой телекомпанией ZDF в серии сказочных фильмов *Märchenperlen* (сказочные жемчужины). Фильм основан на одноименной сказке братьев Гrimm (29 номер в сказочном сборнике «Детские и семейные сказки»).

Тесная взаимосвязь сказки и её киноварианта показана благодаря идентичному названию, появляющемуся на 10й секунде начальных титров, а также за счёт указания на экране литературной основы сценария: *Drehbuch nach dem Märchen der Gebrüder Grimm* (сценарий на основе сказки братьев Grimm).

Стиль, в котором выполнены начальные титры киноверсии, также помогает реципиенту идентифицировать сказку в данном кинотексте: золотой шрифт, курсив, своеобразная, немного выпуклая, форма букв – всё это отсылает зрителя к детским книгам сказок.

Большая часть сказочного повествования оригинала передана в киноварианте при помощи неверbalных (аудиовизуальных) знаков. Порой сказочный кинотекст также может конструировать совершенно иную логику повествования, меняется состав действующих лиц, однако, несмотря на это, связь с оригиналом все равно присутствует за счет сохранения основных мотивов и концептов, которые переданы в кинотексте в том числе и благодаря использованию определенной лексики (входящей в один семантический ряд с соответствующей лексикой оригинала, отсылающей к тем или иным мотивам).

Данное положение можно проследить на примере завязки в кинотексте «*Der Teufel mit den drei goldenen Haaren*». Основными сюжетными элементами завязки в оригинале можно считать *Kind mit einer Glückshaut* (ребенок, родившийся в рубашке) und *Weissagung* (пророчество). Несмотря на значительную смену сюжета, использование лексики, которая несет в себе семантику волшебного/пророческого/потустороннего (*die Hexe, die Weissagung, die Zukunft kennen, der Teufel* и т. д.), помогает сохранить основные сюжетно-мотивные единицы прототекста в кинотексте. Это, в свою очередь, способствует узнаванию сказки во вторичном тексте, сохранению основного конфликта, базовых ценностей и антиценностей, «хранящихся» в оригинале.

При этом данная «волшебная» лексика также используется в бытовом контексте, в контексте обычной жизни, т. е. не воспринимается как нечто невероятное или выходящее из ряда вон. Главный герой совершенно спокойно приходит к черту домой, общается с его бабушкой, возвращается обратно и ни

у кого не возникает вопросов, что указывает на сохранение в киноварианте такой характеристики классической сказки, как *Eindimensionalität* или одномерность (существование в сказке только одного измерения). Данный признак, как писал швейцарский литературовед М. Лютти, выражается в отсутствии различия между земным и потусторонним миром, между реальностью и чудом [Lüthi, 2005].

Отличительной чертой всех киносказок является юмор – обычно в классической народной сказке он не присутствует, для киноверсии же юмор обязателен. Ироничные диалоги, появление новых персонажей, которые отвечают за комедийную составляющую – все это характерная черта сказочного кинодискурса и прослеживается во всех современных фильмах-сказках.

К примеру, в данной киноверсии появляется герой, изначально отсутствующий в оригинале – это принц Виллибальд (Willibald). Имя Willibald соединяет в себе древневерхненемецкие корни *willo* (Wille – воля) и *bald* (kühn, stark – сильный, смелый) [DFD, s.a.]. В то же время сам Виллибальд, имея такое «сильное», «мужественное» имя, довольно изнежен и капризен, он несамостоятелен (его кормят слуги), постоянно жалуется на обстоятельства и неудобства, например, на поездку в карете «*Nimmt diese grässliche Kutschfahrt denn gar kein Ende?*» (Придёт ли конец этой отвратительной поездке?). Несмотря на то, что основной комизм заключается в поведении героя, во внешних обстоятельствах, комичным является также повтор данной фразы на протяжении всего фильма в разных ситуациях, где принцу вновь приходится столкнуться с подобной «опасностью» («*Schon wieder die Fahrt in dieser grässlichen Kutsche?*» и т. д.).

Еще одним наглядным примером использования средств юмора и сатиры может послужить одна из сюжетообразующих сцен в анализируемом нами кинотексте: диалог главного героя и королевы, которая по ошибке приняла его за августейшую особу.

- *Seid mir willkommen, Prinz... Wie war gleich Euer Name?* (Добро пожаловать, Принц... Как, Вы сказали, Ваше имя?)
- *Hans.* (Ганс.)
- *Prinz Hans von ...?* (Принц Ганс фон ...?)
- *Ich heiße Hans. Ohne Prinz.* (Меня зовут Ганс. Без принц.)
- *Prinz Hans von Ohneprinz. Wie nennt sich das Reich Eures Vaters?* (Принц Ганс фон Безпринц. Как называется королевство Вашего отца?)
- *Das Reich meines Vaters nennt sich die beste Mühle im Land.* (Королевство моего отца зовется Лучшей мельницей в стране (проговаривает быстро и неразборчиво)).
- *Müllland?* (Мусорная страна?)

Комическая часть здесь построена на каламбурах, которые возникают вследствие недопонимания и похожего звучания слов (*Mühle im Land* – *Müllland*, *ohne Prinz* – *Prinz Hans von Ohneprinz*), автор использует данный языковой прием, чтобы развлечь зрителя, не позволить ему заскучать в процессе повествования, привлечь внимание.

Кроме того, юмор помогает раскрыть персонажей, придать их образам необходимый кинотексту «объём». Особенно это касается второстепенных персонажей, роль которых в оригинале сказки ограничивается простым упоминанием. Возьмем, к примеру, шайку разбойников: их лексикон в кинотексте сочетает в себе ругательства, грубые и вульгарные выражения (Hurensohn, Pissnelke, Drecksack, Furz drauf, Großmaul, Hosenscheißer, am Galgen baumeln, j-n am Schlafittchen haben и пр.).

Кроме того, часть данной лексики была употребительна еще в 16-17 века, а что-то получило распространение только в середине 20 столетия. Таким образом создается исторический колорит, характерный для классической народной сказки, и в то же время эмоции выражаются доступным современному человеку способом, что позволяет в определенной мере идентифицировать себя с героями, проживать похожие эмоции, т. е. больше включаться в происходящее на экране.

Заключение (Conclusions)

Анализ кинодиалога данной экranизации показал, что принципы построения вторичных текстов (сохранение основного содержания, воспроизведение важнейших особенностей стиля и типа текста «сказка», а также творческое развитие оригинала) были соблюдены.

Своеобразие первоисточника текстотипа «сказка» передано благодаря сохранению неопределенных пространственно-временных отношений, присущих классической сказке, напряженному сюжету, а также такой категории как одномерность (соединение в одном тексте волшебных элементов и обыденных тем).

Вследствие большого объема кинотекста наблюдается частичная переработка, расширение исходной формы сказки, детализация содержания (увеличение числа сюжетных линий и реплик действующих лиц, введение новых персонажей и т. д.). Кроме того, творческое развитие оригинала наблюдается в употреблении сленга, разговорных и грубых выражений в одном контексте с возвышенной лексикой, историзмами, в использовании приемов комического, средств юмора и сатиры.

Выделенные в ходе работы особенности, характерные для сказочных кинотекстов подобного типа, позволяют нам в дальнейшем выйти на уровень сказочного кинодискурса и приступить к исследованию когнитивных процессов, лежащих в его основе.

Библиографический список

Астафурова Т. Н. Англосаксонский сказочный дискурс / Т. Н. Астафурова, Н. А. Акименко // Дискурс-Пи. 2016. № 2 (23). С. 102-104. EDN WCNQDX.

Горбунова Е. Ю. Киноверсии сказок Л. Кэрролла («Алиса в стране чудес» и «Алиса в зазеркалье») // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 1 (2). С. 40-43. EDN PHRQVX.

Горшкова В. Е. Перевод в кино. Иркутск: Иркутский государственный лингвистический университет, 2006. 277 с. EDN RUFWTL.

Князюк О. В. Конструирование идентичности в детском кинематографе: опыт кино СССР и практика современной России / О. В. Князюк, В. В. Сенникова // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2022. № 46. С. 53-72. DOI 10.17223/22220836/46/5 EDN PDNTWA.

Колодина Е. А. Статус кинодиалога в ряду соположенных понятий: кинодиалог, кинотекст, кинодискурс // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 2 (1). С. 327-333. EDN QBGHMR.

Красных В. В. Основы психолингвистики и теории коммуникации: курс лекций. М.: ИТДГК «Гнозис», 2001. 270 с.

Кузнецова О. Е. Особенности восприятия современных фильмов-сказок взрослой аудиторией // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2016. № 4. С. 96-100. EDN YFMKVR.

Наумова К. А. Специфика гибридных видов дискурса (на примере военно-политического и военно-публицистического дискурсов): специальность 10.02.19 "Теория языка": дис. ... канд. фил. наук / Наумова Ксения Андреевна. Челябинск, 2022. 233 с. EDN UJKNYE.

Петрова Н. В. Интерпретация и модификация сказок // Вестник ИГЛУ. 2012. № 2 (18). С. 187-193. EDN QJHGNX.

Сальникова Е. В. Первая экранизация «приключений Алисы в стране чудес» (Alice in Wonderland, 1903) // Наука телевидения. 2021. № 17 (1). С. 75-97 DOI 10.30628/1994-9529-2021-17.1-75-98 EDN ANGNYR.

Слышик Г. Г. Кинотекст (опыт лингвокультурологического анализа) / Г. Г. Слышик, М. А. Ефремова. М.: Водолей Publishing, 2004. 153 с. EDN WDDADN.

Солопова О. А. Гибридные форматы дискурса: проблемы классификации / О. А. Солопова, К. А. Наумова // Филологический класс. 2018. № 4 (54). С. 15-21. DOI 10.26710/fk18-04-02. EDN YUNVRJ

Спутницкая Н. Ю. Некоторые модификации фольклорной сказки в кино: опыт теоретического исследования // Телекинет. 2019. № 3 (8). С. 14-19. EDN WZYPQD.

Спутницкая Н. Ю. Образы врага в фильмах-сказках и анимации СССР в годы Второй мировой войны // Международный журнал исследований культуры. 2020. № 4 (41). С. 94-110. DOI 10.52173/2079-1100_2020_4_94. EDN EBKFVZ.

Строганов М. В. Мультипликационная история Колобка. 1936-2020 годы // Театр. Живопись. Кино. Музыка. 2022. № 1. С. 131-155. DOI 10.35852/2588-0144-2022-1-131-155. EDN JLCIJK.

Щурик Н. В. Волшебные сказки в свете интерсемиотического перевода / Н. В. Щурик, В. Е. Горшкова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Лингвистика. 2019. Т. 23. № 2. С. 415-434. DOI 10.22363/2312-9182-2019-23-2-415-434. EDN OPHBBR.

DFD – The Digital Dictionary of Surnames in Germany // [Электронный ресурс]. – URL: https://www.namenforschung.net/dfd/dictionary/list/?L=1&tx_dfd_names%5Bname%5D=21523&tx_dfd_names%5Baction%5D=show&tx_dfd_names%5Bcontroller%5D=Names&cHash=80ed06beac4fe829e57dce7b50a0813 (дата обращения: 27.06.2025).

Geister O. Kleine Pädagogik des Märchens. Schneider Verlag Hohengehren GmbH, 2010. 128 p.

Lüthi M. Das europäische Volksmärchen. A. Francke, 2005. 127 p.

Zipes J. Speaking the Truth with Folk and Fairy Tales: The Power of the Powerless // Journal of American Folklore. 2019. № 132 (525). P. 243-259.

Zipes J. The Meaning of Fairy Tale within the Evolution of Culture // Marvels & Tales. 2011. № 25 (2). P. 221-243.

References

Astafurova T. N., Akimenko N. A. (2016). Anglo-saxon fairy tale discourse. *Discourse-P.* 2(23): 102-104. (In Russian).

DFD – The Digital Dictionary of Surnames in Germany. Available at: https://www.namenforschung.net/dfd/dictionary/list/?L=1&tx_dfd_names%5Bname%5D=21523

&tx_dfd_names%5Baction%5D=show&tx_dfd_names%5Bcontroller%5D=Names&cHash=80ed06ebeac4fe829e57dce7b50a0813 (accessed 27 June 2025).

Geister O. (2010). Kleine Pädagogik des Märchens. Schneider Verlag Hohengehren GmbH, 2010. 128 p.

Gorbunova E. Yu. (2012). Film versions of fairy-tales by L. Carroll ("Alice's adventures in wonderland" and "Through the looking-glass, and what Alice found there"). *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 1(2): 40-43. (In Russian).

Gorshkova V. E. (2006). Film translation. Irkutsk: Irkutsk State Linguistic University, 2006. 277 p. (In Russian).

Kniaziuk O. V., Sennikova V. V. (2022). Identity construction in children's cinema: the experience of cinema in the Ussr and the practice of modern Russia. *Tomsk State University journal of cultural studies and art history*. 46: 53-72. (In Russian).

Kolodina E. A. (2013). The status of film dialogue among the related concepts: film dialogue, film text, film discourse. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2(1): 327-333. (In Russian).

Krasnyh V. V. (2001). The basics of psycholinguistics and communication theory: A Course of Lectures. Moscow: Gnosis, 2001. 270 p. (In Russian).

Kuznetsova O. E. (2016). Features of perception of modern fairytale films by an adult audience. *Vestnik of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics*. 4: 96-100. (In Russian).

Lüthi M. (2005). Das europäische Volksmärchen. A. Francke, 2005. 127 p.

Naumova K. A. (2022). The specifics of hybrid types of discourse (based on the example of military-political and military-journalistic discourses): diss. ...cand. philol. sciences. 10.02.19. Chelyabinsk. 2022. 233 p. (In Russian).

Petrova N. V. (2012). Interpretation and modification of fairy tales. *Vestnik of Irkutsk State University*. 2(18): 187-193. (In Russian).

Salnikova E. V. (2021). The first screening of Alice in Wonderland (1903). *The art and science of television*. 17(1): 75-97. (In Russian).

Shchurik N. V., Gorshkova V. E. (2019). Magic folk tales in intersemiotic translation. *Russian Journal of Linguistics*. 23(2): 415-434. (In Russian).

Slushkin G. G., Efremova M. A. (2004). Kinotext (experience of linguistic and cultural analysis). Moscow: Aquarius Publishers, 2004. 153 p. (In Russian).

Solopova O. A., Naumova K. A. (2018). Hybrid discourse formats: classification issues. *Philological class*. 4(54): 15-21. (In Russian).

Sputnitskaya N. Yu. (2020). Images of enemy in the fairy-tale films and animation of the Ussr during the World War II. *International journal of cultural research*. 4(41): 94-110. (In Russian).

Sputnitskaya N. Yu. (2019). Some modifications of folklore fairy tale in cinema: experience of theoretical research. *Telekinet*. 3(8): 14-19. (In Russian).

Stroganov M. V. (2022). Animated story of Kolobok. 1936-2020. *Theatre. Fine arts. Cinema. Music*. 1: 131-155. (In Russian).

Zipes J. (2011). The Meaning of Fairy Tale within the Evolution of Culture. *Marvels & Tales*. 25(2): 221-243.

Zipes J. (2019). Speaking the Truth with Folk and Fairy Tales: The Power of the Powerless. *Journal of American Folklore*. 132(525): 243-259.

УДК 82-312.6

ББК 84.06

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_218

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГЕРОЕВ И СОЦИАЛЬНОЕ РАССЛОЕНИЕ В РОМАНЕ «МУНГЛИ КУЗЛАР» («ГРУСТНЫЕ ГЛАЗА») ХУДАЙБЕРДЫ ТУХТАБАЕВА

Дилноза Дишиод кизи Сайфуллаева,
orcid.org/0009-0007-5519-629X,

Университет мировой экономики и дипломатии
при Министерстве иностранных дел Республики Узбекистан,
проспект Мустакиллик, 54
Ташкент, 100192, Узбекистан
delmuradova@bk.ru

Аннотация. В данной статье анализируется роман «Мунгли кузлар» («Грустные глаза») узбекского писателя Худайберды Тухтабоева с акцентом на художественные и психологические приёмы, применённые для раскрытия внутреннего мира ребёнка. Исследование проводится в рамках психоаналитического и социально-психологического подходов, что позволяет глубже понять мотивацию персонажей, особенности их поведения, а также влияние внешней среды на формирование детского сознания. Автор романа, мастерски используя систему образов, символов и контрастов, раскрывает трагизм положения ребёнка в мире, где рушатся традиционные ценности, деградирует мораль общества, а институт семьи утрачивает свою опорную функцию.

Особое внимание уделяется процессу личностного становления главного героя в условиях эмоциональной изоляции, отсутствия родительской заботы и общей духовной опустошённости окружающего мира. Через призму детского восприятия обострённо проявляются социальные проблемы, что придаёт повествованию особую эмоциональную выразительность и силу воздействия на читателя. Роман Тухтабоева рассматривается как важное литературное свидетельство эпохи, отражающее болезненные трансформации общества и судьбы человека в условиях этих перемен.

Ключевые слова: образ, психоаналитика, психологическая эволюция, богатство, семейная трагедия, имущества, социальное неравенство.

PSYCHOLOGICAL EVOLUTION OF CHARACTERS AND SOCIAL STRATIFICATION IN THE NOVEL «MUNGLI KUZLAR» («SAD EYES») BY KHUDOYBERDY TUHTABOYEV

Dilnoza D. Sayfullaeva,
orcid.org/0009-0007-5519-629X,
University of World Economy and Diplomacy
of Ministry Foreign Affairs the Republic Uzbekistan,
54, Mustakillik avenue
Tashkent, 100192, Uzbekistan
delmuradova@bk.ru

Abstract. This article analyzes the novel “Mungli kuzlar” (“Sad Eyes”) by the Uzbek writer Khudoyberdi Tokhtaboyev, with a focus on the artistic and psychological techniques used to reveal the inner world of a child. The study is conducted within the frameworks of psychoanalytic and socio-psychological approaches, which allow for a deeper understanding of the characters’ motivations, behavioral patterns, and the influence of the external environment on the formation of a child’s consciousness. The author skillfully employs a system of imagery, symbolism, and contrasts to portray the tragic condition of a child in a world where traditional values are collapsing, moral standards are deteriorating, and the family institution is losing its foundational role.

Special attention is given to the protagonist's personal development in a context of emotional isolation, lack of parental care, and the overall spiritual desolation of the surrounding world. Through the lens of a child's perception, social problems become particularly acute, lending the narrative a powerful emotional impact. Tokhtaboyev's novel is viewed as an important literary testament of its era, reflecting the painful transformations of society and the fate of the individual amid these changes.

Key words: image, psychoanalysis, psychological evolution, wealth, family tragedy, property, social inequality.

Введение (Introduction)

Художественная литература служит средством глубокого познания внутреннего мира человека через изображение его душевных переживаний. В этом процессе психологизм выступает как важный эстетический принцип, раскрывающий внутренние противоречия личности посредством художественных образов. Психологизм в литературе – это аналитический подход, сочетающий в себе индивидуальный стиль автора и способы выражения психических состояний и переживаний героев [Rasulova, 2014, р. 30].

Вопросы психологизма в литературоведении были концептуально поставлены в XIX веке русским критиком Н. Г. Чернышевским. В сборнике «Избранные литературно-критические статьи» он глубоко рассматривал роль психологического анализа как средства художественного выражения. В современном узбекском литературном процессе, особенно в детской литературе, данное направление приобретает особую актуальность [Karimov B., 2016, р. 30].

Материалы и методы исследования (Materials and Methods)

При проведении исследования были использованы произведения А. Расулова «G‘aroyib saltanat» («Странное королевство») (2012), У. Норматова «Sarguzasht sardori» («Капитан приключений») (2012), а также монография Р. Тулабаевой «Xudoyberdi To‘xtaboyev romanlarida bola psixologizmi» («Психологизм образа ребёнка в романах Худойберди Тухтабоева») (2020). Основными методами исследования являлись психологический метод и биографический метод.

Результаты и обсуждение исследования (Results and Discussion)

В творчестве Худойберды Тухтабоева, в частности в романе «Грустные глаза», психологический подход получил глубокое и выразительное

художественное воплощение. Через образ главного героя Зафара автор раскрывает моральные проблемы общества, дефицит семейного воспитания и пагубные последствия стремления к богатству. В формировании Зафара подчёркивается влияние семейной среды, социального давления и искажённой системы ценностей [Tulaboeva, 2020, р. 200].

Анализ образа Зафара в романе позволяет глубже понять внутренние конфликты и психологическую эволюцию героя, опираясь на психоаналитические теории З. Фрейда и К. Г. Юнга. Зафар – не просто подросток, оказавшийся в водовороте приключений, а представитель сложного психотипа, столкнувшийся с внутренней борьбой, бессознательными желаниями, социальным давлением и духовными потрясениями [Tulaboeva, 2020, р. 300].

Согласно концепции структуры психики, разработанной Зигмундом Фрейдом, личность индивида организована в трёх взаимосвязанных и конфликтующих инстанциях: Ид (Оно), Эго (Я) и Суперэго (Сверх-Я). Эти компоненты составляют основу метапсихологической модели субъекта и обеспечивают аналитическую перспективу для интерпретации как индивидуального поведения, так и художественного персонажа. В рамках анализа внутренней динамики Зафара – персонажа, проходящего путь трансформации – структура фрейдистской триады позволяет глубоко осмыслить мотивации, моральный кризис и последующее становление его идентичности.

Ид: Импульсивная природа влечений

На первичном уровне развития Зафара доминирует инстанция Ид – область бессознательного, определяемая Фрейдом как хранилище «наследственных, врождённых, инстинктивных составляющих личности» [Фрейд, 1990, с. 7]. У Зафара это проявляется в форме гипертрофированного стремления к материальному и статусному: «жажды богатства», «импортной одежды», признания через внешние символы успеха (дорогие подарки, элитные связи). Эти желания – проявления влечений жизни (Эроса) – функционируют вне логики реальности и морали, как того требует природа Ид, подчинённого принципу удовольствия. Подобно тому, как Фрейд описывает Ид как «тёмное, недоступное, бурлящее поле первичных побуждений» [Фрейд, 1990, с. 25], ранний Зафар действует импульсивно, не осознавая последствий и не соотносясь с этическими нормами.

Эго: Конфронтация с реальностью и начальная деконструкция Я

Резкий перелом в нарративной линии Зафара наступает с разоблачением преступного прошлого его родителей и собственным тюремным заключением [Normatov, 2012, р. 150]. Эти события активизируют Эго – ту часть психики, которая функционирует в согласии с принципом реальности, осуществляя медиативную функцию между Ид и внешним миром. Эго, по Фрейду, «представляет собой ту часть Ид, модифицированную непосредственным воздействием внешнего мира» [Фрейд, 1990, с. 14]. Зафар, лишённый внешнего блеска, сталкивается с собственным «разоблачением»: его прежнее представление о себе как о «великом» оказывается иллюзорным. Начинается

болезненный процесс распада нарциссической идентичности. Этот опыт можно сопоставить с фрейдистской идеей «реальности как травмы», когда субъект вынужден пересмотреть фикции, питающие его ложное Я.

Суперэго: Формирование нравственного идеала и символическая смерть Ид

На последнем этапе личностной трансформации в психике Зафара активизируется Суперэго – инстанция морального суждения, носитель интериоризированных родительских и социальных норм. Фрейд определял Суперэго как «внутреннего наблюдателя», связанного с функцией вины и стыда [Фрейд, 1990, с. 33]. У Зафара данная структура разворачивается через идентификацию с его братом Акбаром – фигурай, символизирующей нравственную зрелость, честность и аскетическую стойкость. Акбар, в противоположность Зафару, действует не из желания признания, а из чувства внутреннего долга. Финальное высказывание Зафара: «Теперь я – ты. Я Акбар Каримов» приобретает психоаналитическую глубину как акт окончательной идентификации с моральным идеалом – интериоризации Суперэго. Это не просто внешняя декларация, но результат символической смерти прежнего Я, подчинённого Ид.

Аналитическая психология Карла Густава Юнга предлагает фундаментальный понятийный аппарат для анализа глубинных мотиваций литературных персонажей. Особую значимость в рамках этого подхода представляют архетипические структуры коллективного бессознательного, в частности – образы Тени и Самости.

Архетип Тени, по Юнгу, репрезентирует совокупность подавленных аспектов личности, не принимаемых сознанием и вытесняемых в бессознательное. Эти аспекты, как правило, противоположны доминирующему установкам Я и несут в себе как деструктивный, так и компенсаторный потенциал. В личности Зафара стремление к власти, доминированию и обогащению можно интерпретировать как проекцию его Тени, активированной в ответ на социальную и личную фрустрацию. Юнг подчёркивает: «Тень – это прежде всего бессознательное... она склонна к проекции: всё, что человек не желает признать в себе, он проецирует на других» [Yung, 2019, р. 8]. Однако в случае Зафара имеет место не вытеснение, а осознанная идентификация с теневыми аспектами, что создаёт амбивалентную, но потенциально продуктивную основу для дальнейшей личностной эволюции.

Движение героя к Самости – архетипическому центру и целостности психики – становится очевидным в finale произведения, где он делает моральный выбор, отказываясь от прежнего образа жизни. Согласно Юнгу, Самость представляет собой «центр личности, включающий сознание и бессознательное; она есть точка, в которой они интегрируются» [Yung, 2019, р. 14]. Это состояние возможно лишь через процесс индивидуации – последовательную интеграцию архетипических содержаний, прежде всего Тени. Таким образом, Зафар проходит путь от инфляции Я – чрезмерной

отождествлённости с персоной и эго-иллюзиями – к более целостному, этически осознанному субъекту.

Такое прочтение позволяет интерпретировать судьбу Зафара не только в рамках этической драмы, но и как архетипическое путешествие героя, аналогичное нисхождению в бессознательное – в духе юнгианской героической модели, основанной на конфронтации с Тенью и символическом воссоединении с Самостью. Эта трансформация выражает универсальный экзистенциальный паттерн, обнаруживаемый как в мифах, так и в индивидуальной психобиографии [Yung, 2019, р. 10].

В романе посредством душевных переживаний, внутренних монологов и диалогов главного героя Зафара мастерски изображается постепенное изменение его личностного и социального сознания – то есть его психологическая эволюция. Изначально Зафар предстает как хвастливый подросток, склонный к сравнительному мышлению, который оценивает себя выше своих сверстников, считая материальное превосходство главным жизненным ориентиром [Rasulov, 2008, р. 100]. Он размышляет следующим образом:

«Наш доход, по словам отца, иногда превышал десять тысяч сумов. Вы слышите? Я сказал – десять тысяч! Отец Илхома – водитель автобуса, получает не больше ста восемьдесят сумов... А у нас – десять тысяч! Думая об этом, я говорил себе: «Нет, вы всё равно не сможете быть выше нас...» До тюрьмы я носил только импортную одежду. Импорт делает человека более значительным, культурным...».

Этот фрагмент отражает мировоззрение Зафара и его представления о социальной стратификации и имущественном неравенстве. Он сравнивает семейный доход с доходами других, воспринимая материальное благополучие как маркер социального статуса. С точки зрения психологического анализа, подобное восприятие характерно для начальных этапов формирования социальной идентичности и самооценки.

Его убеждение в том, что «импортная одежда делает человека культурнее» – отражение влияния социальных стереотипов, основанных на внешнем облике. Здесь прослеживается связь между потребительской культурой, символическим капиталом и социальным статусом. Зафар ощущает свою принадлежность к более высокой социальной прослойке не только через богатство, но и через внешний имидж.

В контексте романа эти строки направлены на освещение проблемы социальной несправедливости. Социальное неравенство – это диспропорциональное распределение экономических, культурных, политических и других ресурсов между людьми. С социологической точки зрения оно выражается в существовании классовых различий, систем стратификации и социальной иерархии. Высказывания Зафара о «десятых тысячах» и «импортной одежде» представляют собой психологическое выражение этих процессов.

Через образ Зафара автор раскрывает проблему социальной несправедливости не только как внешнюю систему, но и как внутреннее,

психологически обусловленное явление, формирующееся в сознании человека. Постепенное осознание Зафаром социальных реалий через жизненные испытания отражает его личностный рост и трансформацию общественного сознания [Tulaboeva, 2020, р. 210].

Психологическая эволюция образа Зафара в романе отображается поэтапно.

1. Начальный этап – чувство превосходства и богатства

В начале романа Зафар гордится богатством своей семьи, считает себя выше сверстников. Его речь насыщена акцентами на финансовом превосходстве. На этом этапе Зафар воспринимает социальное неравенство как нечто, играющее ему на руку, и не испытывает потребности в духовном росте.

2. Этап кризиса – семейные трагедии и социальные удары

Отец оказывается в тюрьме, мать умирает, семейное имущество конфискуется. Зафар переживает тяжелые душевные потрясения, испытывает постоянное внутреннее давление. Он оказывается между двумя мирами: воспоминаниями о былом богатстве и нынешним унижением. Из-за утраты душевного равновесия он попадает в психиатрическую лечебницу.

3. Этап внутренней борьбы – сомнения и самоосознание

Зафар сталкивается с серьезной внутренней борьбой: между желанием отомстить и человечностью, совестью, честностью, которую олицетворяет его брат. На этом этапе он глубже осознаёт нравственные ценности, мучается угрызениями совести. Это – переломный момент в его духовно-нравственной трансформации.

4. Этап нового облика – перемена и обновление

В конце романа Зафар отказывается от прежнего образа жизни. В образе брата Акбара он видит символ честности и чистоты. Его внутренний монолог *«Теперь я – ты, Акбар Каримов»* говорит о полном отказе от старого «Зафара» и выборе нового пути – жизни, основанной на честном труде. Это выражение полной духовной трансформации и нравственного возрождения.

Эволюция Зафара – это не только внутренняя метаморфоза одного героя, но и обобщённое выражение социальных влияний, стремления к богатству и статусу, а также моральных страданий, возникающих в противостоянии с этическими ценностями. Через этот образ автор затрагивает актуальные темы: социальное неравенство, моральный упадок и ценность честности [Rasulov, 2009, р. 50].

Особенно ярко показано, как Зафар наслаждается возможностью унизить одноклассников с высоким уровнем знаний, используя своё богатство:

«Отличники в нашем классе были влюблены в свои знания, вели себя высокомерно и хвастались. Мне это совсем не нравилось, меня это раздражало, я чувствовал себя униженным. Гордость переполняла меня, и я не знал, куда себя деть. Когда мы отмечали дни рождения... я давал отпор этим несчастным отличникам. Один приносил книжку, другой – дешевый, вонючий одеколон за один сум двадцать тийн. А я дарил самый большой подарок. У всех глаза начинали блестеть. Мне первому давали

слово для поздравления и сажали рядом с именинником. Хозяева довольны, гости довольны. Ну а как же – хороший подарок всем приятен. Мама всегда говорила: «То, что ты дал – угодно Богу». И была права. Подарок смягчает любое сердце и пробуждает сострадание в душе» [То'хтабоев, 2010, р. 13].

Однако впоследствии горькие жизненные испытания заставляют Зафара осознать собственные ошибки, что приводит к формированию в романе образа трагического героя [Normatov, 2012, р. 140]. Зафар теряет обоих родителей одновременно: отец оказывается в тюрьме, а мать умирает от сердечного приступа. Этот момент отражает и биографические мотивы самого автора: герой, как и писатель, остаётся без родительской любви [Normatov, 2021].

Контрастный анализ образов Зафара и Акбара на основе их психологических состояний, нравственных позиций и социальных ценностей является важным художественным приёмом, раскрывающим основной идейный пласт романа «Грустные глаза». Через эти два образа автор выражает конфликт между общественным сознанием, моральными убеждениями и личностным выбором. Зафар и Акбар – носители противоположных мировоззрений, символы разных путей личностной эволюции.

Брат Зафара, Акбар, абсолютно иной – духовно сильный, любящий книги, терпеливый персонаж. Несмотря на свою инвалидность, он преподносится как эталон «психологического здоровья». Он символизирует моральное превосходство в обществе. Контрастное изображение Акбара и Зафара через противоположные качества усиливает идейную глубину произведения. Почти каждый их диалог построен на противопоставлении [Tulaboeva, 2020, р. 220].

1. Сравнительный анализ душевной уравновешенности и силы воли

Образ Зафара наполнен эмоциональной нестабильностью, импульсивностью и подростковой верой в то, что социальный статус доказывает личную значимость. В противоположность ему Акбар, несмотря на свою инвалидность, проявляет внутреннюю устойчивость, терпение, глубину мысли и способность контролировать эмоции. Его душевное здоровье проявляется в психологическом равновесии, аналитическом подходе к происходящему и способности сохранять самоконтроль.

В психологии существует понятие резильентности – способности быстро восстанавливаться после потрясений. Именно в образе Акбара эта черта находит наглядное выражение. Получив тяжёлую новость о заключении родителей, он не теряет самообладания, а, напротив, берёт себя в руки и утешает брата, становится для него духовной опорой и одновременно примером для читателя [Normatov, 1980, р. 25]. Даже услышав о заключении родителей, Акбар не паникует, а старается сохранить спокойствие и утешить младшего брата:

– Брат, может, позвоню на работу отцу? – мысль эта мне пришла в душе.

– Нет... ни в коем случае... Если милиция уже пришла, телефон может быть под контролем. «Надо терпеть», – сказал мой брат, наконец выплеснув наружу всю накопившуюся печаль. – Может, кто-нибудь ещё

придёт. Хотя я сомневаюсь... И мать, и отец – одновременно? Лучше подождём. Ещё попадём впросак, как жена того самого Аббосхона. Слышал ведь, да? [To‘xtaboyev, 2010, p. 21].

2. Различие в нравственных ценностях и моральных позициях

Зафар изначально признаёт жизненный путь, основанный на материальных ценностях. Для него богатство, одежда, социальный статус – это критерии превосходства. В противоположность ему, в образе Акбара доминируют нравственное сознание, критическое мышление и человеческая чистота. Он способен критически анализировать действия отца:

- *Ну вот, – сказал он, немного прия в себя.*
- *Что ты хотел сказать? – спросил я.*
- *Я о папе... О том, что он брал взятки, если ты понимаешь.*
- *Один мой отец, что ли? Все берут.*
- *Может, другие берут с совестью.*
- *Значит, по-твоему, мой папа бессовестный?*

– Зафарджон, братишка, ты многое ещё не понимаешь. Ты умный, но всё равно не понимаешь, – на мгновение брат замолчал, вздохнул и продолжил:

– Может быть, и правда папу арестовали. А может, всё это ложь. Может, это сделали специально, чтобы нас обмануть... Но, мой умный брат, подумай сам. В папиной работе было много грязного. Эта беда случилась бы рано или поздно. Может, сегодня это просто паника. Но завтра это может оказаться правдой [To‘xtaboyev, 2010, p. 21].

В этом диалоге Акбар предстает как персонаж, способный осмысленно, без эмоций анализировать действительность. Он стремится увидеть «суть», в то время как Зафар увлечён «видимостью». С этой точки зрения Акбар может быть проанализирован как эпистемологический образ (основанный на знании), а Зафар – как феноменологический (основанный на чувствах) [Sayfullayeva, 2022].

3. Контраст между осознанными и неосознанными действиями (согласно теории Фрейда)

В психоаналитической теории Фрейда Зафар – это личность, находящаяся в конфликте между Ид и Эго, в то время как Акбар символизирует Суперэго – внутренний моральный контроль и идеал. Акбар выступает в роли духовного наставника не только для Зафара, но и для читателя. Каждое его слово – урок совести и веры для сознания Зафара. В романе отчётливо выражены его духовная зрелость и способность понимать жизненные истины. Он признаёт существование «состояния отрицания» в душе человека, но не скрывает правды. Это позволяет интерпретировать его образ как образ внутреннего духовного учителя.

4. Контраст как литературный приём

Образы Акбара и Зафара построены на принципе антитезы и являются примером художественного контраста. Через этот приём автор углубляет идейное содержание произведения.

Акбар – это светлое сознание, нравственное превосходство, терпение, духовная сила;

Зафар – воплощение страстного Ид, сомнений и душевных кризисов.

Каждый их диалог помогает читателю глубже прочувствовать противоречие между ценностями и духовным ростом [Karimov, 2016].

Еще одной актуальной проблемой, поднятой в романе, является разрушение семейных ценностей и безразличие родителей к воспитанию детей. Автор разоблачает ложный стереотип, согласно которому богатство решает всё. Ставя материальное благополучие на первое место, родители отдаляются от любви, искренности и душевной близости, что приводит детей к душевной пустоте и нравственному кризису. В романе Якутхон и Сайдхон озабочены лишь накоплением богатства и внешним благополучием своих детей. Зафар, Зуфар и Нигора – дети, придающие значение внешности, опрятные и красивые, но духовно бедные [Normatov, 1980, р. 25].

В образе Нигоры, наряду с детской непосредственностью и эстетической восприимчивостью, отражается и формирующаяся система социально-материальных ценностей. Через этот персонаж Худайберды Тухтабоев поднимает важную социальную проблему – нравственное воспитание молодёжи, в частности, отношение к страсти и собственности. В следующем диалоге проявляются личные взгляды Нигоры, стремление защитить имущество и страсть к материальным благам:

– Мы не преступники, правда же, мамочка? Мебель переписали, не заберут же её? Мамочка, не отдавай её, ладно? Ты же купила арабскую мебель специально для меня... [To‘xtaboyev, 2010, р. 55].

В этих строках чётко прослеживается формирующийся инстинкт собственничества. Девочка, утверждая, что они не преступники, одновременно выражает тревогу за сохранность имущества, которое воспринимает как семейную собственность, принадлежащую лично ей. Здесь проявляется чувство собственности, зарождающееся в общественном сознании, и аффективное (эмоциональное) отношение к вещам [Tulaboeva, 2020, р. 100].

Согласно педагогическим и психологическим исследованиям, отношение к собственности у детей формируется под влиянием семьи и социальной среды. В частности, в работах В.С. Мухиной и Л.И. Божович, посвящённых детской психологии, отмечается, что чрезмерная привязанность к материальному у детей – это ранняя форма алчности, которая часто отражает оценки и установки взрослых. Фраза Нигоры «Ты же купила арабскую мебель для меня... все так хвалили...» может быть интерпретирована как усвоение ею взрослой оценки.

Кроме того, её реплика «Разве половина украшений не моя, ты же ведь говорила?» свидетельствует о формирующемся в подсознании праве на обладание имуществом. Она рано начинает осмысливать такие понятия, как наследство, собственность и право владения. Это явление связано с процессом усвоения социальной и экономической иерархии детьми в современном обществе.

Проблема нафса (низменные желания) в данном контексте приобретает особое значение.

В исламской этике нафс трактуется как сила, побуждающая человека к злу, чрезмерным желаниям, в особенности – к стремлению к мирским благам. Сильная привязанность Нигоры к мебели и украшениям является типичным проявлением подобного состояния нафса. Через это автор побуждает читателя задуматься о сложных противоречиях между социальной несправедливостью, материальными богатствами и нравственными ценностями.

В образе Нигоры переплетаются детское наивное восприятие и зарождающиеся страсти, связанные с нафсом. Автор с большой художественной тонкостью раскрывает через этот образ не только психологический портрет одной девочки, но и влияние морального упадка в обществе на детское сознание [Rasulov, 2002, p. 20].

Заключение (Conclusions)

Таким образом, в романе «Грустные глаза» посредством приёмов психологии – внутреннего монолога, эмоционального описания, диалогов и психологии образов – раскрываются изменения, происходящие в сознании детей. Произведение служит важным инструментом не только для детской литературы, но и для освещения существующих социальных и моральных проблем в обществе [Rasulova, 2023, p. 50].

Роман Худайберды Тухтабаева «Грустные глаза» является ярким примером психологического подхода в современной детской литературе. В нём в художественной форме отражены детская психология, влияние социальной среды и личностные трансформации. Произведение представляет собой значимый литературный источник для создания интеллектуальных героев, нравственного воспитания читателя и выявления общественных проблем.

Библиографический список

Фрейд З. Я и Оно / Зигмунд Фрейд; пер. с нем. В.Ф. Полянского. — Москва : МЕТТЭМ, 1990. — 54 с.

Karimov B. Ruhiyat alifbosi. Toshkent: G‘afur G‘ulom nomidagi NMIU, 2016. pp. 25-40.

Karimov N. Bolalar adabiyotining kecha va buguni // Til va adabiyot ta’limi, 2016. № 5. С. 10-12.

Normatov U. “U bolalarning sirdoshi, chin do‘sti edi”. Adabiyotshunos Umarali Normatov — do‘sti Xudoyberdi To‘xtaboyev haqida. 2021. Available at: <https://daryo.uz/2021/04/05/u-bolalarning-sirdoshi-chin-dosti-edi-adabiyotshunos-umarali-normatov-dosti-xudoyberdi-toxtaboyev-haqida> (accessed 4 April 2025).

Normatov U. Sarguzasht sardori. Toshkent: Adib, 2012. 210 p.

Normatov U. Talant tarbiyasi. Toshkent: Yosh gvardiya, 1980. pp. 25.

Rasulov A. A. G‘aroyib saltanat. Toshkent, Adib, 2008. 140 p.

Rasulov A. Hozirgi o‘zbek tanqidchilida tahlil va talqin muammosi. Toshkent, 2002. 20 p.

Rasulov A. Betakror o‘zlik. Toshkent: Mumtoz so‘z, 2009. pp. 70.

Rasulova U. Hozirgi adabiy jarayon. Toshkent: Akademnashr, 2023. pp. 50.

Rasulova U. Hozirgi adabiy jarayon: badiiy nasr poetikasida ritm. Toshkent: Mumtoz so‘z, 2014. 40 p.

Sayfullayeva D. Xudoyberdi To‘xtaboyevning “Mungli ko‘zlar” asari haqida mungli satrlar // International scientific journal «Science and innovation». 2022. Series B. Vol. 1, Issue 8. pp. 2265-2267. DOI 10.5281/zenodo.7445242

To‘xtaboyev X. Mungli ko‘zlar. Toshkent: Yangi asr avlodi, 2010. 310 p.

Tulaboeva R. Xudoyberdi To‘xtaboev romanlarida badiiy psixologizm. Toshkent: Nurafshon business, 2020. 320 p.

Yung K. The Archetypes and the Collective Unconscious. Litres, 2019. pp. 7-15.

References

Freyd, Z. (1990). *The Ego and the Id [Ya i Ono]*. MPO "METTEM", pp. 7–50. (In Russian)

Karimov, B. (2016). *Alphabet of the soul*. Tashkent, pp. 25–40. (In Uzbek)

Karimov, N. (2016). *Children's literature yesterday and today. Journal of Language and Literature Education*, (5). pp. 10-12. (In Uzbek)

Normatov, U. (1980). *Talent education*. Tashkent: Yosh gvardiya, pp. 25. (In Uzbek)

Normatov, U. (2012). *Adventure Captain*. Tashkent: Adib, 210 p. (In Uzbek)

Normatov, U. (2021). “U bolalarning sirdoshi, chin do‘sti edi”: Adabiyotshunos Umarali Normatov — do‘sti Xudoyberdi To‘xtaboyev haqida. Available at: <https://daryo.uz/2021/04/05/u-bolalarning-sirdoshi-chin-dosti-edi-adabiyotshunos-umarali-normatov-dosti-xudoyberdi-toxtaboyev-haqida> (accessed 4 April 2025). (In Uzbek)

Rasulov, A. (2002). *The problem of analysis and interpretation in contemporary*. Tashkent, 20 p. (In Uzbek)

Rasulov, A. (2009). *Unique identity*. Tashkent: Mumtoz so‘z, pp. 70. (In Uzbek)

Rasulov, A. A. (2008). *Strange kingdom*. Tashkent: Adib, 140 p. (In Uzbek)

Rasulova, U. (2014). *The current literary process: Rhythm in the poetics of literary prose*. Tashkent: Mumtoz so‘z, 40 p. (In Uzbek)

Rasulova, U. (2023). *Current literary process*. Tashkent: Akademnashr, pp. 50. (In Uzbek)

Sayfullayeva, D. (2022). *Sad lines about “Sad Eyes” by Khudoyberdi Tukhtaboyev*. International Scientific Journal Science and Innovation, Series B, Vol. 1, Issue 8, pp. 2265–2267. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7445242>

To‘xtaboyev, X. (2010). *Sad Eyes*. Tashkent: Yangi asr avlodi, 310 p. (In Uzbek)

Tulaboeva, R. (2020). *Artistic psychologism in the novels of Khudoyberdi Tokhtaboyev*. Tashkent: Nurafshon business, 320 p. (In Uzbek)

Yung, K. (2019). *The Archetypes and the Collective Unconscious*. Litres, pp. 7–15.

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.147

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_229

О ЦИФРОВОЙ ДИДАКТИКЕ В ВУЗЕ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

Раиса Морадовна Петрунёва,

orcid.org/0000-0002-8834-5745,

доктор педагогических наук, профессор

Волгоградский государственный технический университет,

пр. им. Ленина, 28

Волгоград, 400005, Россия

raisa.petrunyova@yandex.ru

Евгений Геннадьевич Ефимов,

orcid.org/0000-0003-1843-7449,

доктор социологических наук, профессор

Волгоградский государственный технический университет,

пр. им. Ленина, 28

Волгоград, 400005, Россия

ez07@mail.ru

Татьяна Дмитриевна Чудасова,

orcid.org/0009-0006-0222-1992,

аспирант

Волгоградский государственный технический университет,

пр. им. Ленина, 28

Волгоград, 400005, Россия

tanchds@gmail.com

Егор Андреевич Матушкин,

orcid.org/0009-0005-3636-2008,

аспирант

Волгоградский государственный технический университет,

пр. им. Ленина, 28

Волгоград, 400005, Россия

geo121@rambler.ru

Аннотация. В статье приводятся данные по исследованию цифровой образовательной среды университета на основе опроса ППС различного возраста. Цифровизация образовательной деятельности инициировала процессы внедрения в образовательный процесс различных цифровых инструментов. В частности, вузы активно пользуются бесплатными цифровыми платформами, на основе которых функционируют электронно-образовательные среды (ЭИОС). Широкое внедрение современных образовательных инструментов требует от преподавателей актуализации классических дидактических принципов в условиях цифровой среды. В статье исследуются проблема эволюции классических дидактических принципов и правил в условиях ЭИОС, понимание содержания этих принципов в условиях электронного обучения, а также особенности

обучения студентов с использованием цифровых инструментов. В исследовании показано, что основная масса преподавателей, независимо от возраста и педагогического стажа, понимает особенности применения цифровых инструментов в образовании, видит трансформации классических дидактических принципов в цифровой среде и особенности обучения студентов в этих условиях. Большая часть преподавателей отмечает также «клиповый» характер мышления современных студентов, что проявляется в когнитивной, коммуникативной и в эмоциональной сферах.

Ключевые слова: цифровая дидактика, классические дидактические принципы, электронно-информационная обучающая среда (ЭИОС), клиповое мышление.

ABOUT DIGITAL DIDACTICS AT UNIVERSITY (BASED ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY)

*Raisa M. Petruneva,
orcid.org/0000-0002-8834-5745,
Doctor of Pedagogical Sciences, professor
Volgograd State Technical University,
28, Lenina avenue
Volgograd, 400005, Russia
raisa.petrunyova@yandex.ru*

*Evgeny G. Efimov,
orcid.org/0000-0003-1843-7449,
Doctor of Sociological Sciences, professor
Volgograd State Technical University,
28, Lenina avenue
Volgograd, 400005, Russia
ez07@mail.ru*

*Tatiana D. Chudasova,
orcid.org/0009-0006-0222-1992,
graduate student
Volgograd State Technical University,
28, Lenina avenue
Volgograd, 400005, Russia
tanchds@gmail.com*

*Egor A. Matushkin,
orcid.org/0009-0005-3636-2008,
graduate student
Volgograd State Technical University,
28, Lenina avenue
Volgograd, 400005, Russia
geo121@rambler.ru*

Abstract. The article presents data on the study of the university's digital educational environment based on the survey of teaching staff of different ages. The digitalization of educational activities has initiated the processes of introducing various digital tools into the educational process. In particular, universities actively use free digital platforms, on the basis of which electronic information educational environment (EIEE) functions. The widespread introduction of modern educational tools requires teachers to actualize the classical didactic principles in the conditions of digital environment. The article investigates the problem of the

classical didactic principles evolution and rules in the context of e-learning, understanding the content of these principles, as well as the peculiarities of student learning with the use of digital tools. The study shows that the majority of teachers, regardless of age and pedagogical experience, understand the peculiarities of digital tools in education, see the transformation of classical didactic principles in the digital environment and the peculiarities of student learning in these conditions. Most of the teachers also note the “clip” nature of modern students’ thinking, which is manifested in the cognitive, communicative and emotional spheres.

Key words: digital didactics, classical didactic principles, electronic information education environment (EIEE), clip thinking.

«Люди учатся, пока они учат».
Обычно приписывают Сенеке Младшему
(ок. 4 г. до н. э. – 65 г. н. э.)

Введение

Предмет цифровой дидактики сегодня активно обсуждается педагогической общественностью. В этом легко убедиться, обратившись к РИНЦ. В образовательный процесс университетов активно внедряются информационно-коммуникационные технологии, значительно ускоряющие процедуры прохождения информации: как административной, так и учебной [Бурцева, 2022; Гущин, 2022]. Взаимодействие всех субъектов учебного процесса в условиях цифровизации образования имеет определенную психологическую специфику.

Согласно исследованиям РАНХиГС при Президенте Российской Федерации [Рогозин и др., 2022] в представлениях значительной части преподавателей высшей школы цифровизация учебного процесса связана с обновлением содержания образования, соответственно форм и методов учебной работы, диагностированием учебных результатов, внедрением высокотехнологичных цифровых решений в учебные программы и т. д. По этой причине администрация образовательных организаций уделяет большое внимание освоению преподавателями современных цифровых инструментов. В связи с этим перед дидактикой встали проблемы педагогической целесообразности и эффективности использования современных ИКТ, организации актуальных форм коммуникации на основе цифровых технологий, а также применения дидактических принципов в условиях цифровизации образования и ряд других [Айснер и др., 2021; Байбординова и др., 2020; Иванова и др., 2022; Камалеева, 2020] и другие. Таким образом, естественным путем сформировалась новая педагогическая проблема, связанная с трансформацией классических дидактических принципов в условиях цифровизации образования, которая поставила ряд новых вопросов перед дидактами: сохранили ли свое значение классические дидактические принципы в современных условиях, или же они претерпели трансформацию, появились ли новые принципы? И, вообще, замечают ли преподаватели эти дидактические трансформации и управляют ли ими? Или же цифровые инструменты диктуют новую, ранее неизведенную, дидактическую логику [Кларин и др., 2020]. Это особенно актуально сегодня в условиях всё более жестко декларируемого тренда на омоложение профессорско-педагогического

корпуса образовательных организаций под лозунгом снижения педагогической и научной продуктивности ППС с ростом возрастного показателя, отсутствия или недостатка компетенций в сфере цифровых технологий у старшего поколения.

Авторы статьи поставили себе задачу изучить, насколько профессорско-преподавательский состав университета различных возрастов понимает особенности цифровой дидактики, видит трансформацию классических дидактических принципов, использует этот инструмент на практике, каким образом учитывает в организации педагогического процесса особенности «клипового» мышления современных студентов.

Поскольку возрастная структура ППС ВолгГТУ очень близка аналогичной структуре по МОН РФ в целом, можно допустить с большой долей вероятности, что интерпретация полученных результатов будет справедливой и для всей генеральной совокупности преподавательского корпуса РФ.

Таблица 1 – Структура возрастного состава ППС вузов РФ

Профессорско-преподавательский состав организаций, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратура)										
	Всего									
	в % к общему числу профессорско-преподавательского состава									
	менее 25	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65 и более
Российская Федерация *	1,1	5	7,4	10,7	13	14,2	11,1	9,1	9,3	19
		24,2				47,4				28,3
ВолгГТУ **		25				47				28

*Составлено авторами по данным Минобрнауки России. Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed>. Дата обращения: 04.01.2025.

** Составлено авторами по «Доклад ректора университета, Навроцкого А. В. «Об итогах работы коллектива университета в 2023 г. и основных направлениях деятельности в 2024 г.», 31 января 2024 г.». Режим доступа: <https://www.vstu.ru/razvitiie/itogi/dm>. Дата обращения: 04.01.2025.

Материалы и методы

В данном исследовании использовались подходы к цифровой дидактике, разработанные член-корр. РАО И.М. Осмоловской [Осмоловская, 2020; Осмоловская, 2022]. В качестве метода был использован метод опроса преподавателей различного возраста, педагогического опыта и академической квалификации.

В опросе принимали участие 103 преподавателя ВолгГТУ, прошедшие обучение на курсах повышения квалификации по программам цифровой педагогики: 28 человек (27%) были в возрасте от 25 до 39 лет; 60 человек (58,3%) в возрасте 40-59 лет и 15 человек (14,6%) в возрасте 60+. Все респонденты по полу представлены следующим образом: 40 человек (38,8%) – это мужчины; остальные 63 человека (61,2%) – женщины. Большая часть

респондентов 68,9% имеют базовое техническое образование; остальные – социально-гуманитарное, творческое и пр. Почти четверть – 23,3% опрошенных не имеют ученой степени, более половины имеют ученые степени в области технических, химических, физико-математических, биологических наук; остальные респонденты имеют ученые степени в различных гуманитарных областях. Среди молодых преподавателей только 32,1% не имеют ученой степени, а более половины 57,1% имеют ученые степени кандидата химических наук, кандидата технических наук, кандидата физико-математических наук, кандидата биологических наук.

Респондентам были заданы вопросы по двум темам: относительно дидактических качеств информационно-образовательной среды университета и психологических качеств студентов. В статье уделяется внимание наиболее часто встречающимся ответам на вопросы. При этом, если по результатам опроса мнения различных поколений ППС значительно расходятся, то авторы сочли возможным привести их в табличном виде.

Дискуссия и результаты

На вопрос: «Насколько, по вашему мнению, электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) вуза интерактивна и позволяет взаимодействовать с другими субъектами образования и программными средствами (преподаватели, студенты, администрация и т. п.), более половины респондентов (52,4%) ответили, что «она частично интерактивна, т. к. не все субъекты могут взаимодействовать». Только 29,1% опрошенных отметили, что «она полностью интерактивна в реальном времени, позволяет взаимодействовать всем субъектам образовательного процесса (студентам между собой и с преподавателем конкретной дисциплины, можно постоянно находиться на связи)». Было высказано также особое мнение некоторыми респондентами: «Чтобы она (ЭИОС) была интерактивна, система должна быть как чат со своей структурой курсов по примеру Телеграмма или WhatsApp. Если ЭИОС заменит Телеграм, WhatsApp, почту корпоративную, Вконтакте, то тогда ее можно считать таковой»; «Частично интерактивна, т. к. субъектам легче взаимодействовать вне ее пределов». Если сравнивать ответы на этот вопрос респондентов молодого и зрелого возраста, то видно, что более опытные преподаватели предъявляют к ЭИОС более жесткие требования.

Таблица 2 – Ответы респондентов на вопрос об интерактивных качествах ЭИОС в зависимости от возраста респондентов

Насколько, по вашему мнению, ЭИОС вуза интерактивна и позволяет взаимодействовать с другими субъектами образования и программными средствами (преподаватели, студенты, администрация и т. п.)?	25-39 лет	60-65 лет и более		
	Чел.	%	Чел.	%
Полностью интерактивна в реальном времени, позволяет взаимодействовать всем субъектам	12	42,9	4	26,7

образовательного процесса (студентам между собой и с преподавателем конкретной дисциплины, можно постоянно находиться на связи)				
Частично интерактивна, т. к. не все субъекты могут взаимодействовать	11	39,3	8	53,3
Совсем не интерактивна, т. к. не позволяет организовать взаимодействие всех субъектов			1	6,7
Трудно сказать	1	3,6		
Не задумывался об этом	2	7,1	2	13,3
Другое	2	7,1		
Всего	28	100	15	100

Однако, когда был поставлен вопрос о коммуникативных качествах ЭИОС, то молодые ППС оценили это качество заметно ниже, чем старшее поколение. Более того, 50% молодежи считают общение через ЭИОС неудобной и избыточной функцией при наличии социальных сетей, мессенджеров, позволяющих взаимодействовать более оперативно, в то время как только 18,8% старшего поколения разделяют это мнение.

Таблица 3 – Ответы респондентов на вопрос о коммуникативных качествах ЭИОС в зависимости от возраста респондентов

Насколько, по вашему мнению, ЭИОС коммуникативна? (можно выбрать несколько вариантов ответа)	25-39 лет		60-65 лет и более	
	Чел.	%	Чел.	%
Создает условия для общения участников образовательного процесса с возможностью быстрого получения и передачи информации, с систематическим наблюдением, коррекцией, оценкой и прогнозом результата процесса обучения с ИКТ-технологиями	9	32,1	5	31,3
Позволяет оперативно организовать доступ студентов к учебному контенту	23	82,1	12	75,0
Позволяет преподавателю оперативно доводить до сведения студентов необходимую информацию	7	25,0	13	81,3
Позволяет переписываться со студентами	8	28,6	6	37,5
Позволяет взаимодействовать с деканатом, передавая административную информацию (ведомости контрольных недель)	14	50,0	10	62,5
Не позволяет получать административную информацию от органов управления учебной деятельностью (приказы, распоряжения, объявления об учебной деятельности и т. п.)	4	14,3	3	18,8
Не позволяет студентам взаимодействовать между собой в учебных целях	7	25,0	1	6,3
Это избыточная функция, т. к. социальные сети и мессенджеры позволяют более оперативно и более удобно взаимодействовать всем участникам образовательного процесса	10	35,7	2	12,5
Совершенно неудобная система, поскольку не дает полной картины для каждого участника группы, только индивидуальные показатели	4	14,3	1	6,3

Трудно сказать	0	0	0	0
Не задумывался об этом	0	0	0	0
Другое	0	0	0	0
Всего	28	100	15	100

Было высказано также и особое мнение: «По сути, система многое позволяет. Но отношение к ней у студентов и преподавателей зачастую не слишком позитивное. Нужно реальное «погружение» в ЭИОС, а пока она работает только как вспомогательное средство».

В своих предварительных беседах с ППС авторы данного исследования столкнулись с тем, что значительная часть преподавателей слабо осведомлена о дидактике, плохо ориентируется в дидактических проблемах и мало знакома с классическими дидактическими принципами. Основной дидактический принцип преподавателей всех возрастных групп звучит примерно так: «Как меня учили – так и я учу». Проблема только в том, что цифровая дидактика вносит корректизы в классику, расширяя горизонты метода.

В связи с этим респондентам были заданы вопросы о содержательных характеристиках современных дидактических принципов в условиях цифровизации образования с использованием формулировки член-корр. РАО И.М. Осмоловской [Осмоловская, 2020].

Далее в таблицах приведено мнение преподавателей о реализации некоторых классических дидактических принципов и их трансформации в условиях ЭИОС.

Таблица 4 – Ответы респондентов на вопрос о дидактическом принципе научности в зависимости от возраста респондентов

В чем состоит, по вашему мнению, в условиях цифровизации учебного процесса принцип НАУЧНОСТИ (можно выбрать несколько вариантов)?	25-39 лет		60-65 лет и более	
	Чел.	%	Чел.	%
Знания, которые изучаются в университете, должны опираться на проверенное временем научное знание, соответствовать современным актуальным научным знаниям	17	60,7	11	68,8
Студенты должны иметь навыки критичного отношения к той информации, которую они получают в информационном поле (вне вуза), отличить научные знания от псевдонаучных и лженаучных	19	67,9	7	43,8
Содержание учебной дисциплины должно проектироваться с опорой на современные научные проблемы	18	64,3	11	68,8
У студентов должна быть возможность участвовать в научно-исследовательской деятельности кафедр	18	64,3	10	62,5
Преподаватель в своих лекциях должен использовать результаты собственных научных изысканий	5	17,9	6	37,5
Преподаватель должен адаптировать под уровень знаний студентов современные научные достижения	0	0,0	0	0,0

Преподаватель должен использовать в качестве источников для лекции только проверенные временем учебники	2	7,1	3	18,8
Преподаватель должен отсылать студентов к интернет-источникам с самой современной научной информацией (по его мнению)	6	21,4	7	43,8
Учебники стали анахронизмом – вся актуальная научная информация приводится в интернет-источниках	2	7,1	0	0,0
Принцип вообще утратил свое первоначальное содержание	0	0,0	0	0,0
Трудно сказать	1	3,6	0	0,0
Другое	0	0,0	0	0,0
Всего	28	100	15	100

Практически полностью совпадает мнение молодых и опытных преподавателей по поводу опоры на проверенное временем научное знание, отражения в содержании учебной дисциплины современных научных проблем, участия студентов в научно-исследовательской работе. При этом очевидно, что не нужно нагружать учебный материал проблемными вопросами, не имеющими однозначного признания научной общественностью и другими междисциплинарными тематиками, даже если они находятся на переднем крае науки.

Обращает на себя внимание приверженность преподавателей «старой» школы классическим учебникам – в то время как более 7% молодых преподавателей считают их анахронизмом. Однако, только 17,9% молодых ППС готовы «использовать результаты собственных научных изысканий» при подготовке лекций, а старшее поколение более уверенно в своих научных результатах – 37,5% используют свои научные наработки в преподавании. Но при этом преподаватель должен привить студентам навыки отличать «научные знания от псевдонаучных и лженаучных»: в большей мере это заботит пока еще не очень опытных молодых преподавателей (67,9%), а умудренное опытом старшее поколение меньше переживает по этому поводу (43,8%) и даже готово более активно, чем молодежь (21,4%) «отсылать студентов к интернет-источникам с самой современной научной информацией (по его мнению)» (43,8%). Одним из респондентов было высказано мнение об отношении к учебникам: «Учебники и учебные пособия не всегда содержат обновленную информацию (например, постоянно меняется законодательная база, принимаются и вносятся изменения в ТР ТС, ГОСТы, Правила... и др.). Конечно, есть дисциплины, которые относятся к классическим, например, анатомия. Её-то и приходится читать именно по учебникам, проверенным временем. Интернет-источники, зачастую, содержат или искаженную информацию, а порою даже совсем не верную информацию, или устаревшую информацию».

Что касается принципа систематичности, то он, по мнению респондентов, не имеет особой специфики в условиях ЭИОС. Хотя мы не можем полностью согласиться с 35% ответивших, что в ЭИОС возможно

«модульное построение учебного процесса». Учебные модули могут существовать вполне автономно, но если студент в ЭИОС будет иметь возможность самостоятельно их выстраивать в очередность изучения в соответствии со своим пониманием, то может нарушиться принцип систематичности и последовательности, что не будет способствовать успешности в освоении учебного предмета. Понятие систематичности сегодня и в общеобразовательной школе претерпело трансформации: педагоги часто выхватывают из вузовского курса ту или иную терминологию и пытаются насадить ее в школьном курсе. Однако, чтобы грамотно и адекватно оперировать этими терминами и понимать их суть, предварительно должна быть сформирована понятийная база по известному принципу «от простого к сложному». А этот путь чаще всего пропущен в школьном курсе.

Принцип наглядности также не претерпел в условиях цифровизации образования особых изменений и полностью отражает реалии современной системы обучения. При этом преподавателями (64,1%) резонно выдвигается требование оснастить каждую аудиторию мультимедийным оборудованием. Было высказано и особое мнение: «Интерактивные доски, прошлый век, кто ими пользуется, жуть, стоит дорого, эффективности ноль. Лучше выдать преподавателю планшет со стилусом и повесить качественный проектор в аудиторию».

К классическому содержанию принципа доступности респонденты добавляют специфику цифровой дидактической среды: «Свободный доступ студентов к информационным ресурсам университета» (60,2%) и учебно-методическим материалам (54,4%). При этом учебная информация по мнению респондентов должна адаптироваться в соответствии с уровнем подготовки студентов (35,9%).

В современных социокультурных условиях и цифровизации учебного процесса ППС вполне допускают – и их это не пугает, что возможны ситуации когда «В процессе обучения могут возникать проблемы, решение которых неизвестно преподавателю, и над их решением будут работать совместно преподаватель и студент» (46,6%), тем более если «по какой-либо проблеме студент может знать больше преподавателя, особенно если он интересуется информационно-коммуникационными технологиями» (41,7%). Однако, преподаватель по-прежнему остается важнейшим актором воспитательной системы вуза, поскольку «Взаимодействие с людьми служит источником внутреннего саморазвития, совершенствования через связи с внешней объективной действительностью и контакты» (48,5%). Особое мнение одного из респондентов: «Преподаватель должен быть на пике современности, как тренер искусственного интеллекта, на любой вопрос знать ответ или найти ответ, преподаватель – это авторитетная личность для студента».

В условиях цифровизации образования принцип вариативности дополняется, по мнению преподавателей, возможностью для студента самостоятельно действовать «сначала в специально организованной информационно-образовательной среде, а затем и в информационно-образовательном пространстве, исходя из своих познавательных потребностей

и интересов» (32%). Есть и такое мнение одного из респондентов: «Большинство предлагаемых классических методов устарели, не актуальны. Информации много, появляется она быстро, новые материалы, новые технологии. <....> имеются передовые технологии обучения в единичном варианте. Большинство вузов работают по старинке».

Одним из феноменов цифровизации многие авторы рассматривают «клиповое мышление» [Богомолова и др., 2021; Бхат, 2018]. Для проектирования вопросов, связанных с «клиповым мышлением» как стилевой характеристикой познавательной деятельности студентов в условиях цифровизации образования, нами были использованы подходы, изложенные в работах Безгодовой С. А., Бураевой Л. А., Купчинской М. А., Курашиной А. Х., Микляевой А. В., Юдалевич Н. В. и др. Преподавателям были предложены для осмыслиения такие выделенные и верифицированные указанными авторами характеристики «клипового мышления», как преобладание визуальной обработки информации над семантической, высокая скорость обработки информации; снижение возможности обобщения и осмыслиения информации и ряд других [Купчинская и др., 2019; Курашина и др., 2021; Микляева и др., 2016; Митрофанова, 2019].

44,7% участвующих в опросе ППС наблюдают у студентов такие качества, как «Поверхностность, образность, конкретность, отсутствие способности к выстраиванию длинных логических цепочек, выделению главного и формулированию выводов»; «В восприятии это проявляется в отсутствии целостности; в мнемических процессах студенты опираются на оперативную и кратковременную память, во внимании – не способны к длительной концентрации; в речи – тенденция к вербальному минимализму» (35,9%); «Способность быстро переключаться с одной информации на другую, к фильтрации информации и освобождению мозга от ненужной (с практической точки зрения) информации, выполнению многозадачной деятельности, скорость восприятия информации» (28,2%); «Знания студентов представляют собой ассорти-композицию, когнитивные фрагменты которой не связаны логическими мостиками в единую сеть» (28,2%).

Кроме того, 61,2% всех респондентов только частично согласны с утверждением, что студенты «в своей массе не способны долго удерживать внимание на изучаемом материале, поэтому приходится несколько раз в разных вариантах повторять одно и то же, выделять голосом или цветом на слайдах важные моменты учебного материала». А 15,5% полностью согласны с этим утверждением. В этом вопросе старшее поколение ППС проявляет к студентам большую лояльность. Сравнение ответов приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Ответы респондентов на вопрос о свойствах функции внимания у студентов в зависимости от возраста респондентов

Мои студенты в своей массе не способны долго удерживать внимание на изучаемом материале, поэтому приходится несколько раз в разных вариантах повторять одно и то же, выделять голосом или цветом на слайдах важные моменты учебного материала	25-39 лет		60-65 лет и более	
	Чел.	%	Чел.	%
Согласен полностью, это свойственно всем студентам	7	25,0	2	13,3
Согласен частично, не все студенты такие	15	53,6	11	73,3
Студенты вообще мало понимают речь лектора в силу бедности их лексического запаса	1	3,6	0	0
Не обращал внимания	3	10,6	1	6,7
Не наговаривайте на студентов – они внимают лектору в течение всего занятия	1	3,6	1	6,7
Другое	1	3,6	0	0
Всего	28	100	15	100

А вот относительно способности студентов конспектировать лекционный материал, преподаватели независимо от возраста массово (69,9%) отмечают, что «не все студенты могут конспектировать»; 35% считают, что «Пока преподаватель не продиктует то, что нужно записать, никто и не записывает».

По наблюдениям преподавателей (56,3%), современные студенты по большей части являются визуалами – для них важны иллюстрации, хотя «Как ни старайся, все отвлекаются и сидят в телефонах» – так считают 20,4% респондентов. Поэтому преподаватели стараются использовать все возможные средства обучения в зависимости от обстоятельств (66%); «Всегда с использованием ИКТ, обязательно лекции на слайдах» (50,5%). Тем не менее, еще сохранились мастера, рассчитывающие только на свои ораторские возможности, «Голос преподавателя и ораторское мастерство – главное средство обучения» – так считают 32% респондентов. Интересно, что молодое поколение преподавателей в два раза чаще (42,9%) полагается на свое ораторское мастерство и голос, чем старшее более опытное поколение (20%). Также старшее поколение чаще (20%), чем молодежь (14,3%) читает лекции в традиционной манере – доска и мел – без использования технических средств обучения! Но при этом молодежь в два раза чаще (28,6%) выкладывает лекционный курс в ЭИОС, чем опытное поколение 60+ (13,3%). Справедливости ради отметим, что используют средства ИКТ и презентацию учебных материалов на слайдах преподаватели разных возрастных категорий примерно одинаково (46,4% молодых и 40% старшего поколения).

31% преподавателей замечают также, что студенты часто подменяют качество письменной работы количеством исписанных листов, поскольку не имеют четкого понимания сути предмета обсуждения. Преподаватели старшего поколения почти в два раза чаще замечают эти факты (46,7%), чем молодые преподаватели (25%). Также старшее поколение практически в два раза чаще (53,3%), чем молодые преподаватели (28,6%) отмечает, что

«обучающиеся не в состоянии самостоятельно структурировать материал, выделять из него главное и конспектировать, если не поступит прямое указание от лектора». Отмечают также преподаватели и трудности у студентов с воспроизведением учебного материала (подглядывание в конспект, телефон, книгу и т. п.), скучный лексический запас, не позволяющий адекватно выразить мысль в тексте – это отмечают 60% старшего поколения и 42,9% молодого. Пока психологи не пришли к однозначному выводу относительно «клипового мышления». Ясно одно, что процесс перестройки человеческого мышления и онтогенетически, и филогенетически уже запустился. Переход от линейного типа мышления, когда устанавливаются функциональные и структурные связи между элементами системы, к сетевому открытому типу не способствует формированию навыков критического системного мышления, установлению причинно-следственных связей между различными явлениями, объектами и т. п. Данный опрос среди преподавателей, хотя напрямую авторы не задавали этот вопрос, свидетельствует в пользу этого тезиса.

Заключение

Таким образом, можно констатировать, что в целом ППС вуза независимо от возрастной группы владеют современными цифровыми инструментами в образовании, понимают их дидактический смысл, видят происходящие трансформации в связи с цифровизацией образования, активно применяют в преподавательской деятельности предоставляемые этой технологией возможности, учитывают психологические особенности «клипового» мышления студентов. Полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что преподаватели более зрелого возраста 60+ в сфере цифровых компетенций не уступают более молодой когорте до 39 лет. В некоторых аспектах старшее поколение проявляет даже больше смелости, чем молодые в применении цифровых инструментов и использовании интернет-источников. Поэтому авторы склонны считать сложившееся в обыденной практике мнение о «цифровом диссидентстве» старшего поколения сильно преувеличенным. Полученные данные позволяют администрации вузов организовать адекватную современным цифровым технологиям электронно-информационную образовательную среду, а также более объективно подходить к оценке цифровых педагогических компетенций ППС разных возрастных групп.

Библиографический список

Айснер Л. Ю. К вопросу о принципах дидактики в условиях цифровизации образования / Л. Ю. Айснер, О. Д. Наумов // Стратегия формирования экосистемы цифровой экономики : сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции, Курск, 19 марта 2021 года / Юго-Западный государственный университет, Председатель организационного комитета Колмыкова Татьяна Сергеевна. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 19-22. EDN LXGXNZ.

Байбординова Л. В. Трансформация дидактических принципов в условиях цифровизации образования / Л. В. Байбординова, Н. В. Тамарская // Педагогика. 2020. № 7. С. 22-30. EDN XCJZJS.

Богомолова Е. С. Влияние цифровой среды на мышление и умственную работоспособность учащихся / Е. С. Богомолова, К. А. Лангуев // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2021): сб. статей II-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 11–12 ноября 2021 г. | Digital Humanities and Technology in Education (DHTE 2021): Collection of Articles of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. November 11–12, 2021. / Под ред. В. В. Рубцова, М. Г. Сороковой, Н. П. Радчиковой. М.: Издательство ФГБОУ ВО МГППУ, 2021. С. 36-48.

Бурцева С. С. Цифровая дидактика и новые подходы к профессиональной подготовке педагогов // Педагогика. Психология. Философия. 2022. №4 (28). С. 19-29. EDN ULHHVM.
Бхат С. Б. Клиповое мышление – феномен цифровой культуры // Вопросы культурологии. 2018. №1. С. 41-46. EDN VAAVVG.

Гущин А. Н. Цифровая дидактика: системные основания и образ будущего // Педагогика и просвещение. 2022. №2. С. 100-115. DOI 10.7256/2454-0676.2022.2.35657. EDN MFFOKP.

Иванова Е. О. Современная дидактика: состояние и точки роста / Е. О. Иванова, М. В. Кларин, И. М. Осмоловская; Институт стратегии развития образования Российской академии образования. М.: Институт стратегии развития образования Российской академии образования, 2022. 165 с. EDN FPUFVJ.

Камалеева А. Р. Трансформация дидактических принципов когнитивного взаимодействия педагогов и обучающихся в условиях цифровизации образования // Профессионально-личностное развитие будущих специалистов в среде научно-образовательного кластера : Материалы 14-ой Международной научно-практической конференции, Казань, 28 мая 2020 года. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. С. 53-56. EDN CZBAIX.

Кларин М. В. Перспективные направления дидактических исследований: постановка проблемы / М. В. Кларин, И. М. Осмоловская // Образование и наука. 2020. Т. 22, № 10. 61-89. DOI 10.17853/1994-5639-2020-10-61-89. EDN UBYKFN.

Купчинская М. А. Клиповое мышление как феномен современного общества / М. А. Купчинская, Н. В. Юдалевич // Бизнес-образование в экономике знаний. 2019. №3 (14). С. 66-71. EDN TNIJLR.

Курашинова А. Х. Клиповое мышление и его влияние на качество когнитивной деятельности слушателей в условиях профессионального обучения / А. Х. Курашинова, Л. А. Бураева // Проблемы современного педагогического образования. 2021. №72-3. С. 200-202. EDN WZSFFF.

Микляева А. В. Экспериментально-психологическое исследование «Клипового мышления»: результаты апробации программы эксперимента / А. В. Микляева, С. А. Безгодова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Психология. 2016. Т. 17. С. 59-67. EDN WTIOYR.

Митрофанова И. И. Клиповое мышление: реальность и перспективы // Речевые технологии. 2019. №1. С. 67-81. EDN FHMUUG.

Осмоловская И. М. Дидактика: от классики к современности: монография. М.; СПб.: Нестор-История, 2020. 248 с. EDN LBBBGE.

Осмоловская И. М. Практикум по дидактике. М.: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования РАО», 2022. 46 с. EDN GYMGYV.

Рогозин Д. М. Как преподаватели вузов воспринимают цифровую трансформацию высшего образования / Д. М. Рогозин, О. Б. Солодовникова, А. А. Ипатова // Вопросы образования. 2022. № 1. С. 271-300. DOI 10.17323/1814-9545-2022-1-271-300. EDN KLQTLU.

References

*Aisner L. Yu., Naumov O. D. (2021). On the principles of didactics in the context of education digitalization. *Strategy for forming the digital economy ecosystem: proceedings of the 3rd international scientific and practical conference*. Kursk: Southwest State University. 19-22. (In Russian)*

Baiborodova L. V., Tamarskaya N. V. (2020). Transformation of didactic principles in the context of education digitalization. Pedagogika. 7: 22–30. (In Russian)

Bhat S. B. (2018). Clip thinking as a phenomenon of digital culture. Culturology issues. 1: 41-46.

Bogomolova E. S., Languev K. A. (2021). The influence of the digital environment on thinking and mental performance of students. Digital humanities and technology in education (DHTE 2021): proceedings of the ii all-russian scientific and practical conference with international participation. November 11–12, 2021 / Ed. by V.V. Rubtsov, M.G. Sorokova, N.P. Radchikova. Moscow: FSBEI HE MSUPE, 2021. Pp. 36–48. (In Russian)

Burtseva S. C. (2022). Digital didactics and new approaches to the professional training of teachers. Pedagogy. Psychology. Philosophy. 4(28): 19-29. (In Russian)

Gushchin A. N. (2022). Digital didactics: systemic foundations and image of the future. Pedagogy and Education. 2: 100-115. (In Russian)

Ivanova E. O., Klarin M. V., Osmolovskaya I. M. (2022). Modern didactics: state and points of growth: a monograph. Moscow: FGBNU “Institute of Education Development Strategy of the Russian Academy of Education”, 2022. 165 p. (In Russian)

Kamaleeva A. R. (2020). Transformation of didactic principles of cognitive interaction between teachers and students in the context of education digitalization. Professional and personal development of future specialists in the scientific-educational cluster environment: Materials of the 14th international scientific and practical conference. Kazan. 53–56. (In Russian)

Klarin M. V., Osmolovskaya I. M. (2020). Perspective directions of didactic research: problem statement. Education and Science. 10: 61-89. DOI 10.17853/1994-5639-2020-10-61-89. (In Russian)

Kupchinskaya M. A., Yudalevich N. V. (2019). Clip thinking as a phenomenon of co-modern society. Business education in the knowledge economy. 3(14): 66-71. (In Russian)

Kurashinova A. H., Buraeva L. A. (2021). Clip thinking and its influence on the quality of cognitive activity of students in the conditions of professional training. Problems of modern pedagogical education. 72-3: 200-202. (In Russian)

Miklyaeva A. V., Bezgodova S. A. (2016). Experimental-psychological research of “Clip thinking”: results of approbation of the experiment program. Izvestia Irkutsk State University. Series: Psychology. 17: 59-67. (In Russian)

Mitrofanova I. I. (2019). Clip thinking: reality and prospects. Speech Technologies. 1: 67-81. (In Russian)

Osmolovskaya I. M. (2020). Didactics: from classics to modernity: a monograph. Moscow; St. Petersburg: Nestor-Istoria, 2020. 248 p. (In Russian)

Osmolovskaya I. M. (2022). Practicum on didactics. Moscow: FGBNU “Institute of Education Development Strategy RAO”, 2022. 46 p. (In Russian)

Rogozin D. M., Solodovnikova O. B., Ipatova A. A. (2022). How university teachers perceive the digital transformation of higher education. Educational Studies Moscow. 1: 271-300. DOI 10.17323/1814-9545-2022-1-271-300. (In Russian)

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ КАК ОСНОВА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ

*Ирина Владимировна Богомаз,
orcid.org/0009-0008-5962-3014,
доктор педагогических наук, профессор
Красноярский государственный педагогический
университет им. В.П. Астафьева,
ул. А. Лебедевой, 89
Красноярск, 660049, Россия
i_bogomaz@mail.ru*

*Елена Анатольевна Чабан,
orcid.org/0009-0004-6288-4590,
кандидат технических наук, доцент
Красноярский институт железнодорожного
транспорта (филиал ИрГУПС),
ул. Л. Кецховели, 89,
Красноярск, 660028, Россия
chaban_tm@mail.ru*

Аннотация. Федеральный проект Минобрнауки России «Передовые инженерные школы», стартовавший в 2022 году, направлен на обеспечение секторов экономики квалифицированными кадрами для достижения технологической независимости страны. Усиление фундаментальной подготовки в высшем образовании напрямую зависит от уровня знаний абитуриентов, формируемых в школе, где наблюдается спад интереса учащихся к инженерной деятельности. Анализ школьных рабочих программ по математике, механике (в рамках физики) и технологии выявил несоответствие в изучении этих дисциплин, что нарушает логико-содержательные линии между теоретическими знаниями и практикой. Цель – стимулировать интерес школьников к инженерно-технической деятельности, что в последующем будет способствовать повышению их учебной активности в вузе. Предлагается внедрение междисциплинарной проектной деятельности для учащихся 7-11 классов, направленной на формирование целостных представлений о мире техники и общей инженерной культуры, освоение научных знаний и практических способов действий, развитие ключевых математических и естественнонаучных понятий, отражающих единство мира и связанных с фундаментальными образовательными объектами (понятиями, символами, моделями). Правильно построенный процесс работы над проектами инженерно-технической направленности будет способствовать формированию у школьников таких навыков как построение логико-содержательных линий между разделами математики, физики (механики) и технологии; для обучающихся на первых курсах вузов – глубокое понимание логики создания математических и физических моделей природных процессов и технических явлений.

Ключевые слова: образование, деятельность, междисциплинарная интеграция, математические модели, проектная деятельность.

ENGINEERING AND TECHNICAL ORIENTATION OF STUDENTS' PROJECT ACTIVITIES AS A BASIS FOR PROFESSIONAL SELF-DETERMINATION

Irina V. Bogomaz,

orcid.org/0009-0008-5962-3014,

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor

Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev,

89, Lebedeva street

Krasnoyarsk, 660049, Russia

i_bogomaz@mail.ru

Elena A. Chaban,

orcid.org/0009-0004-6288-4590,

Candidate of technical Sciences, associate Professor

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport (Branch

of Irkutsk State Transport University),

89, str. L. Ketshoveli,

Krasnoyarsk, 660028, Russia

chaban_tm@mail.ru

Annotation. The federal project of the Ministry of Education and Science of Russia «Advanced Engineering Schools», launched in 2022, aims to provide sectors of the economy with qualified personnel to achieve technological independence for the country. Strengthening fundamental training in higher education depends directly on the level of applicants' knowledge formed at school. There is a decline in students' interest in engineering and an analysis of school programs in mathematics, mechanics within the framework of physics, and technology revealed inconsistencies in the study of these subjects, which breaks the logical and content lines between theoretical knowledge and practice. The aim is to stimulate schoolchildren's interest in engineering and technical activity, which will subsequently contribute to the increase of their learning activity in higher education. It is proposed to introduce interdisciplinary project activities for students in grades 7-11 aimed at forming holistic ideas about the world of technology and general engineering culture, mastering scientific knowledge and practical ways of action, developing key mathematical and natural science concepts reflecting the unity of the world and related to fundamental educational objects (concepts, symbols, models). A well-designed process of working on engineering projects will contribute to the formation of such skills as building logical and content lines between the sections of mathematics, physics (mechanics) and technology. For first-year university students, it will be a deep understanding of the logic of creating mathematical and physical models of natural processes and technical phenomena.

Key words: education, activity, interdisciplinary integration, mathematical models, project activity.

Введение

Цель проекта Минобрнауки России «Передовые инженерные школы»— обеспечить секторы экономики квалифицированными кадрами для достижения технологической независимости страны. В связи с этим, в системе подготовки инженерно-технических кадров необходимо наладить (восстановить) фундаментальную математическую и естественно-научную базу, сочетая ее с большим объемом практической деятельности [Повышение качества..., 2024; Похолков и др., 2012; Тимошенко, 1996]. Качество подготовки специалистов в системе высшего образования во многом зависит

от знаний, умений и навыков абитуриентов, формируемых в системе основного и среднего общего образования. Поэтому важно укреплять фундаментальные знания школьников по математике, физике, черчению, информатике и другим дисциплинам, связанных с инженерной деятельностью. Отметим, что за последние тридцать лет преемственность содержания школьного и вузовского инженерного образования нарушена [Годник, 1981; Костенко, 2011; Костенко, 2013].

Для улучшения качества обучения с 2023 г. введены Федеральные рабочие программы основного и среднего общего образования по всем учебным дисциплинам, устанавливающие единые для страны базовые объемы и содержание обучения, а также планируемые результаты освоения программы [Федеральная..., 2023]. Сопоставление школьных рабочих программ по математике, механике (курса физики) и технологии выявило, с одной стороны, несоответствие между изучением разделов этих дисциплин, с другой стороны – отсутствие в рабочей программе по механике важных разделов при описании механических явлений, что приводит к нарушению логико-содержательных линий между изложением разделов математики, механики и технологии. Также это приводит к разрыву между математическими моделями (описание природных и технических процессов на математическом языке) и естественнонаучным познанием мира. Как отмечал Леонардо да Винчи «механика – это рай математических наук, поскольку мы получаем в ней плоды математики». К математическим моделям относятся фундаментальные законы природы, в частности, законы И. Ньютона. Исторически в России механика как самостоятельная научная область развивалась благодаря трудам С. Е. Гурьева, Л. Эйлера, Я. П. Козельского, С. К. Котельникова, И. В. Мещерского и других ученых [Космодемьянский, 2010].

Современные задачи основного и среднего общего образования направлены на подготовку обучающихся к осознанному выбору профессии, формирование навыков целеполагания и знаний в реальной жизни [Постановление Правительства РФ..., 2023]. Личностный результат обучения включает ценностные ориентации и готовность от общего образования к среднему общему, а в последующем, к профессиональному высшему образованию и трудовой деятельности. Профильное обучение в инженерно-технологических классах может повысить интерес учащихся к изучению физико-математических дисциплин благодаря междисциплинарному подходу, прикладным задачам практического применения полученных знаний. Знания обретают ценность только в синтезе, так как решение реальных проблем редко ограничиваются рамками одной науки [Шредингер, 2001]. Обучающиеся, устанавливая связь между математическими моделями, законами физики и реальными механическими объектами создают личный образовательный продукт, интегрируя его в свою систему знаний [Степанова и др., 2020; Чабан и др., 2024]. Одной из возможностей формировать целостное представление о мире является проектная деятельность, развивающая творческий потенциал обучающегося. Данный принцип вслед за немецким педагогом А. Дистервегом

сформулировал американский педагог Дж. Дьюи [Джон Дьюи..., 2023; История и особенности..., 2017].

Дискуссия

Будем рассматривать обучение, как способ трансформации содержания в деятельность, иначе говоря, формирование у обучающегося опыта выполнения новой для него деятельности посредством педагогических инструментов. Предполагается, что в системе дополнительного образования и специализированных инженерно-технологических классах реализуемая проектная деятельность будет способствовать формированию междисциплинарного содержания между математическими и естественнонаучными учебными дисциплинами. В частности, одним из направлений проектной деятельности, могут служить проекты, связанные с математикой и механикой. При этом, дидактические проблемы, такие, как опыт деятельности (формирование соответствующих компетенций у учащегося), опыт творчества (создания продукта), усвоение междисциплинарных понятий и способов деятельности, решаются в результате выполнения групповых или индивидуальных проектов, базой которых служит теоретический анализ (построение математической модели), проектирование и создание реального механизма. Под междисциплинарностью в обучении будем понимать процесс создания связей между разными предметами и выделение части учебного материала из нескольких учебных предметов для объединения их в новое связанное целое [Дорошенко и др., 2020].

Дидактической целью проектной деятельности является интеграция содержания и методических приемов различных дисциплин, что позволяет решать задачи отдельных предметов – математики, физики, технологии. У обучающихся формируются следующие умения:

- применять разделы математики для составления математической моделей механизмов и расчета их технических характеристик;
- использовать законы физики для понимания их роли в развитии техники;
- интегрировать знания через предмет «Технология», который служит основой для формирования прикладных умений и навыков.

Междисциплинарность проектов в этом случае реализует принципы: системности обучения; развития инженерного стиля мышления (логичность, гибкость, критичность); формирование целостного мировоззрения; активизации познавательной деятельности и творчества на основе практико-ориентированного обучения и системно-деятельностного подхода [Шейнбаум и др., 2022].

Предлагается внедрить учебные междисциплинарные проекты инженерно-технической направленности, работа над которыми потребует функциональных знаний. Это сделает обучение актуальным и поможет обучающимся в профессиональном самоопределении [Мартынов и др., 2022]. Результативность образовательной деятельности будет зависеть от

осознанного применения фундаментальных знаний из различных дисциплин при работе над проектом. Обучающиеся, получая личный опыт постановки задач, способов их решения и практической реализации, смогут соотносить знания с культурным контекстом, осваивая их через личностное понимание. Обучение должно содержать ключевые математические и естественнонаучные понятия, отражающие единство мира. Результатом станет междисциплинарная система знаний, объединяющая образовательные объекты, задачи и их решения.

Последовательное изучение взаимосвязанных разделов математики, физики (механики) и технологии способствует углубленному пониманию логики построения различных математических и физических моделей, природных процессов и технических явлений. Особое внимание следует уделять практическим аспектам.

Особую важность междисциплинарность приобретает при создании механизма. Создание механизма требует от учащегося знаний по математике для моделирования свойств; по механике для создания кинематических модели механизма; по технологии для изготовления макета механизма. Это формирует у обучающихся обобщенные структуры понятий и теорем, способы решения различных типов математических задач, систему теоретических знаний.

Тематика проектной деятельности определяется содержанием предметных областей как на уровне горизонтальных междисциплинарных связей (рис.1), так и по вертикали разных степеней обучения (рис. 2).

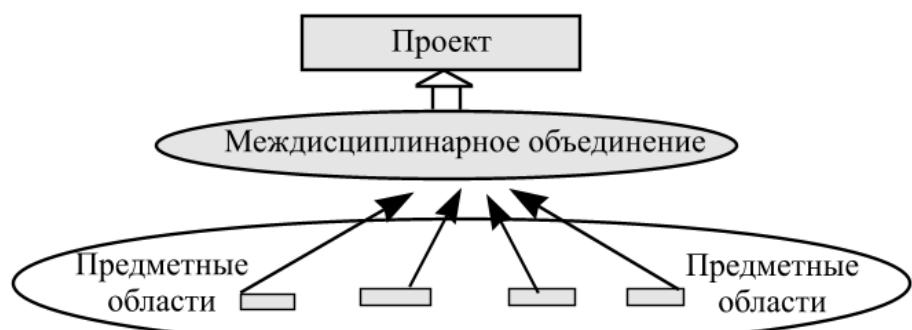


Рисунок 1 – Горизонтальная междисциплинарная проектная деятельность

Предлагаем примерный план выполнения проекта:

- выбор механизма и обоснование его практической важности;
- использование информационных ресурсов для изучения и визуализации учебного материала;
- оформление результатов в виде продукта – механизма, и его презентация;
- итоговая рефлексия.



Рисунок 2 – Вертикальная междисциплинарная проектная деятельность

I. Проекты в 7-8 классах. Предлагаются проекты, связанные с построением и исследованием математических моделей механического равновесия. Их выполнение требует владения математическим аппаратом: алгеброй, геометрией, а также знания основ черчения.

Проекты связаны с построением и исследованием математических моделей механического равновесия. Примерами таких проектов могут служить простейшие механизмы, работающие на принципах правила рычага (золотого правила механики). Математическая модель правила рычага основана на алгебраических преобразованиях и подобии плоских треугольников. Теоретический смысл – «выигрываем в пути – проигрываем в силе». К простейшим механизмам, в основе работы которых лежит правило рычага, можно отнести колодезный журавль с противовесом, клемши, полиспаст и др.

Весь математический аппарат для возможности решения таких задач изучается до 8-го класса включительно. Параллельно в раздел «Механика» следует ввести элементы статики: расчет равнодействующей системы сил, понятие момента и центра тяжести, принцип рычага.

Пример проекта «Блочно-рычажный механизм». Учащиеся знакомятся с первой математической моделью Архимеда (рис. 3). При этом учащиеся знакомятся с первой математической моделью, построенной Архимедом, известной как золотое правило механики.

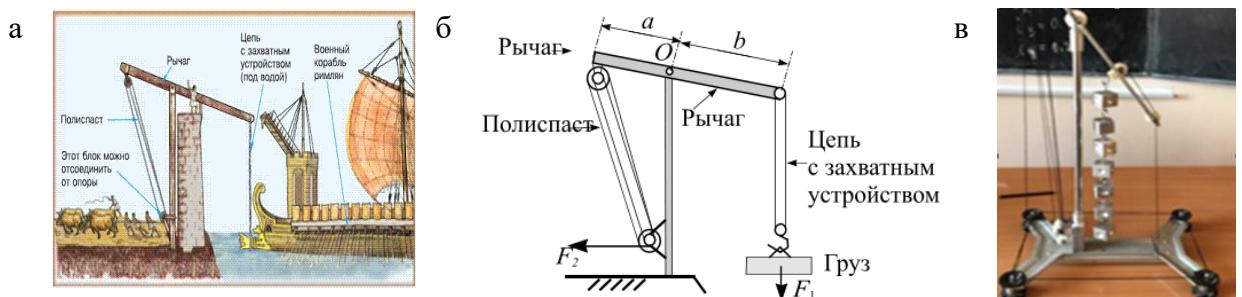


Рисунок 3 – Примеры подъемных простейших механизмов: а – подъемный механизм Архимеда, в Сиракузах (Греция); б – расчетная схема блочно-рычажного механизма; в – модель блочно-рычажного механизма

II. Проекты в 8-9 классах. Предлагаются проекты, связанные с кинематикой твердого тела и передаточными механизмами. Их выполнение требует владения математическим аппаратом: анализа свойств функций, основ тригонометрии, а также знания основ черчения.

Пример проекта: «Исследование передаточных механизмов в зернометательной машине П.Н. Платонова» (рис. 4).

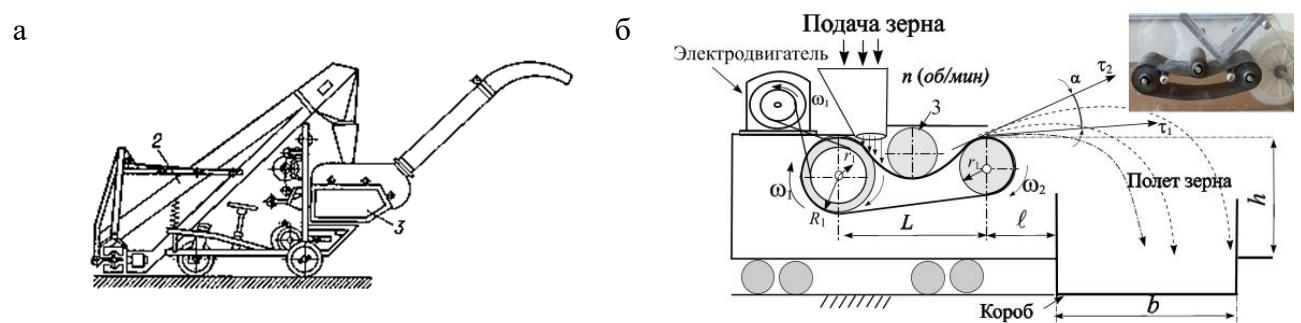


Рисунок 4 – Пример кинематического механизма: а – зерновеялка П.Н. Платонова (1933 г.); б – расчетная схема зерновеялки

В проекте формируются понятия: «время», «пространство», «движение», в частности, рассматривается равноускоренное движение точки под действием постоянной силы (баллистическая задача). Решение этой задачи позволяет получить выражения для вычисления дальности полета и высоты полета зерна, выбрасываемого машиной. Приобретаются навыки графических построений изображений объектов, формируются понятия инженерного дизайна, моделирования и т. д.

Междисциплинарные аспекты этого проекта:

- математика: моделирование свойств механизма;
- механика: кинематическая модель;
- физика: источники энергии;
- технология: чертежи с конкретными элементами заданного механизма,
- изготовление макета.

Математическая модель: уравнение связи между звеньями передаточного механизма.

Цепная передача. Наглядным примером преобразования вращательного движения твердого тела вокруг одной оси во вращательное движение другого твердого тела вокруг другой оси является соединенные между собой посредством цепи две звездочки на велосипеде, рис.5, а. Схематически цепная передача представлена на рис. 5, б.

На схеме (рис. 5, б) цепная передача состоит из ведущей 1 и ведомой 2 звездочек, огибаемых цепью 3. За единицу времени любая точка на цепи 3 проходит один и тот же путь S . Запишем уравнение, связывающее углы поворота

звездочек и путь S . Имеем:

$$S = \varphi_1 \cdot r_1 = \varphi_2 \cdot r_2 \Rightarrow \varphi_2 = \varphi_1 \frac{r_1}{r_2}. \quad (1)$$

Перейдем к угловой скорости:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow \left[\omega = \frac{\varphi}{t} \right] \Rightarrow \omega_2 = \omega_1 \frac{r_1}{r_2}. \quad (2)$$

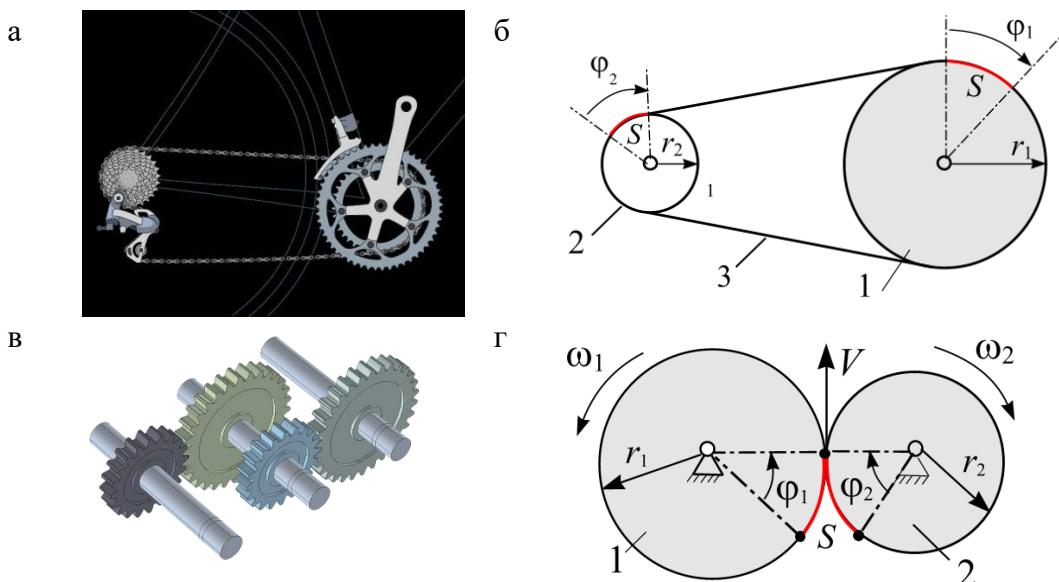


Рисунок 5 – Примеры передаточных механизмов: а – велосипедная цепь, б – расчетная схема велосипедной цепи, в – зубчатая передача, г – расчетная схема зубчатой передачи

Когда большая звездочка 1, вращающаяся вместе с педалями, делает один оборот, то маленькая звездочка 2 прокручивается несколько раз. В этом случае играет роль отношение радиусов передаточных звездочек $\frac{r_1}{r_2}$.

Отношение радиусов колес называется передаточным числом: $U = \frac{r_1}{r_2}$. Как правило, $U < 7$, но при малых скоростях $U = 10$.

Также в технике преобразование вращения одного диска вокруг

неподвижной оси во вращение второго диска вокруг другой неподвижной оси осуществляется посредством зубчатого зацепления двух или нескольких дисков, рис. 5, в. Расчетная схема для такого передаточного механизма показана на рис. 5, г.

Для всех видов передач за время t ведущий диск повернется на угол φ_1 , а ведомый диск повернется на угол φ_2 , при этом точки соприкосновения дисков проходят одну и ту же длину дуги S . Запишем уравнение связи, из которого вычислим угловую скорость вращения диска:

$$S = \varphi_1 \cdot r_1 = \varphi_2 \cdot r_2 \Rightarrow \left[V = \frac{S}{t} \right] \Rightarrow r_1 \frac{\varphi_1}{t} = r_2 \frac{\varphi_2}{t} \Rightarrow r_1 \cdot \omega_1 = r_2 \cdot \omega_2. \quad (3)$$

Полученное равенство справедливо для всех типов зацепления.

При выполнении этого проекта активно используются знания и умения из предметной области технологии – графика: чтение чертежей; правильное использование измерительного инструмента (линейка, штангенциркуль, транспортир) и проведение обмера детали; умение самостоятельно разработать недостающую деталь по ее назначению и месту в конструкции; владение основными приемами инженерного 3D-моделирования с помощью графических пакетов: *AutoCAD*, *Компас 3D*, *Corel XARA*, *Photoshop*, *Autodesk3ds Max* для 3D-моделирования, анимации и визуализации объекта на компьютере; знание основ применения технологии 3D-печати, элементов лазерной резки и других технологий цифрового производства; владение ручным инструментом, проведение постобработки и подгонки изготовленных деталей, сборки изготовленной конструкции [Чабан и др., 2024; Богомаз и др., 2020].

III. Проекты в 10-11 классах. Предлагаются проекты, связанные с построением математических моделей элементов механизмов. Их выполнение требует владения математическим аппаратом: анализа свойств функций, построения и анализа графиков функций, дифференцирования, понимания физического смысла производных.

Пример проекта «Кривошипно-шатунный механизм в двигателях внутреннего сгорания». Одним из важнейших механизмов в истории развития машиностроения является кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Как правило, кривошип выступает в роли ведущего звена различных механизмов, например, в двигателях внутреннего сгорания (рис. 6, а, б).

Математическая модель: уравнения движения шарнира A и поршня B при постоянной угловой скорости ω_0 ведущего звена механизма – кривошипа.

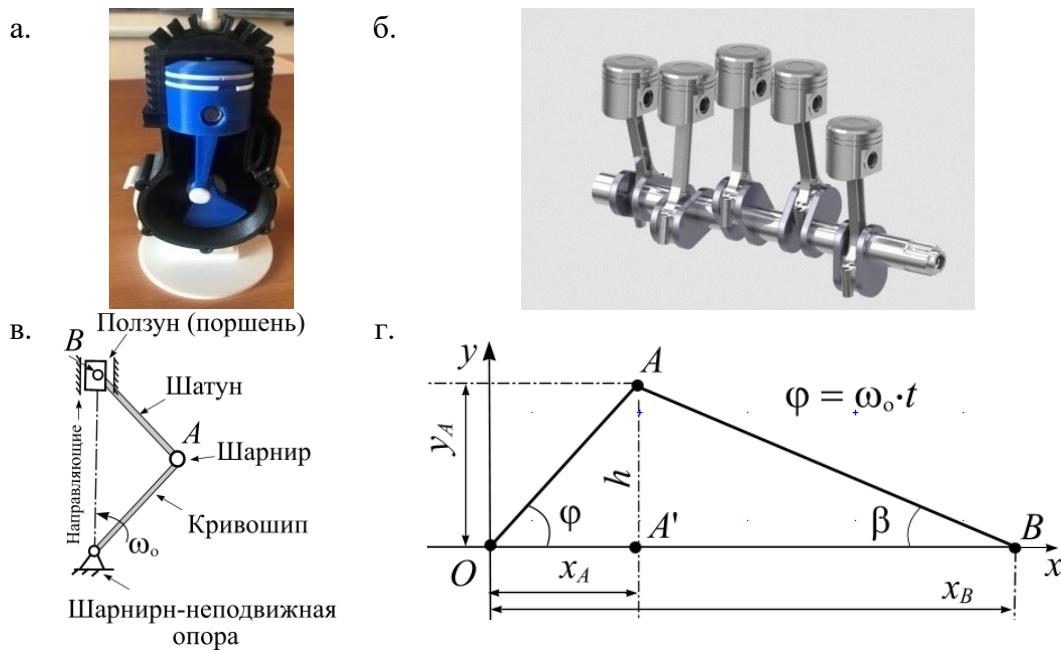


Рисунок 6 – Кривошипно-шатунный механизм: а – поршневая система двигателя внутреннего сгорания; б – макет КШМ; в – схема КШМ, г – геометрия задачи

Если принять за ведущее звено механизма кривошип, который вращается с постоянной угловой скоростью ω_o , и определить размеры звеньев ($OA = r$, $AB = 3r$), то уравнения движения шарнира A и поршня B будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 & \text{Шарнир } A \\
 & \begin{cases} t \geq 0, \\ x_A = r \cdot \cos(\omega_o t), \\ y_A = r \cdot \sin(\omega_o t); \end{cases} \\
 & \text{Поршень } B \\
 & \begin{cases} t \geq 0; \\ x_B = r \cdot \left(\cos(\omega_o t) + \sqrt{8 + \cos^2(\omega_o t)} \right). \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

КШМ совершает периодическое движение с периодом T . Выражения для скорости и ускорения криволинейного движения шарнира A , а также скорости и ускорения поступательного прямолинейного движения поршня B приведены в табл. 1.

Численными методами можно получить график движения поршня и график изменения скорости в зависимости от времени, используя свойства тригонометрических функций (рис. 7, 6).

Для анализа полученных выражений обучающиеся могут построить график движения и график изменения скорости от времени поршня, используя такие доступные программы, как *MATLAB*, *Desmos*, *GeoGebra*, *Maple*, *Python* с библиотеками (*Matplotlib*, *NumPy*, *SciPy*, *Plotly*) и др. Останется

проанализировать полученные графики и сопоставить их с положениями КШМ для различных моментов времени (рис. 8).

Таблица 1 – Выражения для скорости и ускорения звеньев кривошипно-шатунного механизма

Шарнир <i>A</i>	Поршень <i>B</i>
$V_A = \sqrt{(\dot{x}_A)^2 + (\dot{y}_A)^2} = \omega_o \cdot r$	$V_B = \dot{x}_B = -\frac{\omega_o r}{2} \left[2 \sin(\omega_o t) + \frac{\sin(2\omega_o t)}{\sqrt{8 + \cos^2(\omega_o t)}} \right]$
$a_A = \sqrt{(\ddot{x}_A)^2 + (\ddot{y}_A)^2} = \omega_o^2 \cdot r$	$a_B = \ddot{x}_B = -\frac{\omega_o^2 r}{4} \left[4 \cos(\omega_o t) + \frac{4 \cos(2\omega_o t) (8 + \cos^2(\omega_o t)) + \sin^2(2\omega_o t)}{(8 + \cos^2(\omega_o t))^{3/2}} \right]$

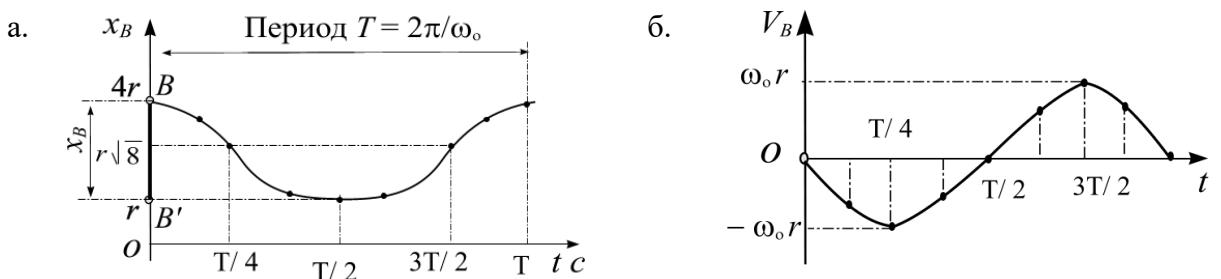


Рисунок 7 – Графики зависимости от времени: а – положения поршня; б – скорости поршня

Заключение

Задачи механики обеспечивают математику практически неограниченным учебным материалом, анализ которого требует разностороннего применения математических методов. При этом предметные области «Физика» и «Технология» становятся компонентом общего образования, предоставляя обучающимся возможность применять на практике знания основ наук, а в профильных инженерно-технологических классах они становятся основными предметами, формируя функциональные знания на стыке естественно-математических и технологических учебных дисциплин.

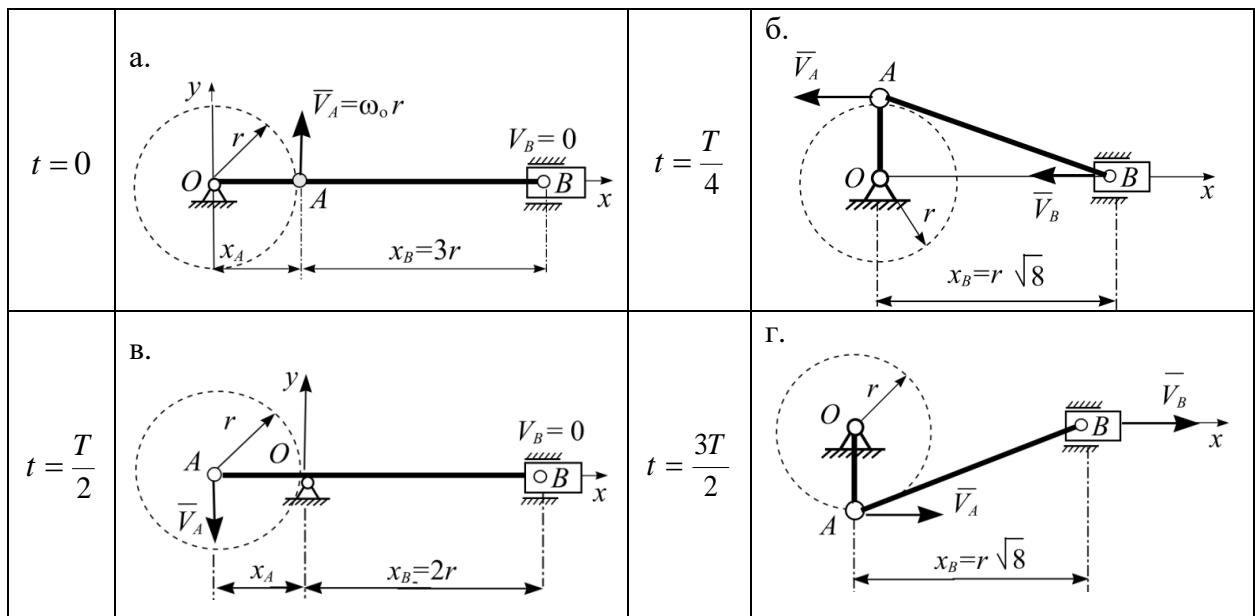


Рисунок 8 – Положение КШМ в разное время, кратное периоду T

Эрвин Шредингер в книге «Наука и гуманизм» подчёркивает: «Цель и ценность естественных наук, как и любой другой области человеческого знания, заключаются только в их союзе, а не в одной из них в отдельности. Тому, кто желает внести настоящий вклад в науку, приходится специализироваться, усиливая стремление узнать все в узкой области, а затем расширять эти знания собственной работой – исследованиями, экспериментами и размышлениями» [Шредингер, 2001].

В связи с этим, изменяются и задачи учителей математики, физики и технологии, каждый из них должен обладать следующими качествами [Богомаз и др., 2025]:

1. Уметь погружать обучающихся в реальные ситуации;
2. Осознавать моделирование как стратегию решения поставленной проблемы;
3. Формировать у обучающихся функциональные результаты обучения (проектная деятельность);
4. Учить школьников решать поставленные задачи без заданного алгоритма, а также решать задачи на движение без заучивания формул, формулируя задачу исходя из «первых принципов» науки.

В связи с этим большее внимание при изучении математики и механики в школе нужно уделить практическим аспектам изучения предметов, элективным и факультативным курсам, которые позволят поддерживать достижение предметных результатов, будут способствовать формированию мотивации к изучению математических и естественнонаучных дисциплин, творческой деятельности и интереса к инженерным специальностям, что в свою очередь является частью профориентационной деятельности, реализуемой школой совместно с инженерно-техническим вузом.

В основу образовательного контента для системы основного и среднего общего образования положена серия учебных пособий по математике и механике, которая адресована учащимся и учителям математики, физики и

технологии, ведущих занятия в профильных инженерно-технологических классах, преподавателям дополнительного образования^{46,47,48,49,50}. В пособиях учтены требования, предъявляемые техническими ВУЗами к уровню подготовки абитуриентов по содержанию (в том числе и тезаурусу) математики, механики и технологии. Учебные пособия объединены общим тезаурусом, отражают единство математики, как науки и ее применение в построении математических моделей движения и методы составления алгоритмов для решения прикладных задач. Рассмотрены примеры математических исследований непосредственно на основе определения и свойств исследуемого объекта; рассмотрены междисциплинарные задачи различной сложности, включающие этапы начальных инженерных расчетов. Специфика этих пособий заключена в том, что в них сформулированы и решены задачи, которые помогают формировать у школьников способность эффективно реализовывать математические знания в смежных дисциплинах, тем самым улучшать результаты обучения в дальнейшем, например, в инженерно-техническом вузе. Отметим, что в соответствие со стандартом *CDIO* – стандарт современного инженерного образования: «начинающие инженеры должны уметь «Задумывать – Проектировать – Реализовывать».

Учебные пособия разработаны коллективом, состоящим учителей математики МАОУ лицея № 102 г. Железногорска Красноярского края, преподавателей высшей математики, механики, физики и технологии КГПУ им. В.П. Астафьева и Сибирского федерального университета (СФУ).

Библиографический список

Богомаз И. В. Графическая компетентность студентов, обучающихся в педагогических вузах / И. В. Богомаз, Е. А. Степанов, Е. А. Чабан // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2020. № 6(212). С. 108–117. DOI 10.23951/1609-624X-2020-6-108-117. EDN OMQWTE.

Богомаз И. В. Логико-содержательные линии между физикой и математикой как основа профессиональной подготовки учителей в современном педагогическом вузе / И. В. Богомаз, В. И. Тесленко // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2025. Вып. 2 (238). С. 43–53. DOI 10.23951/1609-624X-2025-2-43-53. EDN SVGJAR.

Годник С. М. Процесс преемственности высшей и средней школы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. 207 с.

Джон Дьюи: педагогические идеи одного из самых влиятельных мыслителей XX века / Редакция «Образование» Skillbox Media // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://skillbox.ru/media/education/dzhon-dyui-pedagogicheskie-idei-odnogo-iz-samykh-vliyatilenykh-myслiteley-xx-veka/?ysclid=m75o7rmb9n42702698> (дата обращения 15.03.2025)

⁴⁶ *Богомаз И. В. Основы математического анализа. Прикладные задачи / И. В. Богомаз, Т. И. Качаева. Электронное издание № 0321802406. 2019. 234 с.*

⁴⁷ *Богомаз И. В. Тригонометрия и ее прикладные аспекты / И. В. Богомаз, Т. И. Качаева, И. Ю. Степанова. Электронное издание № 03218024031. 2019. 179 с.*

⁴⁸ *Богомаз И. В. Элементы векторной алгебры: прикладные задачи / И. В. Богомаз, Т. И. Качаева. Электронное издание № 0321802404. 2018. 227 с.*

⁴⁹ *Богомаз И. В. Элементарные функции. Задачи прикладного характера / И. В. Богомаз, Т. И. Качаева, И. Ю. Степанова. Электронное издание № 0321802401. 2019. 293 с.*

⁵⁰ *Богомаз И. В. Теоретическая механика. Том 1. Кинематика. Статика. Тексты лекций: учеб. пособие. М.: Изд. АСВ, 2011. 216 с.*

References

Bogomaz I. V., Teslenko V. I. (2025). Logical-content lines between physics and mathematics as a basis for professional teacher training in a modern pedagogical university. *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2(238): 43–53. (In Russian)

Bogomaz I. V., Fomina L. Y., Chaban E. A., Rudina M. A. (2024). Improving the quality of engineering education based on the relationship between mathematics and mechanics in school education system. *Engineering education*. 36: 74–85. DOI 10.54835/18102883_2024_36_7. (In Russian)

Bogomaz I. V., Stepanov E. A., Chaban E. A. (2020). Graphic competence of students studying at pedagogical universities. *TSPU Bulletin*. 6(212): 108–117. (In Russian)

Chaban E. A., Strikalova N. V. (2024). Peculiarities of using the professionally oriented graphic tasks for railway students. *Pedagogical Review*. 1(53): 32–38. (In Russian)

Decree of the Government of the Russian Federation dated 26.12.2017 № 1642 (as amended on 27.02.2023) «On Approval of the State Program of the Russian Federation «Development of Education» (2023). Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286474/ (accessed 07 July 2025).

Doroshenko V. V., Cherentsova I. V. (2020). Interdisciplinary approach in teaching general education disciplines. *Young scientist*. 1(291): 132–135. (In Russian)

Federal working program of basic general education «Physics» (basic level) (for grades 7-9 of educational organizations) (2023). Available at: https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/20_%D0%A4%D0%A0%D0%9F-%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_7-9-%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B_%D0%B1%D0%BA%D0%D0%B7%D0%B0.pdf (accessed 07 July 2025).

Godnik S. M. (1981). The process of succession of higher and secondary schools. Voronezh: VSU Publishing House, 1981. 207 p. (In Russian)

John Dewey: pedagogical ideas of one of the most influential thinkers of the 20th century (2023). Available at: <https://skillbox.ru/media/education/dzhon-dyui-pedagogicheskie-idei-odnogo-iz-samykh-vliyatelnykh-mysliteley-xx-veka/?ysclid=m75o7rmb9n42702698> (accessed 15 March 2025) (In Russian)

Kosmodemyansky A. A. (2010). Essays on the history of mechanics. Moscow: LIBROCOM Book House, 2010. 296 p. (In Russian)

Kostenko I. P. (2011). Dynamics of the quality of mathematical education. Causes of degradation (article one). *Mathematical education*. 2 (58): 2-13. (In Russian)

Kostenko I. P. (2013). The problem of the quality of mathematical education in the light of historical retrospective : monograph. Moscow: RSTU (branch office in Krasnodar). 2013. 502 p. (In Russian)

Martynov V. G., Sheinbaum V. S. (2022). Engineering Pedagogy in the Context of Engineering Activity. *Higher Education in Russia*. 6 (31): 152-168. (In Russian)

Pokholkov Yu. P., Rozhkova S. V., Tolkacheva K. K. (2012). The level of training of Russian engineers. Evaluation, problems and ways to solve them. *Management problems in social systems*. 4(7): 6–14. (In Russian)

Schrodinger E. (2001). Science and humanism. Physics in our time. Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics". 2001. 64 p. (In Russian)

Sheinbaum V. S., Pyatibratov P. V. (2022). Teach and learn to design engineering activity. *Engineering education*. 32: 154-163. DOI 10.54835/18102883_2022_32_14. EDN WIOIJB. (In Russian)

Stepanova I. Yu., Bogomaz I. V. (2020). Inter-subject content of preparing a future teacher in an era of digital revolution. *Human capital*. 2020. № 2(134): 67-75. DOI 10.25629/HC.2020.02.08 (In Russian)

The history and features of John Dewey's "project method" (2017). Available at: <https://psychosearch.ru/teoriya/vospitanie/478-istoriya-i-osobennosti-metoda-proektov-dzhon-dyui?ysclid=m8a1k3q1wu992699106> (accessed 15 March 2025)

Timoshenko S. P. (1996). Engineering education in Russia. Lyubertsy: Proc.-ed. VINITI Combine, 1996. 81 p. (In Russian)

ЛИЧНОСТЬ И МЕДИА: ГУМАНИТАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В МЕДИАОБРАЗОВАНИИ

УДК 004: [316.3:008]

ББК 74.58:73

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_258

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНДЕРНЫХ РОЛЕЙ В СЕМЕЙНОМ ВОСПИТАНИИ НА МАТЕРИАЛЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ФИЛЬМОВ В СТУДЕНЧЕСКОЙ АУДИТОРИИ*

Галина Викторовна Михалева,

orcid.org/0000-0002-7580-1334,

кандидат педагогических наук, научный сотрудник

Ростовский государственный

экономический университет (РИНХ),

ул. Большая Садовая, д. 69

Ростов-на-Дону, 344002, Россия

galinamikhaleva@list.ru

Аннотация. В статье представлены возможности гендерного анализа отечественных аудиовизуальных медиатекстов на тему семьи и семейного воспитания на учебных занятиях по медиакультуре со студентами вуза, который может включать в себя анализ структуры сюжетных стереотипов кинофильмов разных жанров; гендерный анализ персонажей художественных фильмов разных жанров; анализ трансформации и эволюции гендерных ролей в кинофильмах, созданных в разные исторические периоды; сравнительно-сопоставительный анализ гендерных стереотипов в советском, постсоветском и современном российском художественном кинематографе. Современные исследования в основном затрагивают следующую тематику репрезентации гендера в медиапроизведениях: гендерное просвещение, гендерная стереотипизация в кинематографе, гендерный анализ медийных стереотипов, гендерные конфликты, женские образы в кинофильмах, гендерное неравенство в масс-медиа, эволюция и трансформация гендерных ролей в семье, гендерное разнообразие в масс-медиа, конструирование гендера в медиатексте, гендерный дисбаланс в кинематографическом искусстве.

Ключевые слова: семья, семейное воспитание, кино, медиаобразование, стереотипы, художественный фильм, критическое мышление, гендерные роли, студенты.

*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. Челышева.

STUDYING GENDER ROLES IN FAMILY EDUCATION BASED ON RUSSIAN FEATURE FILMS WITH UNIVERSITY STUDENTS

Galina V. Mikhaleva,
orcid.org/0000-0002-7580-1334,
Candidate of Education, Research Associate
Rostov State University of Economics,
69, B. Sadovaya str.
Rostov-on-Don, 344002, Russia
Egalinamikhaleva@list.ru

Abstract. The article presents the potential of gender analysis of Russian audiovisual media texts on the topic of family and family education in media culture classes with university students. This may include the structure analysis of the plot stereotypes in films of different genres; gender analysis of characters in feature films; analysis of the transformation and evolution of gender roles in films created during different historical periods; comparative analysis of gender stereotypes in Soviet, post-Soviet and modern Russian feature films. Current research mainly touches upon the following topics of gender representation in media production: gender education, gender stereotyping in cinema, gender analysis of media stereotypes, gender conflicts, female images in films, gender inequality in mass media, evolution and transformation of gender roles in the family, gender diversity in mass media, construction of gender in media texts, gender imbalance in cinematographic art.

Keywords: family, family education, cinema, media education, stereotypes, feature film, critical thinking, gender roles, students.

Введение

Актуальность изучения гендерных ролей в семейном воспитании на материале художественных фильмов в студенческой аудитории обусловлена рядом социокультурных факторов. Современное общество переживает значительные изменения в представлениях о семье и родительстве. Роль мужчины и женщины в семье становится всё менее фиксированной и более гибкой. В этих условиях, на наш взгляд, важно формировать у студентов понимание разнообразия моделей семейного взаимодействия и осознанного подхода к распределению гендерных ролей. Кроме того, студенческий возраст – это период активного становления личности, в том числе гендерной идентичности и взглядов молодых людей на будущую семейную жизнь, поэтому изучение художественных фильмов как социокультурной модели семьи позволяет им рассмотреть эти вопросы через призму художественного опыта, критически осмысливать гендерные стереотипы и модели поведения, которые предлагают масс-медиа.

Под гендерными стереотипами мы вслед за А. Е. Калашниковой понимаем «социально-культурно определённый набор убеждений, мнений, суждений о качествах, нормах поведения, свойственных представителям мужского и женского пола» [Калашникова, 2016, с. 89].

Общеизвестно, что художественные фильмы часто формируют (или, наоборот, разрушают) стереотипные представления о мужчинах и женщинах в семье. Анализируя семейные кинообразы, студенты могут научиться

различать патриархальные и эгалитарные модели воспитания, видеть скрытые механизмы формирования социальных установок.

Кроме того, медиаобразование на основе отечественного кинематографа – это эффективный инструмент социокультурного развития личности. Вслед за А. В. Федоровым, под медиаобразованием мы понимаем «процесс развития личности с помощью и на материале средств массовой коммуникации (медиа) с целью формирования культуры общения с медиа, творческих, коммуникативных способностей, критического мышления, умений полноценного восприятия, интерпретации, анализа и оценки медиатекстов, обучения различным формам самовыражения при помощи медиатехники» [Федоров, 2014, с. 28].

В рамках образовательного процесса художественные кинофильмы становятся наглядным материалом, способствующим развитию критического мышления, эмоционального интеллекта, эмпатии и способности к самоанализу у студентов: «Анализ гендерных ролей и стереотипов в кинофильмах позволяет глубже понять, как общество воспринимает мужчин и женщин, а также выявить динамику изменений этих восприятий в исторической перспективе. Кинематограф обладает способностью оказывать значительное влияние на формирование идентичности и восприятия гендерных ролей у зрителей. Исследование представления гендерных ролей на экране предоставляет возможность оценить их воздействие на общественное сознание и поведение. Кинодискурс также не только отражает жизнь эпохи, в которой разворачивается действие фильма, в том числе традиции, социальные отношения и роли, поведенческие стратегии и стили общения, но и влияет на формирование новых гендерных стереотипов, способствует изменению гендерных ролей, является источником новых ценностных ориентиров, включая гендерные» [Прима и др., 2025, с. 249].

Материалы и методы

Материалом нашего исследования послужили советские и российские художественные фильмы и сериалы на тему семьи и семейного воспитания 1920-2020 гг. Основные методы исследования – контент-анализ, сравнительно-исторический анализ, гендерный анализ медиатекстов; теоретические методы: анализ, синтез, индукция, дедукция. При этом под медиатекстом мы понимаем «сообщение, изложенное в любом виде и жанре медиа (газетная статья, телепередача, видеоклип, фильм и пр.)» [Федоров, 2014, с. 29].

Дискуссия

Что касается научных трудов зарубежных ученых [Dubois, 2007; Lawton, 2004; Shlapentokh, 1993; Strada et al., 1997], которые в своих исследованиях анализировали советские и российские аудиовизуальные медиатексты, то они практически не касались гендерного анализа презентации образа семьи и семейного воспитания в кино.

Тем не менее, некоторые исследования, представленные зарубежными учеными, затрагивают следующие аспекты семейных кинообразов, представленных в зарубежных средствах массовой информации: образ семьи в зарубежных фильмах комедийного жанра [Douglas et al., 1995]; отцовство и мужественность в послевоенных голливудских фильмах [Bruzzi, 2005]; подростковый возраст в семейном американском кинематографе [Antunes, 2017]; образ типичной американской семьи в современной голливудской кинематографии [Jenkins, 2015]; репрезентация разных поколений семей в анимационных фильмах У. Диснея [Zurcher et al., 2018]; репрезентация семьи-диаспоры в современном европейском кино [Lloyd, 2014]; борьба с некорректным представлением женщин-лидеров в масс-медиа [Elliott, 2016]; гендерное неравенство в СМИ [Ross et al., 2016]; фантастическая женщина в современной американской медиакультуре [The woman fantastic..., 2016].

Отечественные исследования, включающие гендерный анализ медиатекстов представлены в современных публикациях [Автаева, 2024; Бодрова, 2010; Голоусова и др., 2016; Грицай, 2013; Гуляев, 2024; Жизневская, 2017; Зверкова, 2016; Зверкова, 2019; Калашникова, 2016; Клюкина, 2015; Кнэхт, 2020; Козлова и др., 2023; Легушенко и др., 2020; Минаева, 2017; Прима и др., 2025; Романко, 2024; Романов, 2001; Смирнова, 2021; Спутницкая, 2016; Степанова, 2017; Трибунских и др., 2021; Цинь, 2023; Шевченко, 2015; Chelysheva et al., 2022; Mikhaleva, 2025].

А. Ю. Илларионова проанализировала трансформацию гендерных ролей в семье, включая институт отца и институт матери в традиционных обществах [Илларионова и др., 2023]. С. И. Горновая рассмотрела понятие «семейное воспитание» и его характеристику в парах «мать – дочь», «мать – сын», «отец – дочь», «отец – сын» [Горновая и др., 2024]. Н. А. Шведова опубликовала в 2002 словарь гендерных терминов [Шведова, 2002].

Таким образом, современные исследования в основном затрагивают следующую тематику репрезентации гендера в медиапроизведениях: гендерное просвещение, гендерная стереотипизация в кинематографе, гендерный анализ медийных стереотипов, гендерные конфликты, женские образы в кинофильмах, гендерное неравенство в масс-медиа, эволюция и трансформация гендерных ролей в семье, гендерное разнообразие в масс-медиа, конструирование гендера в медиатексте, гендерный дисбаланс в кинематографическом искусстве.

Результаты

Гендерный анализ аудиовизуального медиатекста – это процесс детального изучения и интерпретации представлений о гендере и гендерных ролях, о том, как они отображаются в кинопроизведении, предполагающий анализ различных аспектов кинофильма, таких как образы мужских и женских персонажей, сюжет, визуальный язык, диалоги и музыка, для выявления гендерных стереотипов, предвзятости и репрезентаций.

Практическое изучение гендерных ролей в семейном воспитании на материале художественных фильмов в студенческой аудитории предполагает,

например, анализ структуры сюжетных стереотипов кинофильмов разных жанров. Анализ структуры аудиовизуальных медиатекстов мелодраматического жанра о семье и семейных взаимоотношениях представлен в таблице ниже (Таблица 1). При этом в студенческой аудитории можно обсудить примеры конкретных отечественных художественных фильмов о семье и семейном воспитании, построенных на сюжетных стереотипах того или иного жанра.

Таблица 1 – Структура сюжетных стереотипов медиатекстов мелодраматического жанра [Федоров, 2007, с. 230]

Персонажи	Существенное изменение в жизни персонажей	Возникшая проблема	Поиски решения проблемы	Решение проблемы или возврат к стабильной жизни
Мужской персонаж, женский персонаж	Встреча мужского и женского персонажей	Мезальянс, ревность, болезнь	Борьба персонажа(ей) за свою любовь	Свадьба или любовная гармония
...

Гендерный анализ персонажей кинофильма связан с изучением того, как мужчины и женщины представлены в аудиовизуальном медиатексте, включая их роли, характеристики, поведение, взаимоотношения и степень влияния на сюжет. Важно обратить внимание на то, кто является активным агентом действия в данном медиатексте – мужской или женский персонаж, как они себя ведут и какие поступки они совершают, есть ли необходимость присутствия в сюжете женского или мужского персонажа. В таблицах, приведенных ниже, представлены примерные образцы гендерного анализа мужских и женских персонажей в кинофильмах советского периода на тему семьи (Таблица 2 и 3). В результате дискуссии студенты заполняют таблицы: приводят примеры художественных кинофильмов, анализируют персонажи, их семейное положение, черты характера, поведение, внешность, профессию, род деятельности, увлечения, а также взаимоотношения с противоположным полом.

Данные типы мужских и женских персонажей были выделены А.Е. Калашниковой: «В фильмах времён существования Советского Союза зачастую можно увидеть следующие типы мужского поведения: нерешительный мужчина, «бычок» муж, мужчина-авантюрист и глава семьи. Среди женских образов наиболее часто встречаются такие как женщина-любовница, хранительница домашнего очага и заботливая мать. Наиболее ярко данные образы иллюстрируются в картинах «Служебный роман», «Ирония судьбы или с лёгким паром!» и «Бриллиантовая рука». Для мужчин характерными моделями поведения являются «добытчик» и «глава

семьи». Поведение советской женщины в первую очередь характеризует её как хранительницу домашнего очага и мать [Калашникова, 2016, с. 90].

Таблица 2 – Гендерный анализ мужских персонажей в кинофильмах советского периода на тему семьи

Мужской тип персонажа	Пример персонажа из фильма	Семейное положение	Черты характера, поведение, внешность, возраст	Профессия, род деятельности, увлечения	Взаимоотношения с противоположным полом
1. Нерешительный мужчина
2. Авантурист
3. Отец-одиночка
4. «Бывалый» муж, глава семьи

Таблица 3 – Гендерный анализ женских персонажей в кинофильмах советского периода на тему семьи

Женский тип персонажа	Пример персонажа из фильма	Семейное положение	Черты характера, поведение, внешность, возраст	Профессия, род деятельности, увлечения	Взаимоотношения с противоположным полом
1. Хранительница очага и мать
2. Любовница
3. Труженица
4. Незамужняя мечтательница

Кроме того, можно включить в план занятия критический анализ визуального языка медиатекста, а именно, – анализ того, каким образом создатели кинофильма используют визуальные элементы (цвет, композиция, освещение) для создания гендерных представлений и символов. Музыка и звуковые эффекты в кинофильме также влияют на восприятие зрителями гендерных ролей и взаимоотношений персонажей в художественном фильме.

Комплексный сравнительно-сопоставительный анализ гендерных стереотипов в презентации персонажей в советском, постсоветском и современном российском художественном кинематографе поможет студентам проследить социокультурную трансформацию мужских и женских персонажей в художественных фильмах о семье и семейном воспитании, созданных в разные исторические периоды (Таблица 4). Например, «у советского/российского кинематографа была своя специфика, в том числе, в

отражении в кино женских образов. Она выражалась в постепенной смене женских образов с домохозяйки на женщину руководителя. Социальная среда (ее особенности и изменения) влияет на содержание кино, в том числе и на отражение в нем женских образов. Это ярко прослеживается в том, что женщина становится более самостоятельной и независимой, как в жизни, так и в кино. Современные женщины часть функций забирают у мужчин, и мужчины всё чаще уходят на второй план в социальной иерархии» [Гуляев, 2024, с. 47].

Таблица 4 – Сравнительно-сопоставительный анализ гендерных стереотипов в советском, постсоветском и современном российском художественном кинематографе

Исторический период	Социокультурный и идеологический контексты	Типичные черты женских персонажей в кино	Типичные черты мужских персонажей в кино	Доминирующие семейные ценности	Стереотипные проблемы и конфликты в семье
Советский период
Постсоветский период
Современный период

Заключение

Изучение гендерных аспектов семейного воспитания помогает будущим педагогам, психологам, социальным работникам и другим специалистам выстраивать толерантное и справедливое представление о внутрисемейных отношениях, учитывающее индивидуальные особенности взаимодействия с детьми и семьями. Практическая значимость гендерного анализа художественных фильмов о семье в студенческой аудитории заключается в следующем: анализ гендерных ролей и стереотипов в кинематографических произведениях помогает студентам осознанно воспринимать медийный контент, распознавая и критически оценивая предлагаемые модели поведения и их влияние на общество; погружение в гендерный анализ способствует расширению знаний студентов о понятиях гендерного равенства, дискриминации, патриархата, материнства и отцовства в контексте семейных отношений; в ходе обсуждения содержания кинофильмов семейной тематики студенты могут пересматривать собственные взгляды на гендерные роли в семье, развивать эмпатию, уважение к чужому опыту и взглядам, а также понимать разнообразие моделей семейных отношений. Кроме того, для студентов направления «Педагогическое образование», «Психолого-педагогическое образование», «Организация работы с молодежью» гендерный анализ кинофильмов является важной практикой профессионального осмысления социальной реальности.

Библиографический список

Автаева Н. О. Семья и родительство в отечественных медиа. Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2024. 223 с. EDN OBVNYF.

Бодрова А. А. Конструирование гендера в кинотексте (на материале американского варианта английского языка): специальность 10.02.04 «Германские языки»: диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Бодрова Анна Александровна. Нижний Новгород, 2010. 158 с. EDN QEOPTV.

Голоусова Е. С. Тема женского сексуального здоровья в российских СМИ (на примере глянцевой журнальной периодики) / Е. С. Голоусова, Д. Л. Стровский // Вестник Московского университета. Сер. 10. Журналистика. 2016. № 2. С. 82-103. EDN VSKGGX.

Горновая С. И. Понятие семейное воспитание и его характеристика в парах «мать – дочь», «мать – сын», «отец – дочь», «отец – сын» / С. И. Горновая, Е. А. Бурдуковская // Вестник науки. 2024. Т. 3, № 9(78). С. 216-223. EDN SWTRXU.

Грицай Л. А. Феномены семьи и семейного воспитания в отечественных медиатекстах (на примере мультиплексии) // Меди@льманах. 2013. № 3(56). С. 56-63. EDN QJDPDX.

Гуляев С. Б. Новый «женский ракурс» в кино в контексте гендерного дисбаланса в кинематографическом искусстве // Общество. Среда. Развитие. 2024. № 3(72). С. 40-49. DOI 10.53115/19975996_2024_03_040_049. EDN RUMMBQ.

Жизневская О. Оценочный компонент в номинациях матери, отца и ребенка в СМИ // Стылістика: мова, маўленне і тэкст: зборнік навуковых прац IV Міжнароднай навукова-практычнай канферэнцыі: да 95-годдзя заслужанага работніка адукацыі Рэспублікі Беларусь, доктара філалагічных навук, прафесара Mixася Яўгенавіча Цікоцкага, Мінск, 21–22 февраля 2017 года. Мінск: Республикаанскае унітарнае прадпрыяціе «Іздательства “Адукацыя і выхаванне”», 2017. С. 54-60. EDN XYBDYT.

Зверкова В. М. Особенности рекламного контента интернет-СМИ для женщин // Меди@льманах. 2016. № 5(76). С. 57-63. EDN XQUSON.

Зверкова В. М. Структурные и содержательные особенности рекламных и пиар-текстов (на примере интернет-СМИ для женщин) // Меди@льманах. 2019. № 4(93). С. 70-81. DOI 10.30547/mediaalmanah.4.2019.7081. EDN LHRTVA.

Илларионова А. Ю. Трансформация гендерных ролей в семье: институт отца и институт матери в традиционных обществах / А. Ю. Илларионова, В. Ю. Горетая // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 104-1. С. 170-173. DOI 10.18411/trnio-12-2023-47. EDN JEYSZX.

Калашикова А. Е. Гендерные стереотипы в Советском кинематографе // Психология, социология и педагогика. 2016. № 1(52). С. 89-97. EDN VLEVVL.

Клюкина Ю. В. Репрезентация архетипов «отец» и «мать» в социальных картинах мира / Ю. В. Клюкина, А. А. Шиповская // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2015. № 11-2(53). С. 88-91. EDN UQFHVP.

Кнэхт Н. П. Эволюция образа советской женщины в российском кинематографе: история и современность // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2020. № 2(26). С. 153-159. DOI 10.24151/2409-1073-2020-2-153-159. EDN QOWEJK.

Козлова Н. Н. Образы женщин в отечественном кинематографе: социально-философский анализ / Н. Н. Козлова, Е. В. Куликова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Философия. 2023. № 3(65). С. 48-56. DOI 10.26456/vtphilos/2023.3.048. EDN GNJZBO.

Легушенко Д. А. Гендерное разнообразие в масс-медиа как проявление социальных трансформаций / Д. А. Легушенко, А. В. Войтов // Гендерные ресурсы современного мира – 2020. Гендерный калейдоскоп – 2020: Материалы Пятой ежегодной Всероссийской научной студенческой видеоконференции с международным участием «Гендерный калейдоскоп – 2020», Ростов-на-Дону, 06 ноября – 04 2020 года. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Фонд науки и образования», 2020. С. 224-226. EDN WMHPRX.

Минаева О.Д. Журнал «Работница» в 1920-1930-е гг.: оформление и специфика применения визуальных жанров // Коммуникация. Медиа. Дизайн. 2017. Т. 2. № 1. С. 162-193. EDN YLODYL.

Прима А. М. Гендерная стереотипизация кинодискурса / А. М. Прима, Н. Б. Шершнева // Междисциплинарные аспекты лингвистических исследований: Сборник научных трудов. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2025. С. 248-255. EDN AYIZXI.

Романко К. А. Медиа и гендерные стереотипы: как современная реклама формирует и передает гендерные стереотипы через язык // Интеграция экономики, менеджмента и образования в новых геополитических реалиях: Материалы II научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 25 сентября 2024 года. Саратов: ООО «Амирит», 2024. С. 149-153. EDN IFGQCX.

Романов П. В. По-братьски: мужественность в постсоветском кино // Журнал социологии и социальной антропологии. 2001. Т. 4, № 2. С. 119-135. EDN OPDIYF.

Смирнова О. В. Медиа и гендерные конфликты: теоретические подходы к анализу // Гендер и СМИ. 2021. № 10. С. 61-71. EDN PQSWWY.

Спутницкая Н. Ю. Проблема гендера в современном российском кино и сериалах: критическая интродукция. Москва: Академия медиаиндустрии, 2016. 126 с. EDN WIAVUX.

Степанова Е. А. Гендерный анализ медиа стереотипов в сетевом пространстве современной России // Время больших перемен: политика и политики: материалы Всероссийской научной конференции РАПН, Москва, 24-25 ноября 2017 года / Российский университет дружбы народов; под редакцией О. В. Гаман-Голутвиной, Л. В. Сморгунова, Л. Н. Тимофеевой. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2017. С. 362-363. EDN YRKTJY.

Трибунских Н. И. Женские образы в фильмах 2010-х годов о Первой мировой войне / Н. И. Трибунских, Д. С. Чупрасова // Genesis: исторические исследования. 2021. № 7. С. 109-120. DOI 10.25136/2409-868X.2021.7.33423. EDN IYMZYR.

Федоров А. В. Развитие медиакомпетентности и критического мышления студентов педагогического вуза. Москва: Межрегиональная общественная организация в поддержку программ ЮНЕСКО «Информация для всех», 2007. 616 с. EDN PZDRZT.

Федоров А. В. Словарь терминов по медиаобразованию, медиапедагогике, медиаграмотности, медиакомпетентности. Москва: Директ-Медиа, 2014. 62 с. EDN SUNRXX.

Цинь Ц. Женский образ в российском кино // Современные исследования и научные достижения в эпоху цифровизации: новые ориентиры и возможности: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 20 января 2023 года. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «Ставропольское издательство «Параграф», 2023. С. 57-59. EDN XVMAIS.

Шведова Н. А. Гендерное просвещение // Словарь гендерных терминов. Москва: Информация – XXI век, 2002. С. 55-56. EDN UKBIWX.

Шевченко И. О. Образ отца в современном российском кино: сравнительный социологический анализ // Вестник РГГУ. Серия «Философия. Социология. Искусствоведение». 2015. № 2(2). С. 72-77. EDN VURWBD.

Antunes F. Attachment anxiety: parenting culture, adolescence and the family film in the US // Journal of Children and Media. 2017. № 11(2). P. 214-228. DOI 10.1080/17482798.2016.1269354.

Bruzzi S. Bringing up daddy: fatherhood and masculinity in post-war Hollywood. London: Bloomsbury Publishing, 2005. 234 p. DOI 10.5040/9781838710309

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. P. 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). P. 236-261. EDN HIIWQN.

Dubois R. Une histoire politique du cinéma. Paris: Sulliver, 2007. 216 p.

Elliott C. (ed.). Gender, Media, and Organization: Challenging Mis(s)Representations of Women Leaders and Managers. Charlotte: Information Age Publishing. Information Age Publishing. 2016. 278 p.

Jenkins C. Home movies. The American family in contemporary Hollywood cinema. London: Bloomsbury Publishing, 2015. 224 p. DOI 10.5040/9780755693788.

Lawton A. Imaging Russia 2000. Films and Facts. Washington, DC: New Academia Publishing, 2004. 348 p.

Lloyd A. Far flung families in film: the diasporic family in contemporary European cinema // Journal of Contemporary European Studies. 2014. № 22(2). P. 207-208. DOI 10.1080/14782804.2014.923643.

Mikhaleva G. The Image of Family and Family Education in Soviet Feature Films during the Perestroika Era // Media Education. 2025. № 1. P. 68-77. DOI 10.13187/me.2025.1.68. EDN WFHAXS.

Ross K. Gender Equality and the Media: A Challenge for Europe / K. Ross, C. Padovani. New York and London: Routledge. 2016. 284 p.

Shlapentokh D. V. Soviet Cinematography 1918-1991: Ideological Conflict and Social Reality. N.Y.: Aldine de Gruyter, 1993. 278 p.

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.

The woman fantastic in contemporary American media culture / E. R. Helford, S. Carroll, S. Gray, M. R. Howard. Jackson: University Press of Mississippi. 2016. 256 p. DOI 10.14325/mississippi/9781496808714.001.0001.

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. DOI 10.3390/socsci7030047.

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.

Avtaeva N. O. (2024). Family and parenthood in Russian media. Nizhny Novgorod, 2024. 223 p. (In Russian)

Bodrova A. A. (2010). Construction of gender in film texts (Based on the American version of English). Diss. ... cand. philol. sciences. Nizhny Novgorod, 2010. 158 p. (In Russian)

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. DOI 10.13187/me.2022.4.546.

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 cinéma. Paris: Sulliver, 216 p.

Elliott C. (ed.) (2016). Gender, media, and organization: Challenging mis(s)representations of women leaders and managers. Charlotte: Information Age Publishing. Information Age Publishing, 2016. 278 p.

Fedorov A. V. (2007). Development of media competence and critical thinking of students of a pedagogical university. Moscow, 2007. 616 p. (In Russian)

Fedorov A. V. (2014). Dictionary of terms on media education, media pedagogy, media literacy, media competence. Moscow, 2014. 62 p. (In Russian)

Golosova E. S., Strovskiy D. L. (2016). The topic of women's sexual health in Russian media (Based on the example of glossy magazine periodicals). *Bulletin of Moscow University. Series 10. Journalism*. 2: 82-103. (In Russian)

Gornovaya S. I., Burdukovskaya E. A. (2024). The concept of family education and its characteristics in pairs “mother – daughter”, “mother – son”, “father – daughter”, “father – son”. Bulletin of Science. 9 (78): 216-223. (In Russian)

Gritsai L. A. (2013). Phenomena of family and family education in Russian media texts (on the example of animation). Medi@lmanakh. 3(56): 56-63. (In Russian)

Gulyaev S. B. (2024). New “female perspective” in cinema in the context of gender imbalance in cinematographic art. Society. Environment. Development. 3(72): 40-49. DOI 10.53115/19975996_2024_03_040_049. (In Russian)

Helford E. R., Carroll S., Gray S., Howard M. R. (eds) (2016). The woman fantastic in contemporary American media culture. Jackson: University Press of Mississippi, 2016. 256 p.

Illarionova A. Yu., Goretaya V. Yu. (2023). Transformation of gender roles in the family: the institution of the father and the institution of the mother in traditional societies. Trends in the development of science and education. 104(1): 170-173. DOI 10.18411/trnio-12-2023-47. (In Russian)

Jenkins C. (2015). Home movies. The American family in contemporary Hollywood cinema. London: Bloomsbury Publishing, 2015. 224 p.

Kalashnikova A. E. (2016). Gender stereotypes in Soviet cinema. Psychology, sociology and pedagogy. 1(52): 89-97. (In Russian)

Klyukina Yu. V., Shipovskaya A. A. (2015). Representation of the “father” and “mother” archetypes in social pictures of the world. Philological sciences. Questions of theory and practice. 11-2 (53): 88-91. (In Russian)

Knecht N. P. (2020). Evolution of the image of Soviet women in Russian cinema: history and modernity. Economic and Social-Humanitarian Studies. 2 (26): 153-159. DOI 10.24151 / 2409-1073-2020-2-153-159. (In Russian)

Kozlova N. N., Kulikova E. V. (2023). Images of women in Russian cinema: social and philosophical analysis. Bulletin of Tver State University. Series: Philosophy. 3(65): 48-56. DOI 10.26456/vtphilos/2023.3.048. (In Russian)

Lawton A. (2004). Imaging Russia 2000. Films and Facts. Washington, DC: New Academia Publishing, 2004. 348 p.

Legushenko D. A., Voitov A. V. (2020). Gender diversity in the mass media as a manifestation of social transformations. Gender resources of the modern world. Gender kaleidoscope: Proceedings of the 5th annual all-Russian scientific videoconference with international participation “Gender resources of the modern world – 2020”. Rostov-on-Don, 224-226. (In Russian)

Lloyd A. (2014). Far flung families in film: the diasporic family in contemporary European cinema. Journal of Contemporary European Studies. 22(2): 207-208.

Mikhaleva G. (2025). The image of family and family education in Soviet feature films during the perestroika era. Media Education. 1: 68-77. DOI 10.13187/me.2025.1.68.

Minaeva O. D. (2017). Magazine “Rabotnitsa” in the 1920-1930s: design and specifics of the use of visual genres. Communication. Media. Design. 2(1): 162-193. (In Russian)

Prima A. M. Shershneva N. B. (2025). Gender stereotyping of film discourse. Interdisciplinary aspects of linguistic research: Collection of scientific papers. Krasnodar: Kuban State University, 248-255. (In Russian)

Romanko K. A. (2024). Media and gender stereotypes: how modern advertising forms and conveys gender stereotypes through language. Integration of economics, management and education in the new geopolitical realities: Proceedings of the 2nd scientific and practical conference with international participation, Saratov, September 25, 2024. Saratov, 149-153. (In Russian)

Romanov P. V. (2001). Brotherly: masculinity in post-Soviet cinema. Journal of Sociology and Social Anthropology. 4(2): 119-135. (In Russian)

Ross K., Padovani C. (eds) (2016). Gender equality and the media: a challenge for Europe. New York and London: Routledge, 2016. 284 p.

Shevchenko I. O. (2015). The image of the father in modern Russian cinema: a comparative sociological analysis. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series "Philosophy. Sociology. Art Criticism"*. 2(2): 72-77. (In Russian)

Shlapentokh D. V. (1993). Soviet cinematography 1918-1991: ideological conflict and social reality. N.Y.: *Aldine de Gruyter*, 1993. 278 p.

Shvedova N. A. (2002). Gender education. Dictionary of gender terms. Moscow, 55-56. (In Russian)

Smirnova O. V. (2021). Media and gender conflicts: theoretical approaches to analysis. *Gender and media*. 10: 61-71. (In Russian)

Sputnitskaya N. Yu. (2016). The problem of gender in modern Russian cinema and TV series: a critical introduction. Moscow: *Academy of Media Industry*, 2016. 126 p. (In Russian)

Stepanova E. A. (2017). Gender analysis of media stereotypes in the network space of modern Russia. Time of big changes: politics and politicians: materials of the All-Russian scientific conference of the Russian Academy of Political Sciences, Moscow, November 24-25, 2017. Moscow, 362-363. (In Russian)

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.

Tribunskikh N. I., Chuprasova S. (2021). Female images in the 2010s films about the First World War. *Genesis: historical research*. 7: 109-120. DOI 10.25136 / 2409-868X.2021.7.33423. (In Russian)

Tsyn Ts. (2023). The female image in Russian cinema. Modern research and scientific achievements in the era of digitalization: new guidelines and opportunities: Proceedings of the 1st All-Russian scientific and practical conference, Stavropol, January 20, 2023. Stavropol, 57-59. (In Russian)

Zhiznevskaya O. (2017). Evaluative component in the nominations of mother, father and child in the media. Styles: language, language and text: collection of scientific works of the 4th International scientific-practical conference. Minsk, 54-60. (In Russian)

Zurcher J. D., Webb S. M., Robinson T. (2018). The portrayal of families across generations in Disney animated films. *Social Sciences*. 7: 47.

Zverkova V. M. (2016). Features of advertising content of online media for women. *Medi@lmanakh*. 5 (76): 57-63. (In Russian)

Zverkova V. M. (2019). Structural and substantive features of advertising and PR texts (on the example of online media for women). *Medi@lmanakh*. 4 (93): 70-81. DOI 10.30547/mediaalmanah.4.2019.7081. (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)
Н. Б. Кузнецова (Иркутск)
Ю.Р. Лемешко (Иркутск)
З. И. Трубина (Нижний Тагил)

Литературный редактор
С. Т. Какаулина (Иркутск)

Выпуски электронного журнала регистрируются в ФГУП НТЦ «Информрегистр»

Дата выхода в свет: 18.09.2025

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/>