

Иркутский филиал
Московского
государственного
технического
университета
гражданской
авиации



CREDE EXPERTO:

транспорт, общество, образование, язык

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫПУСК 1

2025

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

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

Издатель журнала – Иркутский филиал ФГБОУ ВО «МГТУ ГА». Официальный сайт: <http://if-mstuca.ru/>
Главный редактор – Л. А. Иванова, канд. пед. наук, доц. (Иркутск)

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

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Технические науки: И.Е.Агуреев, д.т.н, профессор (Тула), О.С.Абляимов, к.т.н., профессор (Ташкент), Л.Г.Большедворская, д.т.н., доцент (Москва), Е.Е.Витвицкий, д.т.н., профессор (Омск), О.А.Горбачев, д.т.н., проф. (Иркутск), А.Г.Гузий, д.т.н., профессор (Москва), В.В.Ерохин, д.т.н, доц. (Иркутск), 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.Скрышник, 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), Ланьцзой Ван, к.ф.н., доцент (Баодин), И.А.Верховых, к.ф.н., доцент (Москва), К.Дюк, д.филос.н. (Маннгейма Маннгейм), Н.С.Иванова, доктор, профессор, (Бургас), Г.Е.Имамбаева, д.ф.н., профессор (Павлодар), Н.Н.Казыдуб, д.ф.н., профессор (Красноярск), А.В.Колмогорова, д.ф.н., доцент (Красноярск), Л.Б.Копчук, д.ф.н., профессор (Санкт-Петербург), В.Б.Меркурьева, д.ф.н., профессор (Иркутск), О.А.Мельничук, д.ф.н., доцент (Якутск), И.Н.Новгородов, д.ф.н., профессор (Якутск), В.И.Постовалова, д.ф.н., профессор (Москва), О.А.Радченко, д.ф.н., профессор, заслуж. р-к высш. шк. РФ (Торонто), В.А.Степаненко, д.ф.н., доцент (Иркутск), Л.А.Становая, д.ф.н., профессор (Санкт-Петербург), А.Г.Фомин, д.ф.н., профессор (Кемерово), В.М.Хантакова, д.ф.н., проф. (Иркутск), В.А.Чукшис, д.ф.н., доцент (Орехово-Зуево).

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

Педагогические науки: А.В.Бабаян, д.пед.н., профессор (Пятигорск), В.В.Воронкова, д.пед.н., профессор (Москва), М.П.Воюшина, д.пед.н., профессор (Санкт-Петербург), И.П.Гладилина, д.пед.н., профессор (Москва), Н.Ж.Дагбаева, д.пед.н., профессор (Улан-Удэ), Е.Г.Дичева, д.педагогике (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 (Омск), 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.Цельных, д.пед.н., профессор (Ростов-на-Дону), А.В.Шумакова, д.пед.н., доцент (Ставрополь).

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

Адрес учредителя

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

Тел.: +7 (499) 458-75-47; +7 (499) 459-07-40 /факс +7 (499) 459-07-01, e-mail: info@mstuca.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 – Языкознание (10.02.04, 10.02.05, 10.02.19). Дата включения издания в Перечень: 22.12.2020.

Журнал имеет международный номер ISSN 2312-1327

Выходит 1 раз в квартал

Издаётся с 2014 года

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 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. Ablyalimov, Candidate of Technical Sciences, Professor (Tashkent), L.G. Bol'shedvorskaja, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Moscow), E.E. Vitvitskiy, Doctor of Technical Sciences, Full professor (Omsk) O.A. Gorbachyov, Doctor of Technical Sciences, professor (Irkutsk), A.G. Guziy, Doctor of Technical Sciences, professor (Moscow, Russia), V.V. Erokhin, Doctor of Technical Sciences, associate professor (Irkutsk), 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. Lunev, 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), Dimitur 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. Chukshis, 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'nichuk, Doctor of philological sciences, associate professor (Yakutsk), I.N. Novgorodov, Doctor of Philological Sciences, professor (Yakutsk), V.I. Postovalova, Doctor of Philological Sciences, professor (Moscow), O.A. Radchenko, prof. Dr. habil. (Philology), professor (Toronto), V.A. Stepanenko, Doctor of Philological Sciences, associate professor (Irkutsk), L.A. Stanovaja, Doctor of philological sciences, professor (St. Petersburg), M.P. Tsel'ykh, Doctor of Pedagogical Sciences, professor (Rostov-on-Don), I.A. Verkhovykh, 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

Николай Сергеевич Херсонский, Людмила Геннадьевна Большедворская

Корреляционный анализ технологических процессов относительно контролируемых параметров изделий.....6

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

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

Унифицированная методика планирования оптимальных четырёхмерных траекторий полёта на крейсерском этапе при организации воздушного движения22

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Федор Михайлович Степанов

Управление транзисторными ключами в усилителях радиостанций АЗН-В режима 446

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Нгуен Нгок Хоанг Куан, Владимир Николаевич Нечаев, Вячеслав Борисович Малыгин

Математическая модель и применение алгоритма A-star для оптимизации маршрутов ОВД в воздушном пространстве районного диспетчерского центра Хошимина64

Александр Юрьевич Княжский, Сергей Валентинович Баушев

Современное состояние и перспективы развития систем планирования использования воздушного пространства. Часть 186

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

Олег Николаевич Скрыпник, Александр Александрович Козич

Оценка точности позиционирования мобильных объектов в сетях сотовой связи105

АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА

Анатолий Филиппович Пенно, Юрий Павлович Беловодский

Анализ возможности применения пирогидравлического генератора в системе аварийного выпуска шасси самолёта117

ДИСКУРС, ДИСКУРСИВНЫЕ ПРАКТИКИ И ТЕКСТ: ВЕКТОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Татьяна Ивановна Семенова

Лингвокультурный типаж columnist в англоязычном медиадискурсе.....132

Вера Павловна Новикова, Юлия Петровна Ткачук

Эволюция концепта «лимита» в песенном дискурсе145

ПРОБЛЕМЫ КОГНИТИВНОЙ ЛИНГВИСТИКИ

Татьяна Леонтьевна Верхотурова, Светлана Валерьевна Шубина

Когнитивная семантика видовременной формы Present Simple160

ОБЩЕЕ ЯЗЫКОЗНАНИЕ

Гюльнара Ансаровна Хакимова, Светлана Алексеевна Захарова

Экзогенные процессы в ветеринарной терминологии (на материале немецкого языка) ... **176**

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИНОЛОГИИ

Людмила Михайловна Бузинова, Алексей Евгеньевич Смирнов

О тематическом корпусе терминосистемы шахтного подъема **194**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

Наталья Валерьевна Грибачева, Дарья Сергеевна Беспалова, Ольга Юрьевна Павлова

Формирование рецептивных и продуктивных навыков произношения на дистанционных занятиях по иностранному языку в высшей школе **207**

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕДАГОГИКИ

Елена Михайловна Казанцева, Елена Николаевна Кихтенко, Светлана Сергеевна Люткевич

Экзистенциальный потенциал профессионального развития педагога в пространстве инновационного образовательного комплекса **218**

Олег Игоревич Веселицкий, Евгений Викторович Титов

Формирование готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий – социально-педагогическая проблема **230**

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 347.823.21

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_6

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТНОСИТЕЛЬНО КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ

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

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

Аннотация. Метод корреляционного анализа не ограничивается нахождением тесноты связи между исследуемыми параметрами. Иногда он дополняется составлением уравнений регрессии, которые представляют собой описание корреляционной зависимости между результативным и факторными признаками. Такой подход получил название метод корреляционно-регрессионного анализа.

В данной статье, посвященной исследованию процессов изготовления изделий промышленного назначения, показано расширение возможностей и практической применимости методов корреляционно-регрессионного анализа для установления взаимосвязи и взаимозависимости параметров технологических процессов с целью повышения контроля за качеством готовой продукции.

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, качество готовых изделий, контролируемые параметры технологических процессов.

CORRELATION ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES RELATIVE TO CONTROLLED PRODUCT PARAMETERS

*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*

*Lmila 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.aero*

Abstract. The correlation analysis method is not limited to finding the closeness of the relationship between the studied parameters. Sometimes it is supplemented by the compilation of regression equations, which are a description of the correlation relationship between the resulting and factorial features. This approach is called the correlation and regression analysis method.

This article devoted to the study of the processes of manufacturing industrial products shows the expansion of the possibilities and practical applicability of correlation and regression analysis methods to establish the relationship and interdependence of technological process parameters in order to increase quality control of finished products.

Keywords: correlation and regression analysis, quality of finished products, controlled parameters of technological processes.

Введение

С годами не снижается актуальность применимости методов корреляционного анализа, результаты которого не ограничиваются нахождением тесноты связи между исследуемыми параметрами. Чаще всего интерес для исследователей сводится к составлению уравнения регрессии, которое представляет собой не только описание корреляционной зависимости между результативным и факторными признаками, но и позволяет оценивать эффективность изучаемого процесса в целом. Сложность и актуальность решения такой задачи для промышленных предприятий обусловлены наличием значительного количества факторных признаков, например, оборудование может существенно различаться по производительности, надежности, срокам службы, величиной затрат на ремонт и обслуживание, требованиями к технологическому процессу и к квалификации обслуживающего персонала.

В связи с этим, результатом данного исследования, посвященного изучению процессов изготовления изделий промышленного назначения, является обоснование практической применимости методов корреляционно-регрессионного анализа для установления взаимосвязи и взаимозависимости параметров технологических процессов с целью повышения контроля за качеством готовой продукции.

Материалы и методы

Корреляционный анализ в виде уравнений линейной регрессии нашел широкое применение в различных отраслях промышленности: в авиационной, оборонной, химической и других [Венецкий и др., 1974; Виниченко, 2023; Гирилович и др., 2021; Калугин, 2020; Кумэ, 1990; Херсонский, 2011; Яшин и др., 2015]. Особенно это связано с оценкой зависимости инновационного развития и экономического состояния промышленных предприятий на основе

корреляционного анализа в период санкционных ограничений и наличия лимитирующих факторов в виде сырья, материальных и трудовых ресурсов.

Проведенное исследование результатов научных достижений в области применения статистических методов корреляционного анализа позволило по-новому взглянуть на область его применимости, поскольку в ряде исследований полагают, что «уравнение регрессии» целесообразно заменять более строгим термином «уравнение корреляционной связи». Существует и другая точка зрения, предполагающая исследование взаимозависимости относить к теории корреляции, а изучение зависимости – к теории регрессии.

В связи с этим, можно предположить, что повышение эффективности технологических процессов создания готовой продукции промышленного назначения может быть достигнуто посредством интеграции методов корреляционного анализа в формате двух задач: построение уравнения регрессии и разработка модели корреляционной связи посредством последовательного решения следующих задач. Во-первых, определить тесноту связи между исследуемыми переменными. Во-вторых, определить зависимости между изучаемыми признаками путем:

- выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на результативный признак;
- выявления неизученных ранее причинно-следственных связей;
- построения корреляционной модели с ее параметрическим анализом;
- исследования значимости параметров связи и их интервальной оценки;
- осуществления перехода к разработке «уравнения корреляционной связи».

Теснота линейной связи между X и Y характеризуется коэффициентом корреляции, который вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

где: x_i, y_i – текущие значения параметров;

\bar{x}, \bar{y} – средние арифметические значения параметров;

σ_x, σ_y – средние квадратические отклонения параметров.

Через центрированные величины коэффициент корреляции выразится в виде:

$$r_{xy} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (2)$$

где: $\tilde{x}_i = x_i - \bar{x}$ и $\tilde{y}_i = y_i - \bar{y}$ – центрированные величины.

С учетом понятия ковариации случайных величин

$$\text{cov}(x, y) = \dots \frac{1}{n} \dots \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i \dots \quad (3)$$

можно выражение (2) переписать в виде:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (4)$$

Коэффициент корреляции является важнейшим средством количественной оценки степени и характера взаимосвязи тех или иных явлений.

Чтобы определить пределы, в которых находится величина коэффициента корреляции, запишем его формулу в виде:

$$r_{xy} = -1 + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\tilde{x}_i}{\sigma_x} + \frac{\tilde{y}_i}{\sigma_y} \right) \quad (5)$$

или

$$r_{xy} = 1 + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\tilde{x}_i}{\sigma_x} - \frac{\tilde{y}_i}{\sigma_y} \right). \quad (6)$$

Из приведенных уравнений видно, что коэффициент корреляции заключен в пределах от -1 до +1. При значениях $|r_{xy}| = 1$ между параметрами Y и X существует линейная функциональная связь.

Для измерения тесноты связи в процентах вычисляют коэффициент детерминации по формуле $R = r_{xy}^2$, который показывает, какая часть дисперсии σ_y^2 случайной величины Y приходится на долю слагаемого ax в уравнении прямой линии ($y = ax + b$).

Результаты

На практике довольно часто приходится анализировать статистические данные, когда одной из переменных соответствует несколько значений другой переменной [Бешелев и др., 1980; Ефремов, 2020; Закс, 1976; Терентьев, 1959; Терентьев, 1960].

Коэффициент корреляции такого комплекса определяется по уравнению:

$$r = \sqrt{\frac{\left(\sum (A_i \rho_i - \bar{y}^* A_i m_i) \right)^2}{\left(\sum (A_i m_i - \bar{Z}^*) \right) \left(\sum y_i^2 - H \right)}} \quad (7)$$

где: A_i – условные группы случайных переменных, которым присваивается номер 0, 1, 2, 3 ...12;

ρ_i – сумма значений в данной клетке комплекса;

m_i – число значений в клетке.

В формуле (7) числитель подкоренного выражения можно выразить в виде

$$\left(\sum(A_i \rho_i) - \frac{\sum m_i A_i}{n} \sum y_i\right)^2. \quad (8)$$

Актуальность решения подобных задач для оценки качества и надежности изделий авиапромышленного назначения обусловлена переходом к композитным материалам на основе углепластика и других компонентов [Тишанинов, 2019]. Предположим, что готовое изделие должно состоять из трех компонентов А, В и С, ограниченных их структурным содержанием в конечном продукте: А (31% - 36%), В (21% - 26%), С (42% - 46%). Необходимо установить влияние технологического процесса на качество готовой продукции в зависимости от изменения соотношения компонентов. Эксперимент проводился с использованием трех видов смесителей и анализа структурного состава компонентов в готовой продукции посредством расчета коэффициентов корреляции между массовыми долями компонентов: $r_{xy}(z)$, $r_{xz}(y)$, $r_{zy}(y)$ (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчетов коэффициентов корреляции между массовыми долями компонентов смеси D

№ эксперимента	Смеситель № 1			Смеситель № 2			Смеситель № 3			
	Массовые доли компонентов смеси, в %			Массовые доли компонентов смеси, в %			Массовые доли компонентов смеси, в %			
	X_i	Y_i	Z_i	X_i	Y_i	Z_i	X_i	Y_i	Z_i	
1	33,5	23,5	43,0	33,6	22,8	43,6	33,5	23,2	43,3	
2	34,2	22,2	43,6	34,9	22,4	42,7	31,2	23,5	45,3	
3	31,5	23,4	45,1	31,6	23,5	44,9	32,8	22,7	44,5	
4	32,2	22,9	44,9	34,0	22,9	43,1	31,2	23,6	45,2	
5	33,6	23,1	43,3	32,6	23,4	44,0	34,2	22,8	43,0	
6	32,6	22,6	44,6	31,7	23,5	44,8	33,1	22,9	44,0	
7	31,6	23,8	44,6	31,8	24,2	44,0	31,7	24,1	44,2	
8	32,0	22,6	45,4	33,4	22,5	44,1	32,4	22,8	44,8	
9	32,8	22,8	44,4	31,5	23,9	44,6	31,5	23,3	45,2	
10	32,0	23,1	44,9	31,3	22,8	45,9	31,6	22,9	45,5	
	r_{xy}	r_{yz}	r_{xz}	r_{xy}	r_{yz}	r_{xz}	r_{xy}	r_{yz}	r_{xz}	-
	0,522	0,069	-0,860	0,525	0,181	-0,883	-0,664	-0,045	0,774	

Для проведения расчетов составим вспомогательные таблицы для каждого смесителя (табл. 2-4).

Таблица 2 – Результаты при использовании в технологическом процессе смесителя № 1

X_i^1	$(X_i^1)^2$	ρ_i	m_i	$m_i X_i^1$	$m_i (X_i^1)^2$	$X_i^1 \rho_i$
0	0	326	10	0	0	0
1	1	230	10	10	10	230
2	4	444	10	20	40	888
Смеситель № 1	$\sum \rho_i = 1000$	$\sum m_i = 30$	$\sum m_i x_i^1 = 30$	$\sum m_i (X_i^1)^2 = 50$	$\sum \rho_i x_i^1 = 1118$	

Таблица 3 – Результаты при использовании в технологическом процессе смесителя № 2

X_i^1	$(X_i^1)^2$	ρ_i	m_i	$m_i X_i^1$	$m_i (X_i^1)^2$	$X_i^1 \rho_i$
0	0	326	10	0	0	0
1	1	232	10	10	10	232
2	4	442	10	20	40	884
Смеситель № 2	$\sum \rho_i = 1000$	$\sum m_i = 30$	$\sum m_i x_i^1 = 30$	$\sum m_i (X_i^1)^2 = 50$	$\sum \rho_i x_i^1 = 1116$	

Таблица 4 – Результаты при использовании в технологическом процессе смесителя № 3

X_i^1	$(X_i^1)^2$	ρ_i	m_i	$m_i X_i^1$	$m_i (X_i^1)^2$	$X_i^1 \rho_i$
0	0	323	10	0	0	0
1	1	232	10	10	10	232
2	2	445	10	20	40	890
Смеситель № 3	$\sum \rho_i = 1000$	$\sum m_i = 30$	$\sum m_i x_i^1 = 30$	$\sum m_i (X_i^1)^2 = 50$	$\sum \rho_i x_i^1 = 1122$	

Алгоритм расчета коэффициента корреляции статистического комплекса представлен на примере смесителя № 1, для остальных смесителей порядок расчета аналогичен.

$$\begin{aligned}
 \bar{y}^* &= \frac{\sum \rho_i}{n} = \frac{1000}{30} = 33,3 \\
 Z^* &= \frac{\sum m_i A_i}{n} \\
 H- &= \frac{(\sum \rho_i)^2}{n} = \frac{1000^2}{30} = 33333,3 \\
 (\sum y_i)^2 &= 35501,8 \\
 r_1 &= \sqrt{\frac{(1122,0 - 33,3)^2}{(30 - 30)(35501,8 - 33333,3)}} = 0,585.
 \end{aligned}$$

Коэффициенты корреляции в зависимости от номера смесителя приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения коэффициентов корреляции в зависимости от номера смесителя

№ смесителя	Коэффициент корреляции в зависимости от номера смесителя $\Gamma_j (j = 1, 2, 3)$	Коэффициент корреляции между массовыми долями компонентов x и y $\Gamma_{xy}(z)$	Коэффициент корреляции между массовыми долями компонентов x и z $\Gamma_{xz}(y)$
1	$r_1 = 0,542$	-0,99	-0,99
2	$r_2 = 0,540$	-0,911	-0,968
3	$r_3 = 0,566$	-0,792	-0,968

Дискуссия

Проведенные расчеты и полученные результаты подчеркивают тесную корреляционную связь этапов технологического процесса, применяемого оборудования (смесителей) и изменения структурного состава получаемой смеси [Григорьева и др., 2018].

Если контролируемый параметр изделия Y корреляционно связан с двумя и более параметрами технологического процесса X и Z и все параметры связаны между собой, тогда корреляция между Y и Z и между X и Z будет влиять на корреляцию между X и Y.

Если величина контролируемого параметра Y в некоторой степени зависит от Z, то зависимость X от Y может частично отражать зависимость X от Z. Для того, чтобы устранить влияние Z, необходимо вычислить корреляцию между X и Y, когда Z – постоянно, т. е. определять частный коэффициент корреляции:

$$r_{xy(z)} = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{\sqrt{1 - r_{xz}^2} \sqrt{1 - r_{yz}^2}}. \quad (9)$$

Для того, чтобы устранить влияние Y на XZ, необходимо определить частный коэффициент корреляции по формуле:

$$r_{xz(y)} = \frac{r_{xz} - r_{yx} r_{yz}}{\sqrt{1 - r_{yx}^2} \sqrt{1 - r_{yz}^2}}. \quad (10)$$

Для того, чтобы устранить влияние X на YZ, необходимо определить корреляцию между Y и Z, когда X постоянно:

$$r_{yz(x)} = \frac{r_{yz} - r_{yx} r_{xz}}{\sqrt{1 - r_{yx}^2} \sqrt{1 - r_{xz}^2}}. \quad (11)$$

Если величина контролируемого параметра изделия связана с четырьмя параметрами технологического процесса: X, Y, Z, T, тогда частный коэффициент корреляции между X и Y при условии, что Z и T будут постоянными, можно определить по следующей схеме:

Для этого составляется матрица вида:

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{matrix} \begin{vmatrix} 1 & r_{xy} & r_{xz} & r_{xt} \\ r_{yx} & 1 & r_{yz} & r_{yt} \\ r_{zx} & r_{zy} & 1 & r_{zt} \\ r_{tx} & r_{ty} & r_{tz} & 1 \end{vmatrix}, \quad (12)$$

из которой получают:

$$r_{xy(zt)} = \frac{r_{xy}(1-r_{zt}^2) - r_{xz}r_{yz} - r_{xt}r_{yt} + r_{zt}(r_{xz}r_{yt} + r_{xt}r_{yz})}{(1-r_{yt}^2 - r_{zt}^2 - r_{yz}^2 + 2r_{yz}r_{yz}r_{zt})^{\frac{1}{2}}(1-r_{xt}^2 - r_{zt}^2 - r_{xz}^2 + 2r_{xz}r_{xt}r_{zt})^{\frac{1}{2}}}. \quad (13)$$

Другие частные коэффициенты можно вычислить по такой же схеме.

В общем виде частные коэффициенты корреляции можно определять по общей формуле:

$$r_{ij} = r_{ji} = \frac{n\rho_{ij} - \rho_{i0}\rho_{0i}}{\sqrt{n\rho_{ii} - \rho_{i0}^2}\sqrt{n\rho_{jj} - \rho_{0j}^2}}, \quad (14)$$

где:

$$\begin{aligned} \sum x &= p_{01} = p_{10}; \quad \sum x^2 = p_{11}; \quad \sum xy = p_{12} = p_{21} \\ \sum y &= p_{02} = p_{20}; \quad \sum y^2 = p_{22}; \quad \sum xz = p_{13} = p_{31} \\ \sum z &= p_{03} = p_{30}; \quad \sum z^2 = p_{33}; \quad \sum xt = p_{14} = p_{41} \\ \sum t &= p_{04} = p_{40}; \quad \sum t^2 = p_{44} \end{aligned}$$

Следует отметить, что как бы ни была сильна статистическая зависимость между различными параметрами технологического процесса и контролируемого параметра изделия, невозможно конкретизировать причинно-следственную связь.

С учетом результатов анализов смеси D, приведенных в таблице 1, были вычислены частные коэффициенты корреляции между массовыми долями компонентов $r_{xy}(z)$, $r_{xz}(y)$ на примере использования смесителя № 1.

$$r_{xy}(z) = \frac{-0,6641 - (-0,774)(-0,045)}{\sqrt{1 - (-0,774)^2}\sqrt{1 - (-0,045)^2}} = -0,99 \quad (15)$$

$$r_{xz}(y) = \frac{-0,744 - (-0,664)(-0,045)}{\sqrt{1 - (-0,664)^2} \sqrt{1 - (-0,045)^2}} = 0,99 \quad (16)$$

Расчеты показали, что между массовыми долями компонентов существуют сильные корреляционные связи, и это создает предпосылки о возможности прогнозирования качества смеси D.

Не менее значимыми являются задачи оценки корреляции между качественными и количественными параметрами технологического процесса и готового изделия.

Вычисление таких корреляций необходимо, когда параметры технологических процессов и контролируемых параметров изделия не имеют количественных значений, а определяются по альтернативному вероятностному признаку «да» – «нет», «годен» или «не годен».

Оценить выход отдельных параметров технологических процессов за пределы, установленные технологическим регламентом, не представляется возможным. Оценка параметров изделия может осуществляться посредством проверки его геометрических размеров с помощью проходных и непроходных скоб, колец или контроля физических параметров, таких как герметичность, и др.

Особо следует остановиться на определении корреляционных связей между контролируемыми параметрами изделий при их испытаниях.

Рассмотрим случай двух качественных признаков, распадающихся на две группы, на примере контроля диаметра (параметр X) и диаметра (параметр Y) изделия с помощью проходных колец. Результаты контроля параметров диаметров изделия приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты контроля по альтернативному признаку контролируемых параметров диаметров изделия

Контролируемый параметр диаметра изделия – Y	Контролируемый параметр диаметра изделия – X		Всего
	Доля дефектных изделий по контролируемому параметру X (%)	Доля годных изделий по контролируемому параметру X (%)	
Доля дефектных изделий по контролируемому параметру Y (%)	$a_1 = 10,0$	$a_2 = 5,0$	15,0
Доля годных изделий по контролируемому параметру Y (%)	$a_3 = 70,0$	$a_4 = 15,0$	85,0
Всего	80,0	20,0	100,0

Коэффициент корреляции можно вычислить по формуле:

$$r = \frac{a_1 a_4 - a_2 a_3}{\sqrt{(a_1 + a_2)(a_3 + a_4)(a_1 + a_3)(a_2 + a_4)}} = -0,14. \quad (17)$$

Рассмотрим случай разделения каждого признака на три группы с целью изучения влияния нескольких вариантов технологического процесса (B_i) на качество изделия по контролируемому параметру, например, принадлежность изделия к высшей, первой или второй категории качества (A_i) (табл. 7).

Таблица 7 – Влияние нескольких вариантов технологического процесса (B_i) на качество изделия по контролируемому параметру

Варианты технологического процесса B_i	Варианты по качеству изделия B_i .		
	A_1	A_2	A_3
	Высшая категория	1 категория	2 категория
B_1	$A_1 B_1$	$A_2 B_1$	$A_3 B_1$
B_2	$A_1 B_2$	$A_2 B_2$	$A_3 B_2$
B_3	$A_1 B_3$	$A_2 B_3$	$A_3 B_3$

Для вычисления коэффициента корреляции такого статистического комплекса может быть использована формула:

$$r = \frac{n a_1 - a_x a_y}{\sqrt{a_x a_y (n - a_x)(n - a_y)}}, \quad (18)$$

где: a_1 – частота, стоящая на пересечении соответственного столбца (A) с соответствующей строкой (B);

n – сумма всех значений в клетках, т.е. $\sum a_i$;

a_x – сумма всех частот соответственного столбца (A);

$a_y \dots$ – сумма частот соответствующей строки (B).

Рассмотрим случай определения корреляционных зависимостей между качественными и количественными признаками контролируемого параметра технологического процесса и изделия.

Коэффициент корреляции в этом случае определится по формуле:

$$r = \frac{\bar{y} - y_1}{\sigma} \sqrt{\frac{n_1}{n - n_1}}, \quad (19)$$

где: $\bar{y} \dots$ – среднее арифметическое значение параметра технологического процесса для всей совокупности изделий, у которых был проконтролирован параметр по альтернативному признаку;

\bar{y}_1 – среднее арифметическое значение параметра технологического процесса для той совокупности изделий, которые по контролируемому параметру обладают определенным признаком, например, являются дефектными;

σ – среднее квадратическое отклонение параметра технологического процесса, вычисленное для всей совокупности изделий, у которых был проконтролирован параметр по альтернативному признаку;

n – общая численность совокупности изделий;

n_1 – число изделий, которые обладают определенным признаком по контролируемому параметру, например, являются дефектными.

Не менее значимой и актуальной является задача установления корреляционных связей между количественными и качественными признаками контролируемой продукции и технологических процессов [Моделирование процесса..., 1998; Надгериева и др., 2009].

Предположим, что требуется измерить зависимость между скоростью изготовления детали V , (сек) и ее качеством. Результаты исследований приведены в таблице 8.

По формуле (11) определим значение коэффициента корреляции между скоростью изготовления детали и ее качеством:

$$r = \frac{37,1 - 30,97}{5,66} \sqrt{\frac{90}{510 - 90}} = 0,5. \quad (20)$$

Можно сделать вывод, что между скоростью изготовления детали и ее качеством существует средняя теснота связи: причем, чем выше скорость изготовления детали V , тем выше ее качество.

Таблица 8 – Результаты исследований зависимости между скоростью изготовления детали V , (сек) и ее качеством

V, (сек)	Количество деталей, штук		
	годных	дефектных	всего
20-25	52	10	62
25-30	111	22	133
30-35	147	40	187
35-40	62	14	76
40-45	48	4	52
Всего	$n - n_1 = 420$	$n_1 = 90$	$n = 510$

При наличии нелинейной зависимости между параметрами технологического процесса и контролируемых параметров изделия

коэффициент может дать ошибочное представление о тесноте связи. В подобных случаях вместо коэффициента корреляции вычисляется корреляционное отношение – η .

Корреляционное отношение η – величина всегда положительная, колеблющаяся в пределах от 0 до 1 и дающая представление лишь о величине связи, причем характер этой связи в основном определяется формулой линии регрессии.

Корреляционное отношение вычисляется по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - \sigma_{\bar{y}}^2}{\sigma_y^2}}, \quad (21)$$

$$\text{где: } \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sqrt{(y - \bar{y})^2} \quad \sigma_{\bar{y}}^2 = \frac{1}{n} \sqrt{\bar{y} - \bar{\bar{y}})^2} \quad \text{или } r^2 = 1 - \frac{\eta_y^2}{\sigma_y^2}.$$

В общем виде корреляционное отношение можно представить так:

$$\eta^2 = 1 - \frac{\sigma_{\bar{y}}^2}{\sigma_y^2} \quad \text{или } \eta^2 = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{\bar{y}}^2}{\sigma_y^2}, \quad (22)$$

где n – число измерений КП изделия или параметров технологического процесса.

Считается, что регрессия линейна, если $n(\eta^2 - r^2) < 11, 37$.

Корреляционное отношение для статистического комплекса определяется уравнением:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum \frac{\rho_{ij}^2}{m_{ij}} - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}}, \quad (23)$$

где: ρ_{ij} – сумма значений клетки;

m_{ij} – количество значений клетки;

n – общее количество значений данного фактора.

Корреляционное отношение можно выразить через показатель достоверности: Q_η

$$\eta = \sqrt{\frac{Q_\eta(a-1)}{Q_\eta(a-1) + (n-a)}}, \quad (24)$$

где: a – число групп при числе степеней свободы $k_1 = a-1$, $k_2 = n-a$.

$$Q_{\eta} = \frac{(\sum \frac{\rho_{ij}^2}{m_{ij}} - \frac{(\sum y_i)^2}{n})(n-a)}{(\sum y_i^2 - \sum \rho_{ij}^2)(a-1)}. \quad (25)$$

На примере влияния различных видов оборудования и материала на стойкость режущего инструмента покажем вычисление корреляционного отношения. Для этого необходимо вычислить корреляционные отношения для групп материалов В₁ и В₂. Результаты экспериментов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты экспериментов по оценке влияния различных видов оборудования и материала на стойкость режущего инструмента

Тип оборудования/ вид материала	A1	A2	A3	A4
В1	9 13 11	12 13 15	13 12 16	14 15 14
	14 13 13	12 10 11	15 16 12	12 15 16
	9 12 12	7 12 12	10 12 11	11 13 16
В2	9 11 11	8 15 12	14 16 11	14 10 13
	10 9 12	9 10 11	9 16 15	13 15 14
	10 9 9	7 8 10	11 11 10	12 15 12

Для сумм значений ρ_{ij} и m_{ij} составим новую таблицу.

Таблица 10 – Суммы значений ρ_{ij} и m_{ij}

Тип оборудования/ вид материала	A1	A2	A3	A4
В1	106	104	117	126
	9	9	9	9
В2	90	90	113	118
	9	9	9	9

По данным таблицы 10 определим коэффициент достоверности Q_{η} для групп В₁ по формуле (25).

$$Q_{\eta_{B_1}} = \frac{(5735 - \frac{205209}{36})}{(5861 - 5735)3} = 2,96.$$

По формуле (24) определим корреляционное отношение:

$$\eta_{B_1} = \sqrt{\frac{2,96(4-1)}{2,96(4-1) + (36-4)}} = 0,46.$$

Проведя аналогичные расчеты для групп В₂, получим:

$$Q_{\eta_{B_2}} = 5,76; \dots \eta_{B_2} = 0,59.$$

По результатам расчетов можно сделать вывод, что вид оборудования и материал оказывают влияние на стойкость режущего инструмента.

Для оценки значимости коэффициента корреляции для заданного числа измерений n КП изделия или параметров ТП и доверительной вероятности γ (обычно в технике $\gamma = 0,95$) вычисляют значение статистики Стьюдента по формуле:

$$t = \frac{|r_{xy}| \sqrt{n}}{1 - r_{xy}^2}. \quad (26)$$

Далее величина статистики t сравнивается с ее критическим значением $t_{кр}$, которое выбирается из таблицы работ в зависимости от величины γ и числа степеней свободы $\nu = n - 1$.

Если $t < t_{кр}$, то коэффициент корреляции считается несущественным и его появление объясняется случайностями выборки;

при $t > t_{кр}$, коэффициент корреляции можно считать существенным, а связь между соответствующими случайными параметрами X и Y достоверной.

В технике довольно часто используется следующая классификация тесноты корреляционных связей:

Если величина $|r_{xy}| < 0,2$ – между параметрами X и Y нет связи, при $0,2 > |r_{xy}| < 0,5$ – связь слабая.

Если величина $0,5 > |r_{xy}| < 0,75$ – связь средняя, при $0,75 > |r_{xy}| < 0,95$ – связь сильная.

Считается, что при $|r_{xy}| > 0,95$ между параметрами X и Y существует функциональная связь.

Для того, чтобы обеспечить заданную надежность определения коэффициента корреляции или корреляционного отношения, необходимо уметь определить число измерений контролируемых параметров или параметров технологического процесса, которое может определяться по формулам:

– при известном коэффициенте корреляции:

$$n^1 = \left(\frac{1 - r_{xy}^2}{r_{xy}^2} \right) (Q^1 + 2); \quad (27)$$

– при известном корреляционном отношении:

$$n^2 = \left(\frac{1 - \eta^2}{\eta^2} \right) (a - Q^1) + a, \quad (28)$$

где: Q^1 – величина, соответствующая определенной доверительной вероятности ($\gamma = 0,95$, $\gamma = 0,99$, $\gamma = 0,999$), выбирается из таблицы работы.

Следует отметить, что если связь между параметрами X и Y носит нелинейный характер, то коэффициент корреляции не может дать оценки зависимости между ними.

Если даже $r_{xy} = 0$, то это еще не свидетельствует о том, что между параметрами X и Y нет связи.

Выводы

Достоинством данного исследования является решение значимой и актуальной задачи установления корреляционных связей между количественными и качественными признаками контролируемой продукции и технологических процессов.

Результаты проведенного исследования подчеркивают новые, ранее не используемые возможности применения методов корреляционного анализа для исследования различных технологических процессов авиационной, оборонной, химической и других отраслей промышленности и их влияние на качество готовой продукции и изделий.

Библиографический список

- Бешелев Ф. Г.* Математико-статистические методы экспертных оценок. 2 изд., перераб. и доп. / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. М.: Статистика, 1980. 263 с.
- Венецкий И. Г.* Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. М.: Статистика. 1974. 61 с.
- Виниченко А. В.* Корреляционная матрица для сложноструктурированных поведенческих факторов и параметров технологического процесса // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 4. С. 88–92. DOI 10.31799/2949-0693-2023-4-88-92. EDN BNTJOA.
- Гирилович Н. В.* Применение статистических методов при анализе несоответствий несоответствующей продукции в процессе производства / Н. В. Гирилович, Г. В. Довгополая // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 40-45. DOI 10.21122/1683-6065-2021-3-40-45. EDN POAICU.
- Григорьева Т. А.* Корреляционно-регрессионный анализ технологических параметров / Т. А. Григорьева, В. Н. Толубаев // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 3 (39). С. 57–61. DOI 10.18324/2077-5415-2018-3-57-61. EDN YAUXHN.
- Ефремов Н. Ю.* Применение регрессионного анализа для исследования влияния технологических параметров на показатели качества наполнения полимеров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 22. № 4 (96). С. 81-85. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-4-81-85. EDN RSBVVV.
- Закс Л.* Статистическое оценивание. М.: Статистика. 1976. 598 с.
- Калугин Ю. Б.* Использование корреляционного анализа для определения величины шага контроля при управлении технологическими процессами // Специальная техника и технологии транспорта. 2020. № 7 (45). С. 29-32. EDN ZQLTZI.
- Кумэ Х.* Статистические методы повышения качества. М.: Финансы и статистика, 1990. 304 с.
- Надгериева Д. А.* Обработка информации о количестве неисправностей электроэнергетических систем с применением регрессионного анализа / Д. А. Надгериева, А. Э. Дзгоев // Инженерные решения. 2009. № 6 (16). С. 18-23.
- Терентьев В. П.* Метод корреляционных плеяд // Вестник ЛГУ. 1959. № 9. С. 137-141.
- Терентьев П. В.* Дальнейшее развитие метода корреляционных плеяд // Применение математических методов в биологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1960. С. 27-36.

Тишанинов Н. П. Метод определяющих критериев качества технологического процесса / Н. П. Тишанинов, А. В. Анашкин // Наука в центральной России. 2019. № 3 (39). С. 48-55. EDN LEECHB.

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

Чистяков С. П. Моделирование процесса принятия решений при выборе методов статистического анализа. Отчет о НИР № 97–01–00554 / С. П. Чистяков, Ю. Л. Павлов, С. В. Стафеев, В. Н. Харин // Российский фонд фундаментальных исследований. 1998. EDN AQMEWF

Яшин С. Н. Оценка зависимости устойчивости инновационного развития и экономического состояния промышленных предприятий на основе корреляционного анализа / С. Н. Яшин, Ю. С. Солдатова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. Риски, анализ и оценка. 2015. С. 10-18. EDN TSNJUZ.

References

Beshelev F. G., Gurvich F. G. (1980). Mathematical and statistical methods of expert assessments. 2nd ed., pererab. and add. Moscow: *Statistics*, 1980. 263 p. (In Russian)

Chistyakov S. P., Pavlov Yu. L., Stafeev S. V., Kharin V. N. (1998). Modeling the decision-making process when choosing statistical analysis methods. Research Report No. 97-01-00554. *Russian Foundation for Basic Research*. 1998.

Efremov N. Yu. (2020). Application of regression analysis to study the effect of technological parameters on polymer filling quality indicators. *Izvestia Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 22-4(96): 81-85. (In Russian)

Girilovich N. V., Dovgopolaya G. V. (2021). The use of statistical methods in the analysis of inconsistencies of inappropriate products in the production process. *Casting and metallurgy*. 3: 40-45.

Grigorieva T. A., Tolubaev V. N. (2018). Correlation and regression analysis of technological parameters. *Systems. Methods. Technology*. 3(39): 57-61. (In Russian)

Kalugin Yu. B. (2020). The use of correlation analysis to determine the size of the control step in process control. *Special equipment and technologies of transport*. 7(45): 29-32. (In Russian)

Kherson 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)

Kume H. (1990). Statistical methods for quality improvement. Moscow: *Finance and Statistics*. 1990. 304 p. (In Russian)

Nadgerieva D. A., Dzgoev A. E. (2009). Processing information on the number of failures of electric power systems using regression analysis. *Engineering solutions*. 6(16): 18-23. (In Russian)

Sachs L. Statistical evaluation. Moscow: *Statistics*. 1976. 598 p. (In Russian)

Terentyev P. V. (1960). Further development of the correlation galaxy method. *Application of mathematical methods in biology*. 27-36. (In Russian)

Terentyev V. P. (1959). Method of correlation pleiads. *Bulletin of Leningrad State University*. 9: 137-141.

Tishaninov N. P., Anashkin A. V. (2019). Method of determining the quality criteria of the technological process. *Science in Central Russia*. 3(39): 48-55.

Venetsky, I. G., Venetskaya V. I. (1974). Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis. Moscow: *Statistics*. 1974. 61 p. (In Russian)

Vinichenko, A. V. (2023). Correlation Matrix for Complexly Structured Behavioral Factors and Process Parameters. *Innovative Instrumentation*. 2(4): 88-92. (In Russian)

Yashin S. N., Soldatova Yu. S. (2015). Assessment of the dependence of the sustainability of innovative development and the economic state of industrial enterprises based on correlation analysis. *Financial analytics: problems and solutions. Risks, analysis and assessment*. 10-18. (In Russian)

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

УДК 351.814.331

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_22

УНИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЧЕТЫРЁХМЕРНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ПОЛЁТА НА КРЕЙСЕРСКОМ ЭТАПЕ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

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

¹аспирант

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

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

²преподаватель-исследователь

*²Вьетнамская Авиационная Академия,
104 ул. Нгуен Ван Чой, квартал 8, район Фу Нюан*

Хошимин, Вьетнам

phuongntlp@vaa.edu.vn

Евгений Сергеевич Неретин,

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

кандидат технических наук, доцент

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет),

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

neretines@mai.ru

Нгуен Ньы Ман,

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

кандидат технических наук

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет),

Волоколамское ш., д. 4

Москва, 125993, Россия

nguennt@mai.ru

Аннотация. В данной работе предложена унифицированная методика для решения задач планирования и коррекции оптимальных четырёхмерных траекторий (4D-траекторий) полёта воздушного судна (ВС) по заданным всеми участниками сообщества организации воздушного движения (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 модели многослойной нейронной сети для построения предпочитаемых пользователем траекторий 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. Для того чтобы продемонстрировать эффективность применения предложенной методики, проведём серию экспериментов как при планировании оптимальных 4D-траекторий с нуля, так и при их коррекции в полёте, учитывая наличие опасных зон (ОЗ) в ВП и их отсутствие.

Ключевые слова: планирование оптимальных четырёхмерных траекторий полёта, коррекция оптимальных четырёхмерных траекторий полёта, модели многослойной нейронной сети, A-star алгоритм, кривая Безье.

UNIFIED METHODOLOGY FOR PLANNING OPTIMAL FOUR-DIMENSIONAL FLIGHT TRAJECTORIES AT THE CRUISING STAGE IN AIR TRAFFIC MANAGEMENT

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

¹Ph. D. Student

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

²teacher-researcher

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

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

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

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

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

Abstract. This paper proposes a unified methodology for solving the problems of planning and correcting optimal four-dimensional flight trajectories of an aircraft according to the optimality criteria specified by all participants in the air traffic management (ATM) community, taking into account the influence of wind conditions, no-fly zones, moving zones of difficult weather conditions and other aircrafts. To solve mentioned problems, multilayer neural network models are used to construct user-preferred trajectories based on training the data of completed flights along the corresponding route, the A-star algorithm is used to generate optimal trajectories bypassing stationary and moving zones of dangerous proximity of aircraft, as well as the Bezier curve is used to smooth the piecewise linear trajectories formulated by the A-star algorithm according to the requirements for safe tolerances of aircraft flight trajectories. In order to demonstrate the effectiveness of using the proposed methodology, the authors conducted a series of experiments both when planning optimal trajectories pre-departure and when correcting them in flight, taking into account the presence of danger zones (DZ) in the airspace and without them.

Keywords: optimal four-dimensional flight trajectory planning, optimal four-dimensional flight trajectories correction, multilayer neural network models, A-star algorithm, Bezier curve.

Введение

Модули В0-40, В1-40 и В3-05, указанные в Глобальном аэронавигационном плане (ГАНП) [Глобальный аэронавигационный план..., 2013; Глобальный аэронавигационный план..., 2016], предусматривают внедрение новых концепций и технологий, обеспечивающих возможность использования 4D-траекторий (широта, долгота, высота, время) и управления скоростью с целью повышения уровня безопасности полётов и эффективности процесса принятия решений Организации воздушного движения (ОрВД), в частности, операций, основанных на 4D-траектории полёта (ТВО – trajectory-based operations). Многие страны и эксплуатанты самолетов уже проводят тестирование и выполняют полёты по маршрутам с 4D-траекторией. В настоящее время все самолеты Airbus и новые модели самолетов Boeing оснащены авионикой, соответствующей требованиям четырёхмерной навигации. 4D-траектория является ключевой концепцией для ICAO, NextGen в США, а также для SESAR в Европе и будущих проектов органов воздушного движения в других странах. Несмотря на разнообразие разрабатываемых технологий и инструментов, концепция и предполагаемое применение 4D-траекторий остаются практически неизменными.

Внедрение операций, основанных на траекториях полёта, способствует более полному пониманию будущих условий ОрВД, включая интеграцию эксплуатационных задач за счет повышения уровня ситуационной осведомленности и совместного использования данных бортовых и наземных систем при принятии стратегических и тактических решений. Эта интегрированная четырёхмерная информация о траектории синхронизируется и передается операторам воздушных судов, поставщикам аэронавигационного обслуживания и другим заинтересованным сторонам для применения в стратегическом планировании и принятии тактических решений (Рис. 1).

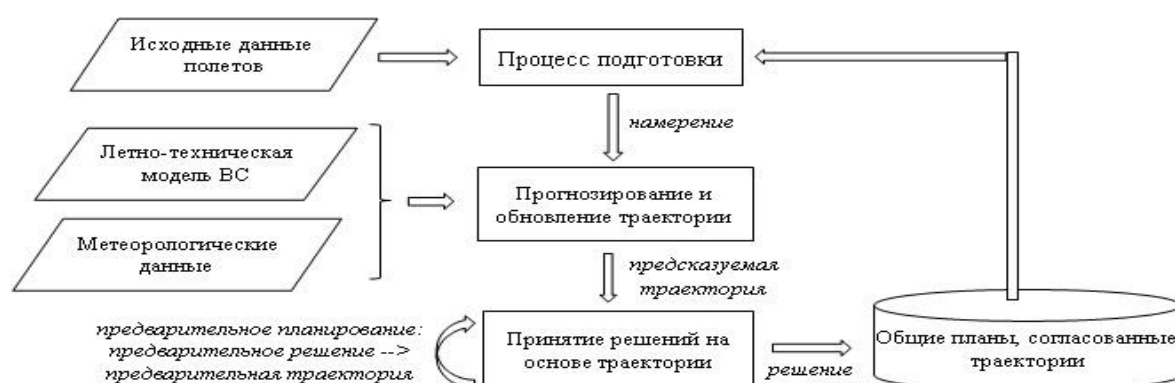


Рисунок 1 – Использование траектории для принятия решений в ТВО [Mondoloni et al., 2020, p. 100640]

Материалы, методы, принятые допущения и критерии оптимальности

При решении задачи разработки методики для планирования оптимальных 4D-траекторий полёта на крейсерском этапе были использованы методы теории графов, статистического анализа, системного анализа, искусственного интеллекта, методы оптимизации, численные методы математического анализа, метод объектно-ориентированного программирования и компьютерного моделирования, методы экспериментальных исследований, методы имитационного моделирования.

Результат анализа документов ИКАО, научных исследований и результатов практических проектов показывает, что цели участников сообщества ОрВД при планировании оптимальных траекторий полёта заключаются в следующих критериях оптимальности: минимизация длины линии фактического пути (ЛФП) 4D-траектории, минимизация расхода топлива, минимизация времени полёта, минимизация сбора аэронавигационных услуг, максимизация точности выдерживания конструируемой траектории и возможности предотвращения опасных сближений с другими ВС и стационарными/перемещающимися запретными зонами ВП. Эти факторы являются ключевыми для обеспечения требуемого уровня безопасности полётов и для принятия экипажем решения о выборе оптимальной траектории полёта.

Различные участники ОрВД предлагают изменения к согласованной траектории в соответствии с индивидуальными целями оптимизации. Должна быть установлена эффективная координация, чтобы гарантировать, что эти цели соответствующим образом будут обеспечены или определена приоритетность целей для достижения осуществимого решения по траектории. Следует отметить, что для обеспечения возможности выполнения воздушным судном полёта по согласованной наиболее оптимальной траектории в качестве общего плана для всех участников ОрВД необходимо учитывать следующие важные ограничения:

- *Облет стационарных и перемещающихся опасных зон в ВП.* В данной работе применяется предложенная в [Нгуен и др., 2024] методика идентификации и разрешения конфликтных ситуаций в крейсерском режиме полёта на основе узлов четырёхмерной сетки (4D-сетка) и алгоритма поиска кратчайшего пути A^* для формирования траекторий облета как стационарных, так и перемещающихся зон сложных метеоусловий, запретных зон или зон опасного сближения с другими ВС-нарушителями. При этом, координаты таких зон вписаны в список CLOSE как нерассмотренные узлы сетки при генерации оптимальных 4D-траекторий полёта алгоритмом A^* .

- *Наблюдение норм эшелонирования.* Согласно рекомендациям ИКАО [Руководство по применению минимума..., 2012; Правила аэронавигационного обслуживания..., 2016], в воздушном пространстве устанавливаются минимальные интервалы вертикального эшелонирования – 300 м (1000 фут) между воздушными судами до эшелона полёта FL290 и между воздушными судами с применением сокращенных интервалов

вертикального эшелонирования (RVSM) от эшелона полёта FL290 до эшелона полёта FL410. Минимум горизонтального эшелонирования при использовании системы наблюдения обслуживания воздушного движения (радар, АЗН-В или MLAT), предписанный в документе [Правила аэронавигационного обслуживания..., 2016], составляет 5 морских миль на крейсерском участке маршрута полёта.

- *Обеспечение безопасности полётов по требованиям к летно-техническим характеристикам ВС.* Для решения поставленной задачи с использованием модифицированного алгоритма А* были установлены размеры шага координатной сетки пространства: 1000 футов по вертикальной оси и 5 морских миль по горизонтальной. Такие параметры обеспечивают соответствие требованиям по точности траекторных вычислений и безопасности полётов [Нгуен и др., 2024].

На крейсерском этапе полёта изменения метеорологических условий или воздушного трафика могут потребовать изменения высоты крейсерского полёта самолета, включая ее повышение или снижение. Угол наклона траектории в узловых точках предложенной координатной сетки пространства принимается равным либо 0° , либо максимальному значению $\theta_{\max} \approx 2.655^\circ$. Эти параметры обеспечивают безопасность движения воздушного судна с учетом его летно-технических характеристик и динамических особенностей [Нгуен и др., 2024].

$$\theta_{\max} = \arctan\left(\frac{\pm 1000 \text{ ft}}{\sqrt{(5MN)^2 + (5MN)^2}}\right) = \pm 2.655^\circ. \quad (1)$$

Следует отметить, что перемещение ВС в перпендикулярном направлении отключено (т. е движение ВС к точке над и под текущей точкой запрещено).

В результате вычислений модифицированный алгоритм А* формирует траектории в виде ломаных линий с углами поворота 90° и 135° , проходящих через последовательные соседние точки с известными координатами. Однако в поворотных пунктах маршрута (ППМ) изменение курса с учетом динамических характеристик воздушного судна делает движение по таким траекториям невозможным. Следовательно, для обеспечения безопасности полётов и точности планирования 4D-траекторий необходимо сгладить участки поворотов, обеспечив переход между ними по дугам с радиусом R , который определяется путевой скоростью воздушного судна и допустимым углом крена.

$$R = \frac{GS^2}{g \cdot \tan \gamma}, \quad (2)$$

где GS – путевая скорость ВС на рассматриваемых участках (м/с); R – радиус поворота (м); $g = 9.31 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\gamma = 5^\circ$ – допустимый угол крена ВС для поворотов на больших высотах.

Для планирования оптимальной 4D-траектории, по которой движение ВС будет возможным с учетом динамических особенностей ВС и устранения его сближений с опасными зонами в ВП, в данной работе используются цифровой фильтр Савицкого-Голея третьего порядка и кубическая кривая Безье для сглаживания данных и построения сглаженной траектории внутри допустимого коридора заданного размера, соответствующего требуемой навигационной спецификации (в данной работе применяется RNAV/RNP2) и не превышающего вышеуказанные нормы эшелонирования.

Для повышения эффективности совместного принятия решений участниками сообщества организации воздушного движения (ОрВД) необходимо обеспечить доступ к точной, надежной и своевременной информации о состоянии воздушного пространства и его использования. Качество и доступность такой информации напрямую влияют на уровень ситуационной осведомленности экипажей воздушных судов и диспетчеров, что оказывает существенное влияние на процесс выбора согласованной траектории полёта.

Как правило, выбираемая траектория должна быть оптимальной в соответствии с заданными критериями. В предлагаемой методике, в качестве критериев оптимальности рассматриваются: минимальное расстояние (длина линии заданного пути, ЛЗП) между начальной и конечной точками траектории; минимальный расход топлива; минимальное время полёта; минимальный сбор за аэронавигационное обслуживание (АНО); минимальное отклонение от заданного эшелона; минимальная погрешность определения координат ВС у спутниковых систем навигации (ССН) ГЛОНАСС и минимальное отклонение от требуемого времени прибытия (RTA) при условии обеспечения требуемого уровня безопасности полёта по ней.

- *Минимизация отклонения от пунктов обязательных донесений.* Пункт обязательных донесений (ПОД) представляет собой установленную точку на воздушной трассе, местной воздушной линии, маршруте полёта, схеме вылета или захода на посадку, пролет которой летный экипаж воздушного судна сообщает органу ОВД [Приказ Минтранса России ..., 2011]. Обычно, чтобы обеспечить безопасность, эффективность и регулярность воздушного движения, ПОД размещаются на пересечении воздушных маршрутов, на границах передачи между различными диспетчерскими пунктами, а также в точках входа и выхода на маршруты с процедурой захода на посадку и покидания зоны аэродрома.

Необходимость доклада о прохождении каждого ПОД может быть отменена диспетчером в случае наличия точной технической информации о местоположении воздушного судна (вторичная радиолокация). В этом случае диспетчер уведомляет о следующем ПОД или другом ориентире, через который экипаж должен пролететь.

Для повышения точности выполнения полёта по планируемой траектории необходимо минимизировать отклонение этой траектории от ПОД, через которые ВС должно пролететь.

- *Минимизация отклонения от предпочитаемой пользователем траектории.* Предпочитаемая пользователем траектория (ППТ) представляет собой маршрут полёта, который наилучшим образом соответствует ожиданиям пользователя. Выдаваемая системой траектория будет всегда нацелена на то, чтобы попытаться в максимально возможной степени приблизиться к этим ожиданиям. При переходе от используемой в настоящее время модели ОрВД к концепции организации движения на основе траектории полёта, производство полётов будет организовано так, чтобы обеспечить оптимальный системный результат при минимальном отклонении от четырёхмерной ППТ [Глобальная эксплуатационная концепция..., 2005].

В данной работе предпочитаемая пользователем траектория формируется с использованием метода машинного обучения, предложенного в работах [Neretin et al., 2022; Neretin et al., 2023], который основан на модели многослойной нейронной сети, обученной на данных о выполненных полётах по соответствующему маршруту.

- *Минимизация расхода авиатоплива или минимизация времени полёта применением индекса стоимости.* Индекс стоимости (Cost Index) представляет собой соотношение стоимости единицы времени на эксплуатацию ВС к стоимости единицы топлива.

$$CI = \frac{C_t}{C_f}, \quad (3)$$

где C_f – стоимость единицы затрачиваемого на полёт топлива; C_t – стоимость единицы затрачиваемого на полёт времени.

Индекс стоимости является эффективным и гибким инструментом для контроля расхода топлива и времени полёта за счет замены увеличенного количества топлива на сокращение времени полёта или наоборот.

Для планирования оптимальных траекторий по критерию минимизации расхода топлива и/или затрачиваемого времени, индекс стоимости должен находиться в пределах от нуля до максимального значения. Такие значения определяются авиакомпаниями в зависимости от стратегии полётов. Диапазон значений индекса стоимости для рассматриваемого в данной работе самолета Боинг 747-400 составляет от 0 до 9999 [Roberson, 2007], при этом $M=80$ является наивыгодным числом Маха данного самолета.

С целью уменьшения избыточных вычислений при обеспечении значимых расчетных данных результатов, в данной работе используются два предельных значения ($M=0$ и $M=9999$) и наивыгодное значение ($M=80$) числа Маха в экспериментах.

- *Минимизация аэронавигационного сбора.* Каждый полёт обязан уплачивать сбор за аэронавигационное обслуживание при перелёте воздушного пространства государства, включающее в себя предоставление средств навигации и связи, обслуживание воздушного движения, предоставление метеорологической и аэронавигационной информации, а также осуществление операций по поиску и спасанию экипажей и пассажиров ВС, находящихся в бедственной ситуации [Правила государственного регулирования сборов..., 2011]. Аэронавигационный сбор составляет

существенную долю в общей стоимости полёта, особенно для международных полётов, пролетающих через ВП разных государств.

В данной работе сбор за аэронавигационное обслуживание полёта (С) был приближен путем суммирования сборов за перелёт через секторы. Другими словами, даже если ВС пролетит через один и тот же сектор несколько раз, соответствующий сбор за аэронавигационное обслуживание учитывается в целевой функции только один раз для данного сектора. Для реализации этого расчета переменной С в каждой точке координатной сетки присваивается индекс, отражающий принадлежность данной точки к определенному сектору. В ходе работы алгоритма А* сбор за АНО в последовательных точках траектории, расположенных в одном секторе, обновляется путем присвоения значения 0 сбору в рассмотренных точках и установления сбора для рассматриваемой точки. Этот процесс продолжается до получения результативной оптимальной 4D-траектории полёта.

- *Минимизация отклонения от требуемого времени прибытия.* Требуемое время прибытия (Required Time of Arrival, RTA) в контексте Международной организации гражданской авиации (ИКАО) – это планируемое время прибытия воздушного судна в конкретную точку пути, которое является результатом расчетов и координации между пилотами и диспетчерами с учетом множества факторов, таких как погодные условия, планируемая скорость полёта, дорожная задержка и другие параметры, чтобы обеспечить безопасное и эффективное движение воздушных судов. Требуемое время прибытия (RTA) может применяться диспетчерами, обеспечивающими обслуживание на маршруте и в ТМА в целях согласования спроса/пропускной способности, регулирования потоков и установления очередности прибытия ВС. Это также способствует оптимальному управлению траекторией полёта ВС со стороны пилотов и уменьшению количества случаев неэффективного тактического вмешательства органов УВД за счет своевременного планирования движения ВС по маршруту и организации их прибытия, что способствует повышению степени оптимизации профиля и предсказуемости полётов ВС, а также позволяет повысить стабильность и надежность очередности, установленной органом УВД. Это должно привести к уменьшению необходимости выполнения воздушными судами полётов в зоне ожидания, для которых характерно неэффективное сжигание топлива, а также связанное с этим химическое и шумовое загрязнение.

Следовательно, важным критерием при планировании оптимальной 4D-траектории полёта является минимизация отклонения от требуемого времени прибытия (RTA), что позволит пользователям ВП и поставщикам ОВД улучшить организацию своей деятельности за счет расширения возможностей прогнозирования.

- *Минимизация погрешности определения координат ВС.* Обеспечение точности выдерживания запланированной траектории в ходе выполнения полёта по ней является одной из самых необходимых задач при планировании оптимальной 4D-траектории полёта, поскольку в случае недостаточной точности выдерживания траектории, длина линии фактического пути (ЛФП)

может значительно превысить расчетное значение – длину линии заданного пути (ЛЗП) и стать больше, чем при полёте по траектории с большей длиной расчетной ЛЗП, но построенной в высокоточном навигационном поле.

Известно, что точность ССН в значительной степени зависит от геометрии расположения навигационных спутников (НС) относительно потребителя. Параметром, оценивающим влияние геометрии размещения НС на точность определения координат, является геометрический фактор ($PDOP$), который изменяется по времени в трехмерном пространстве [Скрыпник и др., 2020].

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2, \quad (4)$$

где $PDOP$ – ГФ в пространстве, $HDOP$ – ГФ в горизонтальной плоскости, $VDOP$ – ГФ в вертикальной плоскости.

В данной работе предлагаемые алгоритмы конструируют оптимальную траекторию так, чтобы обходить участки с «плохими» значениями $PDOP$, обеспечивая в среднем минимальное значение $PDOP$ по траектории полёта. Данные о точности ГЛОНАСС загружены на сайте <https://glonass-iac.ru>.

Дискуссия

На крейсерском этапе полёта пересмотр траектории может быть инициирован органами управления воздушным движением (УВД) из-за секторного планирования или конфликтов, а также по запросу экипажей воздушных судов. Это может быть вызвано неоптимальными летными характеристиками или целью увеличения эффективности и летно-технических характеристик полёта.

Предложенные в работах [Арефьева, 2019; Будков, 2021; Fett, 2014] методы решения задачи планирования оптимальных 4D-траекторий полёта ВС не предоставляют унифицированного подхода к решению данной многокритериальной задачи оптимизации, что приводит к недостаточной согласованности и координации между участниками системы ОрВД при совместном принятии стратегических и тактических решений. Во всех вышеуказанных работах оптимальная траектория полёта строилась без учета взаимодействия с другими ВС, находящимися в том же времени и воздушном пространстве, а также без учета перемещающихся зон сложных метеоусловий, которые часто появляются в ходе полёта ВС. В работе [Fett, 2014] рассматривались три критерия оптимальности: длина траектории полёта, расход топлива, время полёта с учетом стационарных запретных зон и зон ограничения полётов. В работе [Арефьева, 2019] рассматривались два критерия оптимальности: длина траектории полёта и точность ССН ГЛОНАСС с учетом стационарных запретных зон и зон опасных метеообразований. В работе [Будков, 2021] рассматривались четыре критерия оптимальности: длина траектории полёта, расход топлива, время полёта и выдерживание требуемого времени прибытия (RTA) с учетом влияния

стационарных запретных зон и ветровой обстановки с постоянными скоростью и направлением.

Показано, что в краткосрочной перспективе одним из наиболее перспективных решений проблем, связанных с расходом топлива, выбросами, насыщенностью воздушного пространства и перегруженностью органов ОрВД, является оптимизация траекторий полёта. Это решение становится осуществимым в основном благодаря развитию передовых инструментов и систем планирования полётов и внедрению перспективных регламентированных ИКАО технологий. Инструменты и системы следующего поколения должны будут развиваться для поддержки будущих концепций, таких как 4D-траектория и операция, основанная на траектории полёта [Method for calculating..., 2021]. Эти концепции направлены на повышение эффективности полётов, предсказуемости расписания за счет лучшего прогнозирования и гармонизации траекторий полётов воздушных судов. Для того чтобы реализовать предусматриваемые эксплуатационные преимущества 4DT-ТВО, необходимо разработать методики и алгоритмы для точного расчета 4D-траекторий полётов, что сыграет важную роль в разработке FMS следующего поколения, а также в совершенствовании инструментов поддержки принятия решений, необходимых для снижения рабочей нагрузки экипажей ВС и авиадиспетчеров.

Следовательно, возникает задача исследования и разработки унифицированной методики для планирования оптимальных 4D-траекторий полёта, учитывая цели всех участников системы ОрВД под влиянием фактической ветровой обстановки, перемещающихся зон сложных метеоусловий, постоянных/временных запретных зон и движения других ВС.

Результаты

В любых конкретных условиях процесс планирования можно разбить на три основных этапа: стратегическое планирование, предтактическое планирование и тактическое планирование¹. Однако сама задача планирования оптимальной 4D-траектории полёта может быть разделена на две основные подзадачи: планирование оптимальной траектории полёта перед полётом по требуемой глубине; коррекция оптимальной траектории полёта в полёте по необходимости. Поэтому разработка алгоритмов для решения поставленной задачи и оценка эффективности их применения осуществляются в ходе решения подзадач: Планирование оптимальных 4D-траекторий с нуля и Коррекция оптимальных 4D-траекторий относительно запланированной траектории при возникновении незапланированных нештатных факторов.

Целевая функция модифицированного алгоритма A-star

Предлагаемая целевая функция содержит более, чем одну независимую переменную, а значит рассматривается задача многокритериальной

¹ *Малыгин В. Б.* Характеристики перспективной системы организации воздушного движения: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины. Воронеж: ООО «МИР», 2019. 100 с.

оптимизации. Математическая формулировка целевой функции имеет следующий вид:

$$J = \sum_{i=1}^N f_{s_{i-1}s_i} = \sum_{i=1}^N g_{s_{i-1}s_i} + \sum_{i=1}^N h_{s_{i-1}s_i} \rightarrow \min \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь, } g_{s_{i-1}s_i} = & \Delta_{L_i} + k_{\text{ПОД}} \Delta_{\text{ПОД}_i} + k_{\text{ППТ}} \Delta_{\text{ППТ}_i} + k_{\text{мон}} \frac{1}{1+CI} m_{s_{i-1}s_i} + k_{\text{сп}} \frac{CI}{9999} \Delta t_{s_{i-1}s_i} \\ & + k_{\text{АНО}} C_{s_{i-1}s_i} + k_{\text{ЭШ}} \Delta H_{s_i} + k_{\text{RTA}} \Delta t_{\text{RTA}_i} + k_{\text{PDOP}} \Delta_{\text{PDOP}_i} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} h_{s_i s_N} = & \Delta_{L_N} + k_{\text{ПОД}} \Delta_{\text{ПОД}_N} + k_{\text{ППТ}} \Delta_{\text{ППТ}_N} + k_{\text{мон}} \frac{1}{1+CI} m_{s_i s_N} + k_{\text{сп}} \frac{CI}{9999} \Delta t_{s_i s_N} \\ & + k_{\text{АНО}} C_{s_i s_N} + k_{\text{ЭШ}} \Delta H_{s_N} + k_{\text{RTA}} \Delta t_{\text{RTA}_N} + k_{\text{PDOP}} \Delta_{\text{PDOP}_N} \end{aligned} \quad (5.2)$$

где: Δ_{L_i} – ортодромия от S_{i-1} до S_i (км); $\Delta_{\text{ПОД}_i}$ – расстояние от S_i до ПОД (км); $\Delta_{\text{ППТ}_i}$ – расстояние от S_i до ППТ (км); CI – индекс стоимости; $m_{s_{i-1}s_i}$ – расход топлива на расстояние от S_{i-1} до S_i (кг); $\Delta t_{s_{i-1}s_i}$ – время полёта от S_{i-1} до S_i (с); $C_{s_{i-1}s_i}$ – сбор за аэронавигационное обслуживание от S_{i-1} до S_i (денежные единицы); ΔH_{s_i} – расстояние от S_i до заданного эшелона; Δt_{RTA_i} – отклонение расчетного времени прибытия (ETA) в S_{i-1} от требуемого времени прибытия (RTA) в ПОД S_i ; Δ_{PDOP_i} – значение PDOP в точке S_i ; Δ_{L_N} – ортодромия от S_i до S_N (км); $\Delta_{\text{ПОД}_N}$ – расстояние от ПОД S_i до S_N (м); $\Delta_{\text{ППТ}_N}$ – расстояние от S_i до S_N (м); $m_{s_i s_N}$ – расход топлива на расстояние от S_i до S_N (кг); $\Delta t_{s_i s_N}$ – время полёта по ортодромии от S_i до S_N (с); $C_{s_i s_N}$ – суммарный сбор за аэронавигационное обслуживание в различных зонах/секторах УВД от S_i до S_N (денежные единицы); ΔH_{s_N} – расстояние от S_N до заданного эшелона; Δt_{RTA_N} – отклонение расчетного времени прибытия (ETA) в ПОД S_i от требуемого времени прибытия (RTA) в S_N ; Δ_{PDOP_N} – сумма значений PDOP в точках, ближайших к ортодромии от S_i до S_N ; и штрафные коэффициенты: $0 \leq k_{\text{ПОД}}, k_{\text{ППТ}}, k_{\text{мон}}, k_{\text{сп}}, k_{\text{АНО}}, k_{\text{ЭШ}}, k_{\text{RTA}}, k_{\text{PDOP}} \leq k_{i_пор}$.

На больших расстояниях, с учетом кривизны земной поверхности, для применения алгоритма А* при поиске оптимальных 4D-траекторий по узлам координатной сетки, необходимо сначала преобразовать данные из геодезической системы в прямоугольную систему координат. Координаты точек оптимальных 4D-траекторий, полученные в ходе экспериментов, также требуют обратного преобразования в геодезическую систему координат для использования в системах, взаимодействующих с графическими объектами [Нгуен и др., 2024].

Определение пороговых значений штрафных коэффициентов в целевой функции

Под пороговым значением штрафного коэффициента ($k_{i_пор}$) понимается такое значение штрафного коэффициента, при котором целевая функция (5) достигает насыщенного оптимального значения с учетом выявления и

устранения сближений ВС с опасными зонами (запретные зоны, зоны сложных метеоусловий, зоны опасного сближения с другими ВС), а время работы предлагаемого алгоритма не превышает требуемую глубину планирования.

Чтобы определить пороговое значение каждого штрафного коэффициента в целевой функции, серия экспериментов проводилась с использованием предлагаемой методики на языке Python в различных воздушных обстановках (наличие опасных зон и без них) для 3 значений индекса стоимости ($CI = 0,80,9999$), 11 значений числа Маха ($M = 0.8 - 0.9$) с шагом 0,01 и значения рассматриваемого штрафного коэффициента ($k_i = 0 - 1000$) с шагом 0,01.

В таблице 1 представлены расчетные пороговые значения всех штрафных коэффициентов, полученные вышеуказанным исследованием.

Таблица 1 – Расчетные пороговые значения всех штрафных коэффициентов

	$k_{ПОД_пор}$	$k_{ППТ_пор}$	$k_{мон_пор}$	$k_{сп_пор}$	$k_{АНО_пор}$	$k_{ЭШ_пор}$	$k_{RTA_пор}$	$k_{PDOP_пор}$
Отсутствие опасных зон	≥ 10	≥ 0.05	≥ 5	≥ 10	≥ 100	≥ 0.05	≥ 1000	≥ 1000
С наличием опасных зон	≥ 10	≥ 5	≥ 10	≥ 500	≥ 100	≥ 0.05	≥ 1000	≥ 1000
Итоговые значения	≥ 10	≥ 5	≥ 10	≥ 500	≥ 100	≥ 0.05	≥ 1000	≥ 1000

Алгоритмическое обеспечение унифицированной методики планирования оптимальных четырехмерных траекторий

Предлагаемая методика планирования оптимальных 4D-траекторий имеет возможности:

- Отвечать цели всех участников ОрВД по различным критериям оптимальности: минимизация длины траектории; минимизация отклонения от ПОД; минимизация отклонения от запланированной траектории; минимизация расхода топлива; минимизация времени полёта; минимизация сбора АНО; минимизация ошибки по времени прибытия; минимизация отклонения от заданного эшелона; минимизация погрешности определения координат ВС;

- Учитывать параметры воздушной обстановки (ветер, запретные зоны, стационарные/перемещающиеся зоны сложных метеоусловий, воздушные судна-нарушители) и ЛТХ ВС при планировании оптимальных 4D-траекторий;

- Осуществлять расчет множества существующих 4D-траекторий за один шаг вычислений без разделения вертикальной составляющей от горизонтальной;

- Обеспечивать время вычислений в соответствии с требованиями по глубине связанного этапа планирования.

Предлагаемая методика может описываться в виде алгоритма, состоящего из 12 последовательных представленных на рисунке 2 шагов.

Шаг 1. Выполняется ввод исходных данных для работы алгоритмов планирования оптимальных 4D-траекторий: начальная (S_0) и конечная (S_N) точки рейса, заданный эшелон (при наличии), удельный километровой расход топлива рассматриваемого ВС (q_k), заданное время прибытия (при наличии), скорость полёта (число M), штрафные коэффициенты критериев оптимальности ($0 \leq k_{\text{ПОД}}, k_{\text{ППТ}}, k_{\text{мон}}, k_{\text{вр}}, k_{\text{АНО}}, k_{\text{ЭШ}}, k_{\text{RTA}}, k_{\text{PDOP}} \leq k_{i_лор}$).

Шаг 2. Загрузятся географическая координатная сетка рассматриваемого ВП, ветровая обстановка, данные о метеоусловиях, запретные зоны и местоположения других ВС в анализируемый период времени.

Шаг 3. Загрузится ранее запланированная предпочитаемая пользователем траектория (при наличии).

Шаг 4. Создаются списки OPEN и CLOSE, потом соответственно в них записываются координаты анализируемых и запрещенных на анализ точек по заданным автором правилам.

Шаг 5. Используется модифицированный алгоритм A^* для планирования оптимальных 4D-траекторий полёта в соответствии с введенными на вышеизложенных шагах исходными данными и ограничениями.

Шаг 6. Выводятся координаты точек оптимальных 4D-траекторий, полученных из работы модифицированного алгоритма A^* в виде сломанных линий пути.

Шаг 7. Определяются параметры (длина, время полёта, расход топлива) найденных оптимальных траекторий.

Шаг 8. Применяется кубическая кривая Безье для сглаживания сформулированных алгоритмом A^* кусочно-линейных оптимальных траекторий с учетом ЛТХ ВС по углам крена и наклона траекторий, а также с учетом безопасного коридора планируемых траекторий в соответствии с требованиями аэронавигационной спецификации (RNAV/RNP).

Шаг 9. Определяются параметры (длина, время полёта, расход топлива и пр.) сглаженных оптимальных траекторий.

Шаг 10. Проверяются условия о безопасности выполнения воздушным судном полёта по найденным сглаженным оптимальным траекториям с учетом выдерживания нормы эшелонирования и предотвращения сближений ВС с опасными зонами в воздухе. Если «нет», то перейти на шаг 11, если «да», то перейти на шаг 12.

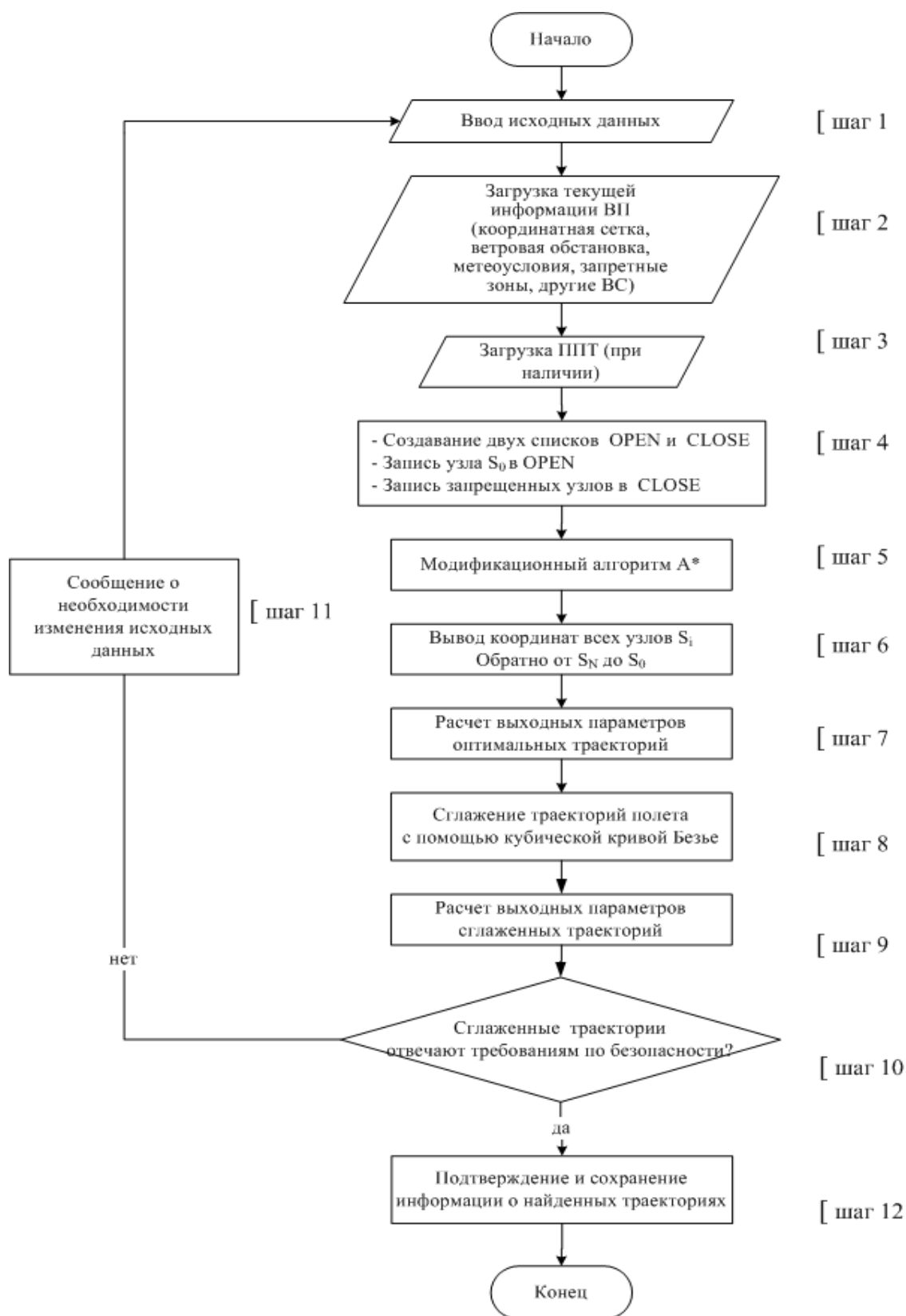


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма методики планирования оптимальных 4D-траекторий

Шаг 11. Выпускается сообщение о невозможном движении ВС по найденным сглаженным траекториям и о необходимости изменения исходных данных на шаг 1 и/или ограничений на шаг 8.

Шаг 12. Подтверждается и сохраняется информация о найденных сглаженных оптимальных траекториях.

Оценка эффективности выбранных критериев оптимизации

Для того чтобы продемонстрировать эффективность выбранных критериев оптимальности в решении поставленной задачи, проведём серию экспериментов как при планировании оптимальных траекторий с нуля, так и при их коррекции в полёте, учитывая наличие опасных зон (ОЗ) в ВП и их отсутствие.

В тестовой задаче использовалась координатная сетка размером 240x240x22, охватывающая пространство между параллелями 10° и 30° северной широты, меридианами 100° и 120° восточной долготы и эшелонами от FL180 до FL400. Была выбрана трасса длиной 500 км между точками S_0 и S_N , проходящая через ветровое поле. Рассматривался этап крейсерского полёта ВС Боинг 747-400 с постоянной скоростью M .

Заданные полётные параметры для рассматриваемого примера приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Заданные полётные параметры

Начальная точка, S_0	Конечная точка, S_N	Запретная зона	Движущаяся зона сложных метео-условий	Движущееся другое ВС	UTC	RTA	M	Эшелон
[15.6585N, 108.3046E, 18000ft]	[11.4235N, 107.5833E, 18000ft]	[13.5N, 107.6E], [13.5N, 108.2E], [12.5N, 108.2E], [12.5N, 107.6E], [0,35000ft]	[13.6N, 107.04E], [13.6N, 108.14E], [11.6N, 108.14E], [11.6N, 107.04E], [31000, 33000ft]	01	09:00:00	09:35:00	0.85	FL320

- При планировании оптимальных 4D-траекторий полёта с нуля ($k_{ППТ}=0$).

В таблице 3 показаны значения индекса стоимости, числа Маха и штрафных коэффициентов для соответствующих критериев оптимальности при планировании/коррекции 4D-траекторий с нуля (при отсутствии ППТ).

Таблица 3 – Значения индекса стоимости, числа Маха и штрафных коэффициентов

Критерий оптимальности	Штрафные коэффициенты	Индекс стоимости и Число Маха	Замечание
Минимизация длины траектории	$k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО} = k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация отклонения от ПОД	$k_{ПОД} = k_{ПОД_нор}$; $k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО} = k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Традиционный метод маршрутизации

Критерий оптимальности	Штрафные коэффициенты	Индекс стоимости и Число Маха	Замечание
Минимизация расхода топлива	$k_{мон} = k_{мон_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{ер} = k_{АНО}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$CI = \min$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация времени полёта	$k_{ер} = k_{ер_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{АНО}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$CI = \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация сбора АНО	$k_{АНО} = k_{АНО_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация отклонения по времени прибытия	$k_{RTA} = k_{RTA_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер}$ $= k_{АНО} = k_{ЭШ} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация отклонения от заданного эшелона	$k_{ЭШ} = k_{ЭШ_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер}$ $= k_{АНО} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация погрешности определения координат ВС	$k_{PDOP} = k_{PDOP_нор}$; $k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер}$ $= k_{АНО} = k_{ЭШ} = k_{RTA} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибкая маршрутизация
Минимизация отклонения от ПОД и заданного эшелона	$k_{ПОД} = k_{ПОД_нор}$; $k_{ЭШ} = k_{ЭШ_нор}$; $k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО}$ $= k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Традиционный метод маршрутизации
Компромиссная оптимизация по всем остальным критериям	$k_{ППТ} = 0$; $k_{ПОД} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = k_{i_нор}$	$\min \leq CI \leq \max$ $\min \leq M \leq \max$	Гибридный метод маршрутизации

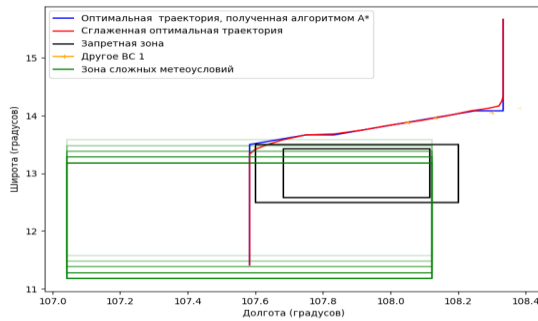
В таблице 4 представлены результаты решения подзадачи планирования оптимальных 4D-траекторий с нуля в поле ветра при наличии опасных зон и без них.

Таблица 4 – Результаты решения подзадачи планирования оптимальных 4D-траекторий с нуля

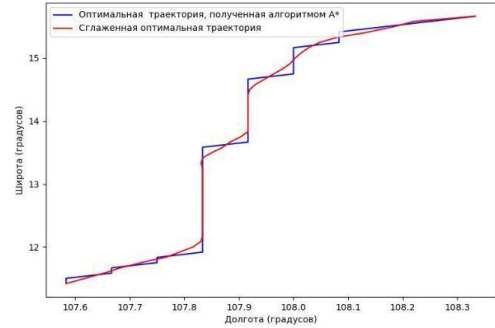
Критерий оптимальности	Опасные зоны	CI	Длина траектории (км)	Время полёта (с)	Расход топлива (кг)	Сбор за АНО, (ден. ед.)	Значение PDOP
Минимизация длины траектории (все $k_i = 0$)	Нет	80	505 (490)	1969 (1826)	5468 (5304)	400 (400)	52 (51)
	Да		516 (506)	1759 (1911)	5584 (5480)	400 (400)	52 (51)
Минимизация отклонения от ПОД ($k_{ПОД} = 10$)	Нет	80	506 (489)	2627 (1971)	5471 (5287)	400 (400)	52 (51)
	Да		575 (495)	2579 (2020)	6218 (5351)	400 (400)	58 (55)
Минимизация расхода топлива ($k_{топ_нор} = 500$)	Нет	0	505 (503)	2572 (1861)	5465 (5442)	500 (500)	52 (51)
	Да		520 (503)	2261 (1882)	5584 (5446)	500 (500)	52 (51)
Минимизация времени полёта ($k_{вр_нор} = 50$)	Нет	9999	505 (493)	1922 (1830)	5466 (5339)	400 (400)	52 (51)
	Да		518 (503)	1751 (1871)	5603 (5444)	400 (400)	52 (51)
Минимизация сбора АНО ($k_{АНО_нор} = 100$)	Нет	80	506 (490)	2178 (1837)	5473 (5302)	400 (400)	52 (51)
	Да		516 (505)	1774 (1896)	5585 (5469)	400 (400)	52 (51)
Минимизация отклонения по времени прибытия ($k_{РТА_нор} = 1000$)	Нет	80	558 (547)	2114 (2045)	6033 (5921)	500 (500)	40 (40)
	Да		632 (605)	2118 (2277)	6839 (5642)	500 (500)	43 (43)
Минимизация отклонения от заданного эшелона ($k_{ЭШ_нор} = 0.05$)	Нет	80	506 (492)	2147 (1984)	5472 (5318)	400 (400)	52 (51)
	Да		542 (531)	1773 (2146)	5870 (5744)	400 (400)	52 (51)
Минимизация погрешности определения координат ВС ($k_{PDOP_нор} = 1000$)	Нет	80	520 (512)	1943 (1903)	5623 (5543)	400 (400)	40 (40)
	Да		556 (538)	1849 (2000)	6018 (5822)	400 (400)	40 (40)
Минимизация отклонения от ПОД и заданного эшелона ($k_{ПОД_нор} = 10, k_{ЭШ_нор} = 0,05$)	Нет	80	506 (489)	2627 (1971)	5471 (5281)	400 (400)	52 (51)
	Да		575 (495)	2579 (2020)	6218 (5351)	400 (400)	58 (55)
Компромиссная оптимизация по всем остальным критериям (при $k_{ИИТ} = 0$)	Нет	80	506 (490)	2048 (1980)	5471 (5300)	500 (500)	52 (51)
	Да		520 (494)	2177 (1998)	5630 (5348)	500 (500)	52 (51)

В скобках указаны параметры сглаженных оптимальных траекторий

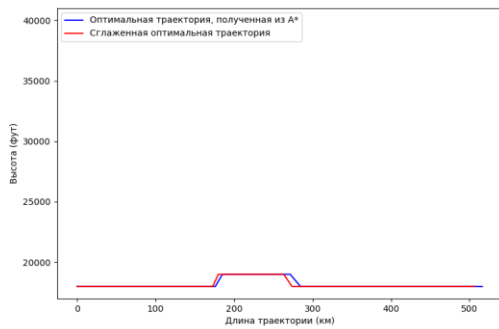
В качестве примера результатов проведенных экспериментов, на рисунках 3 и 4 представлены двухмерные и трехмерные графики планированных траекторий минимальной длины в географической СК при отсутствии ППТ ($k_{ППТ}=0$) с наличием опасных зон в ВП и без них, соответственно.



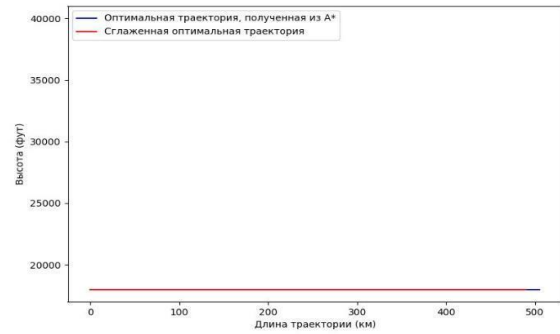
а) Горизонтальный профиль при наличии ОЗ



б) Горизонтальный профиль при отсутствии ОЗ

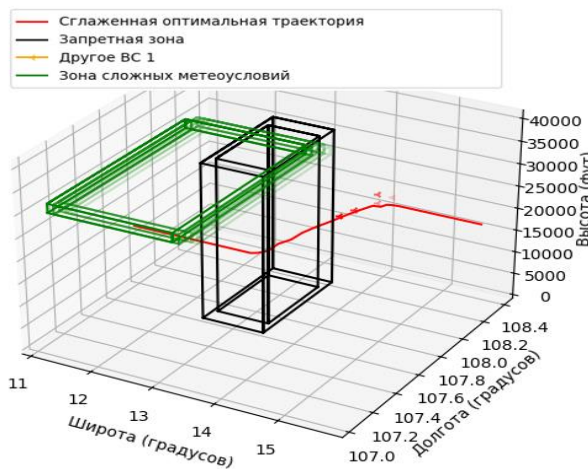


в) Вертикальный профиль при наличии ОЗ

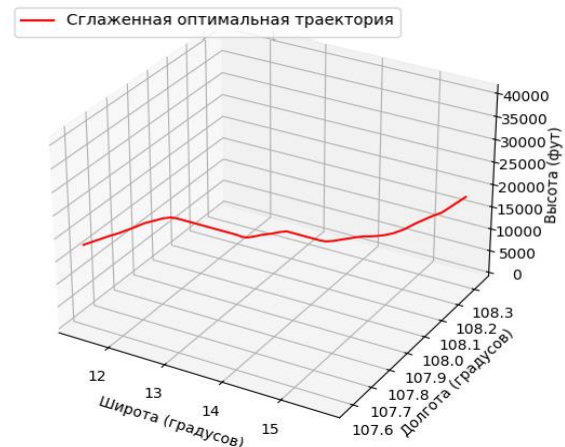


г) Вертикальный профиль при отсутствии ОЗ

Рисунок 3 – Двухмерная графика планированных траекторий при минимизации по длине траектории



а) при наличии ОЗ



б) при отсутствии ОЗ

Рисунок 4 – Трехмерная графика планированных траекторий при минимизации по длине траектории

- Коррекция 4D-траекторий ВС в полёте ($k_{ППТ} \neq 0$).

В таблице 5 показаны значения индекса стоимости, числа Маха и штрафных коэффициентов по критерию оптимальности «минимизация отклонения от ППТ» при коррекции 4D-траекторий в полёте.

Таблица 5 – Значения индекса стоимости, числа Маха и штрафных коэффициентов

Критерий оптимальности	Штрафные коэффициенты	Индекс стоимости и Число Маха	Замечание
Минимизация отклонения от ППТ	$k_{ППТ} = k_{ППТ_нор}$; $k_{ПОД} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = 0$	$min \leq CI \leq max$ $min \leq M \leq max$	Гибкая маршрутизация
Компромиссная оптимизация по всем критериям	$k_{ПОД} = k_{ППТ} = k_{мон} = k_{ер} = k_{АНО}$ $= k_{ЭШ} = k_{RTA} = k_{PDOP} = k_{i_нор}$	$CI = min$ $min \leq M \leq max$	Модифицированный традиционный метод маршрутизации
		$CI = max$ $min \leq M \leq max$	

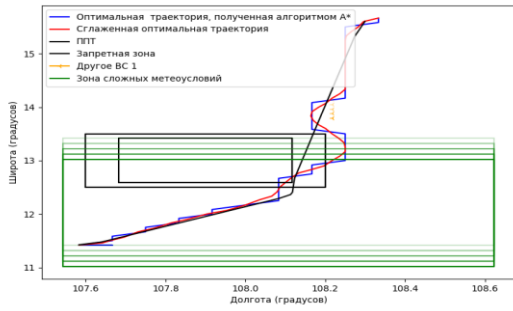
В таблице 6 представлены результаты решения подзадачи коррекции оптимальных 4D-траекторий в полёте под влиянием ветра при наличии опасных зон и без них.

Таблица 6 – Результаты решения подзадачи коррекции оптимальных 4D-траекторий в полёте

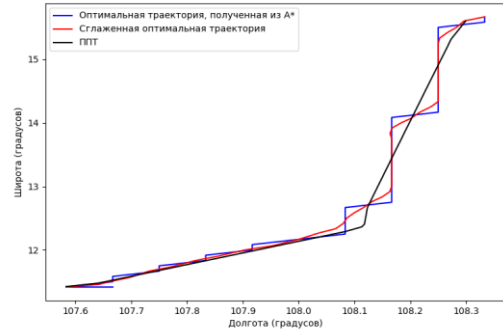
Критерий оптимальности	CI	Опасные зоны	Отклонение по длине, км	Отклонение по расходу топлива, кг	Отклонение по времени прибытия, с
Минимизация отклонения от ППТ ($k_{ППТ_нор} = 5$)	80	Нет	+79 (+9)	+859 (+98)	+289 (-112)
		Да	+87 (+11)	+939 (+125)	+97 (-79)
Компромиссная оптимизация по всем критериям	80	Нет	+32 (+10)	+349 (+113)	+20 (+106)
		Да	+32 (+14)	+349 (+150)	+72 (-100)

*В скобках указаны параметры сглаженных оптимальных траекторий
«+» обозначает увеличение, «-» обозначает уменьшение по сравнению с ППТ*

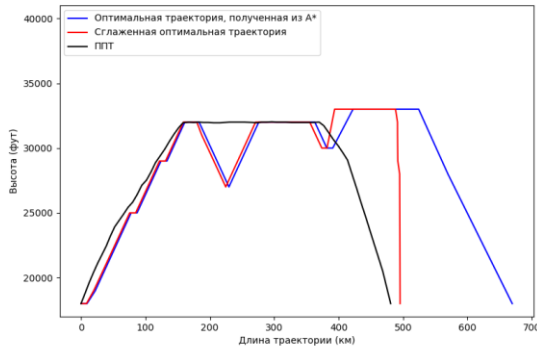
В качестве примера результатов проведенных экспериментов, на рисунках 5 и 6 представлены двумерные и трехмерные графики планированных траекторий в географической СК с учетом ППТ ($k_{ППТ} = k_{ППТ_нор}$) при наличии опасных зон в ВП и без них, соответственно.



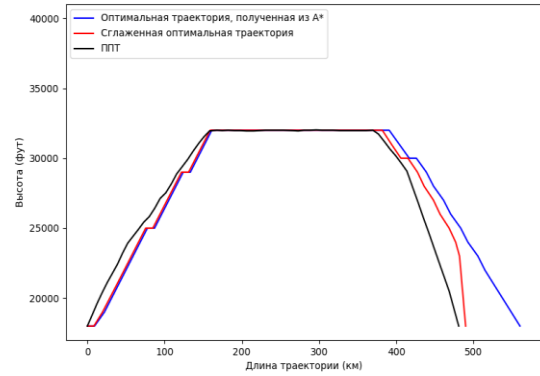
а) Горизонтальный профиль при наличии ОЗ



б) Горизонтальный профиль при отсутствии ОЗ

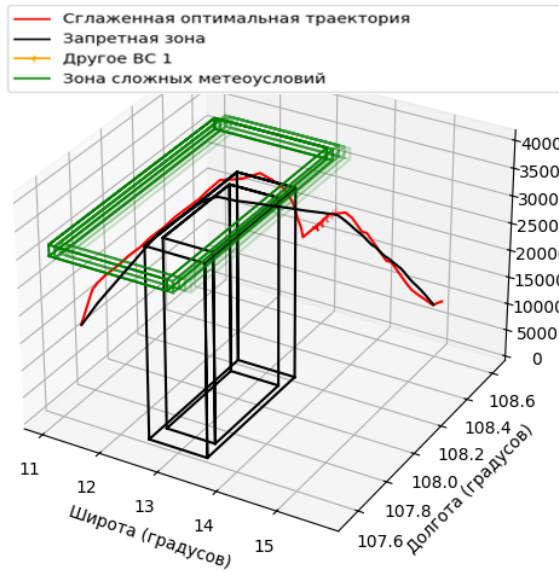


в) Вертикальный профиль при наличии ОЗ



г) Вертикальный профиль при отсутствии ОЗ

Рисунок 5 – Двухмерная графика планированных траекторий при минимизации отклонения от ППТ



а) при наличии ОЗ



б) при отсутствии ОЗ

Рисунок 6 – Трехмерная графика планированных траекторий при минимизации отклонения от ППТ

Полученные результаты в таблицах 4 и 6 демонстрируют корректность работы разрабатываемой методики, так как наибольший выигрыш выходного

параметра наблюдается для траектории с соответствующим критерием оптимальности.

Оценка эффективности использования модифицированного алгоритма A^* с точки зрения времени вычислений

На время работы модифицированного алгоритма A^* при планировании оптимальной четырёхмерной траектории влияют: длина пути от начальной и конечной точек планируемой траектории; месторасположение, размер и общее количество опасных зон вдоль ортодромии, соединяющей начальную и конечную точки траектории; присутствие хорошей эвристической оценки в целевой функции.

Для демонстрации влияния перечисленных факторов на итоговое время вычислений проведём серию экспериментов и проанализируем их результаты. Эксперименты проводились на персональном компьютере (ПК) с процессором 11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11400F, базовой тактовой частотой 2,6 ГГц и установленной оперативной памятью 16.0 GB.

Чтобы показать зависимость времени вычислений от расстояния между начальной и конечной точками, выполним планирование оптимальных 4D-траекторий с дальностью от 500 км до 1500 км с шагом 500 км при отсутствии опасных зон вдоль их ортодромий. Результаты экспериментов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Время работы модифицированного алгоритма

Начальная точка, S_0	Конечная точка, S_N	Расстояние между начальной и конечной точками, км	Время работы, с
[15.6043N,108.2995 E, 18000ft]	[11.4235N,107.583 3E,18000ft]	500	0.39
[20.5865N,106.0800 E,18150ft]	[11.6554N,107.902 3E,18323ft]	1000	1.25
[24.8139N,102.5830 E,18550ft]	[10.9054N,107.363 9E,18050ft]	1500	1.62

Теперь продемонстрируем влияние опасных зон на время работы предлагаемого алгоритма. Влияние опасных зон в первую очередь приводит к увеличению длины траектории, а значит также приводит к увеличению количества анализируемых точек пространства в процессе планирования траектории полёта. Рассмотрим пример планирования оптимальных 4D-траекторий с расстоянием между начальной и конечной точками, равным примерно 500 км, с наличием стационарных и перемещающихся по времени в пространстве опасных зон вдоль ортодромии и без них. Результаты оценки влияния опасных зон на время работы предлагаемого алгоритма показаны в таблице 8.

Таблица 8 – Время работы предлагаемого алгоритма

Координаты начальной точки	Координаты конечной точки	Расстояние между точками, км	Опасные зоны	Фактическая длина траектории, км	Время работы, с
[15.6043N,108.2995E, 18000ft]	[11.4235N,107.5833E, 18000ft]	496	Да	558	4,58
			Нет	496	0.39

В заключительном эксперименте продемонстрируем влияние эвристической части целевой функции на время работы предлагаемого алгоритма (табл. 8). Влияние эвристической части выражается через количество анализируемых точек пространства за полный цикл поиска решения задачи.

Таблица 9 – Время работы предлагаемого алгоритма при наличии и отсутствии эвристической части целевой функции

Координаты начальной точки	Координаты конечной точки	Расстояние между точками, км	Опасные зоны	Эвристическая оценка	Время работы, с
[15.6043N,108.2995E, 18000ft]	[11.4235N,107.5833E, 18000ft]	496	Нет	Да	0.39
				Нет	18,39

Заключение

Разработанная унифицированная методика может быть эффективно использована как в наземных системах планирования полётов у авиакомпаний и органа организации потоков воздушного движения, так и в бортовой системе самолётовождения ВС для предполётного планирования, оперативных мониторинга и коррекции оптимальных 4D-траекторий полёта, а именно:

- обеспечивать поиск оптимальных 4D-траекторий по нескольким критериям оптимальности, отвечающих целям оптимизации участников системы ОрВД, что позволяет повысить эффективность процесса совместного принятия решений;
- выполнять расчёт 4D-траектории за один шаг вычислений;
- учитывать влияние ветровой обстановки, наличие стационарных запретных зон, а также движущихся зон сложных метеоусловий или воздушных судов-нарушителей;
- обращать внимание на лётно-технические характеристики и динамические особенности воздушного судна.

Методами математического моделирования проведено тестирование разработанных алгоритмов для различных сценариев, характеризующих воздушную и аэронавигационную обстановку в предоставляемом воздушном пространстве. Анализ результатов проведенных экспериментов на примере тестовых задач для типовых сценариев выполнения полёта ВС в предоставляемой зоне ВП показал работоспособность и эффективность

применения предложенных методик и алгоритмов, а также достоверность полученных результатов.

Библиографический список

Арефьева Н. Г. (2019). Конструирование оптимальных траекторий полёта воздушных судов в поле точности ГЛОНАСС при гибкой маршрутизации: специальность 05.22.13 «Навигация и управление воздушным движением»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Арефьева Наталья Геннадьевна. Москва. 167 с. EDN HLLPNT.

Будков А. С. (2021). Разработка системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации в гражданской авиации: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Будков Александр Сергеевич. 168 с. EDN CCLIFY.

Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД: документ 9854. 1-е издание. Монреаль, Канада: ИКАО, 2005. 93 с.

Глобальный аэронавигационный план на 2013–2028 гг.: документ 9750. 4-е издание. Монреаль, Канада: ИКАО, 2013. 147 с.

Глобальный аэронавигационный план на 2016–2030 гг.: документ 9750. 5-е издание. Монреаль, Канада: ИКАО, 2016. 142 с.

Нгуен Т. Л. Ф. (2024). Разработка методики идентификации и разрешения конфликтных ситуаций при оперативном планировании четырёхмерной траектории полёта. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык.* 2 (41): 77-95.

Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения. Документ 4444. 16-е издание. Монреаль, Канада: ИКАО, 2016. 508 с.

Правила государственного регулирования сборов за аэронавигационное обслуживание полётов воздушных судов пользователей воздушного пространства, Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 ноября 2011 г. № 978.

Приказ Минтранса России от 25.11.2011 № 293 (ред. от 14.02.2017) «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Организация воздушного движения в Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2011 № 22874).

Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м (1000 фут) между ЭП 290 и ЭП 410 включительно: документ 9574. 3-е издание. Монреаль, Канада: ИКАО, 2012. 70 с.

Скрыпник О. Н. Оптимизация траектории мобильного псевдоспутника для повышения точности интегрированного навигационно-временного поля ГЛОНАСС / О. Н. Скрыпник, Р. О. Арефьев // *Современные наукоемкие технологии.* 2020. № 2. С. 51-58.

Fett G. D. Aircraft Route Optimization Using the A-Star Algorithm // *Theses and Dissertations.* 2014. 69 p.

Method for calculating aircraft flight trajectories in presence of winds / G. Ghazi, R. Botez, Ch. Bourrelly, A.-A. Turculet // *Journal of Aerospace Information Systems.* 2021. vol. 18, № 7. pp. 442-463. DOI 10.2514/1.I010879.

Mondoloni S. Aircraft trajectory prediction and synchronization for air traffic management applications / S. Mondoloni, N. Rozen // *Progress in Aerospace Sciences.* 2020. № 119. p. 100640. DOI 10.1016/j.paerosci.2020.100640.

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

Neretin, E., Nguyen, M., Nguyen, P. (2023). Using Data-Driven Approach in 4D Trajectory Prediction: A Comparison of Common AI-Based Models. In: *Gorbachev, O.A., Gao, X., Li, B.*

(eds). Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. 2023. № 1. P. 125-133.
Roberson B. Fuel Conservation Strategies: Cost Index Explained // *Aero magazine, Boeing*. 2007. № 26(02). P. 26-28.

References

- Arefieva N. G.* (2019). Design of optimal flight trajectories of aircraft in the GLONASS accuracy field with flexible routing: dis. candidate of technical sciences 05.22.13 / N. G. Arefieva. Moscow: *MSTU GA*. 167 p. (In Russian)
- Budkov A. S.* (2021). Development of a decision support system for the problem of four-dimensional navigation in civil aviation: dis. candidate of technical sciences 05.13.01 / A. S. Budkov. Moscow: *MAI*. 168 p. (In Russian)
- Neretin E. S., Phuong N. T. L., Quan N. N. H.* (2022). An Analysis of Human Interaction and Weather Effects on Aircraft Trajectory Prediction via Artificial Intelligence. *2022 XIX Technical Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky (TSCZh)*. (1): 85-89.
- Fett G. D.* (2014). Aircraft Route Optimization Using the A-Star Algorithm. *Theses and Dissertations*. 2014. 672 p.
- Ghazi Georges, Botez Ruxandra, Bourrely Charles, and Turculet Alina-Andreea.* (2021). Method for calculating aircraft flight trajectories in presence of winds. *Journal of Aerospace Information Systems*. 18 (7): 442-463.
- Government of the Russian Federation.* Rules of state regulation of charges for air navigation services for flights of aircraft of airspace users, Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of November 28, 2011 No. 978. (In Russian)
- ICAO.* Doc 4444. Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management, 16th Edition incorporating Amendment 12. 2016. ISBN: 978-92-9275-458-7.
- ICAO,* Doc 9574. Manual on a 300 m (1 000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive. Third Edition. 2012. ISBN: 978-92-9249-059-1
- ICAO.* Doc 9750 –2013–2028 Global Air Navigation Plan. Fourth Edition – 2013. ISBN: 978-92-9249-365-3
- ICAO.* Doc 9750 . 2016–2030 Global Air Navigation Plan. Fifth Edition – 2016. ISBN: 978-92-9258-000-1
- ICAO.* Doc 9854. Global Air Traffic Management Operational Concept. First Edition. 2005. ISBN:92-9194-554-4.
- Mondoloni S., Rozen N.* (2020). Aircraft trajectory prediction and synchronization for air traffic management applications. *Progress in Aerospace Sciences*. (119): 376-421.
- Neretin E., Nguyen M., Nguyen P.* (2023). Using Data-Driven Approach in 4D Trajectory Prediction: A Comparison of Common AI-Based Models. In: *Gorbachev, O.A., Gao, X., Li, B.* (eds). *Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore*. (1): 125-133.
- Nguyen T. L. Ph., Neretin E. S., Nguyen N. M.* (2024). Development of a conflict detection and resolution methodology used in the operational flight 4D-trajectory planning”, *Crede Experto: transport, society, education, language*. 2 (41): 77-95. (In Russian)
- Order of the Ministry of Transport of Russia* dated 25.11.2011 № 293 (as amended on 14.02.2017) "On approval of the Federal Aviation Rules "Air Traffic Management in the Russian Federation" (Registered in the Ministry of Justice of Russia on 30.12.2011 № 22874). (In Russian)
- Roberson B.* (2007) Fuel Conservation Strategies: Cost Index Explained // *Aero magazine, Boeing*. 26 (02): 26-28.
- Skrypnik O. N., Arefev R. O.* (2020). Optimization of a mobile pseudolite track for increasing accuracy of the glonass integrated navigation-and-time field. *Modern high technologies*. (2): 51-58. (In Russian)

СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 621.396.61: 351.814.334
ББК 39.60 + 32.843
DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_46

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫМИ КЛЮЧАМИ В УСИЛИТЕЛЯХ РАДИОСТАНЦИЙ АЗН-В РЕЖИМА 4

*Федор Михайлович Степанов,
orcid.org/0009-0007-0929-6011,
соискатель
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А.А. Новикова,
ул. Пилотов, 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
stepanovfm@yandex.ru*

Аннотация. Построение высокоэффективных средств связи, наблюдения и навигации с применением ключевых усилителей мощности (КУМ) требует пересмотра традиционных подходов к схемотехнике радиопередающих устройств. Параметры физического уровня систем автоматического зависящего наблюдения-вещания (АЗН-В) с использованием линий передачи данных режима 4 (ЛПД режима 4) теоретически позволяют использовать КУМ в составе своих передатчиков. Особенно важную роль подобное улучшение играет в связи с процессами интеграции беспилотных воздушных судов (БВС), на борту которых ограничены запасы энергии, в общее воздушное пространство.

Одной из важных задач в рамках конструирования таких средств радиотехнического обеспечения полётов, работающих в ОВЧ диапазоне (в первую очередь бортовых, но также и наземных), является определение подходов в управлении транзисторными ключами усилителя мощности, исходя из критериев эффективности, стабильности и возможности обеспечения различных режимов работы ключевого усилителя. Выработаны требования к устройству управления с учётом стандарта для физического уровня ЛПД режима 4. Дается заключение об оптимальных решениях, пригодных к построению передатчика VDL-4 с ключевым усилителем мощности, открывая перспективы увеличения коэффициента полезного действия (КПД) более 90% по сравнению с сегодняшними значениями, не превышающими 46%.

Ключевые слова: ЛПД ОВЧ режима 4, ключевой усилитель мощности, режимы (D, DE, E), устройство управления, интегральная микросхема.

TRANSISTOR SWITCHES DRIVING IN ADS-B / MODE 4 AMPLIFIERS

*Fedor M. Stepanov,
orcid.org/0009-0007-0929-6011,
applicant
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, Pilotov Street
Saint Petersburg, 196210, Russia
stepanovfm@yandex.ru*

Abstract. Design process of highly efficient means of communication, surveillance and navigation using switch-mode amplifiers requires a revision of traditional approaches to the circuitry of radio transmitting devices. The parameters of the physical layer of ADS-B systems using VHF datalink mode 4 (VDL-4) theoretically allow the use of switch-mode amplifiers as part of their transmitters. Such an improvement plays a particularly important role in the context of integrating unmanned aerial vehicles (UAV) with limited energy reserves on board into the general airspace.

One of the important tasks in the design of such radio technical support for flights operating in the VHF range (primarily onboard, but also ground-based) is to determine approaches to control transistor switches of a power amplifier based on the criteria of efficiency, stability and the ability to provide different operation modes of the switch-mode amplifier. Requirements for the control device have been developed taking into account the standard for the physical layer of VHF datalink mode 4. A conclusion is given on the optimal solutions suitable for building a VDL-4 transmitter with a switch-mode power amplifier, opening up prospects for increasing the efficiency of more than 90%, compared to today's not exceeding 46%.

Keywords: VHF mode 4 LPD, switch-mode power amplifier, modes (D, DE, E), control device, integrated circuit.

Введение

Ключевые усилители мощности получили заслуженное распространение в радиопередатчиках диапазонов СЧ [Алипов и др., 2005], ВЧ [Варламов и др., 2011] и СВЧ [Кириллов и др., 2018; Кищинский, 2018]. Не менее перспективным видится применение передатчиков с ключевыми усилителями мощности для средств связи, наблюдения и навигации ОБЧ диапазона. В частности, одним из направлений применения таких схемотехнических решений являются транспондеры АЗН-В режима 4 (VDL-4). Неоспоримым преимуществом ключевых усилителей мощности является высокий КПД передатчиков, оснащённых такими усилительными каскадами, порядка 95-98% в теории и 90-93% на практике [Tong et al., 2021]. Однако, с конструкторской точки зрения невозможно просто произвести замену линейного усилителя мощности на усилитель, работающий в ключевых режимах. Необходимо практически полностью пересмотреть традиционную структурную схему радиопередающего устройства (РПДУ) (рис. 1-2.) [Степанов, 2024а].



Рисунок 1 – Структура РПДУ с линейным усилением сигналов угловых видов модуляции

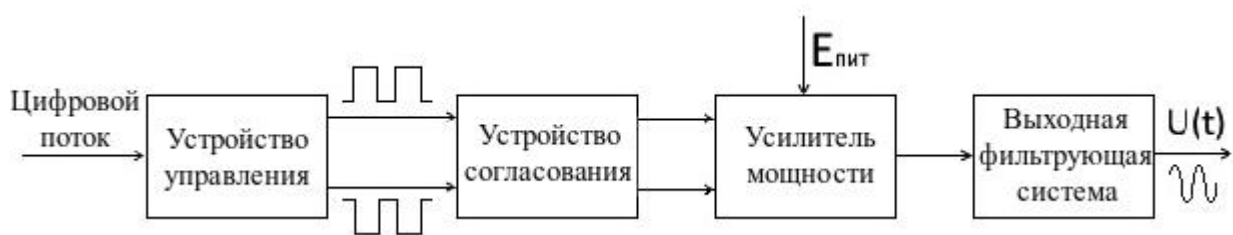


Рисунок 2 – Структура РПДУ с ключевым усилением сигналов угловых видов модуляции

Постановка задачи

Одним из основных ограничений реализации подобных КУМ являлось отсутствие до недавнего времени достаточных по быстродействию и подходящих по диапазону рабочих частот транзисторов, серийно производимых промышленностью. Немаловажным также является тот факт, что для научного и инженерного сообщества авиационный ОВЧ-диапазон в данном ключе не представлял того интереса, которого он заслуживает. Основными направлениями исследований последнее время были преимущественно ключевые усилители мощности класса E, работающие в СВЧ диапазоне [Ahmadi et al., 2018], и ранее ключевые усилители мощности различных режимов работы в диапазонах СЧ [Алипов, 2006] и ВЧ [Варламов и др., 2011; Зудов, 2019]. Наиболее близко к авиационному ОВЧ-диапазону в своих исследованиях подошли учёные школы Санкт-Петербургского Политехнического университета (Сороцкий В.А., Зудов Р.И., Треймут Н.А.), изучая возможность построения ключевых усилителей мощности для средств метеорной радиосвязи на частотах до 60 МГц [Треймут, 2023]. Тем не менее, даже эта частота более чем в два раза ниже применяемых в технологии VDL-4.

В связи с появлением элементной базы усилительных приборов, удовлетворяющей требованиям стандарта VHF mode 4 [VHF air-ground..., 2015], в части энергетических и спектральных характеристик [Степанов, 2024a], становится актуальным вопрос управления такими транзисторами, работающими в ключевом режиме в ОВЧ диапазоне. Выборка из современных транзисторов с указанием их характеристик приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры GaN транзисторов

Транзистор	Напряже- ние сток- исток ($U_{си}$), В	Ток стока (I_c), А	Сопротивле- ние сток-исток ($R_{си}$), мОм	Сопротивле- ние затвор- исток ($R_{зи}$), мОм	Макс. время задержки импульса ($T_{delay.max}$), нс	Время нарас- тания импу- льса (T_r), нс	Время спада импу- льса (T_{fall}), нс
GS61008P	100	90	7	0.8	<1	0.51	0.5
CGH40025	84	3	20	285	<1	<1	<1
EPC8008	40	2.7	0.325	2.85	<1	1.77	2.1
GS61004B	40	38	16	0.9	<1	1.1	0.7

В ряде ранее опубликованных работ [Иванюшкин и др., 2020; Нгуен и др., 2022] управление транзисторными ключами в различных схемах усилителей рассматривается весьма ограниченно. Основной фокус внимания уделяется самим усилительным приборам, в то время как управляющие прямоугольные импульсы предполагаются как идеальные (форма, напряжение, ток), поступающие на вход транзисторов в должной последовательности и от идеального источника. Не описаны, в частности, особенности работы устройства управления при многоступенчатой схеме усилителя, когда различные группы ключей коммутируют разные по уровню напряжения стока-истока. В настоящей статье рассматриваются различные подходы к задаче управления транзисторными ключами в диапазоне частот 118-137 МГц.

Материалы и методы

При проектировании радиостанции VDL-4 существует соблазн использования готовых модуляторов, выполненных на одном кристалле, например, таких как Si4464 производства Silicon Instruments или ADF7020-1 от Analog Devices. Несмотря на то, что оба они удовлетворяют большинству требований стандарта, приведённых в таблице 2, ни один, ни другой не способны создавать на своих ВЧ-выходах меандровые (прямоугольные) сигналы, предназначенные для управления транзисторными ключами.

Таблица 2 – Параметры физического уровня VDL-4

Диапазон частот	118-137 МГц (ОВЧ)	
Рабочая частота	136,925 МГц	
Точность установки частоты несущей	$\pm 0,0002\%$ ($\pm 2 \cdot 10^{-6}$)	
Класс излучения	F1D	
Мощность передатчика	класс А	класс В
	15Вт \pm 1,5дБ	4Вт \pm 1,5дБ
Тип модуляции	GFSK	
ВТ параметр фильтра Гаусса	0,28 \pm 0,03	
Индекс модуляции	0,25 \pm 0,03	
Кодирование	NRZI	
Скорость передачи данных	19200 бит/с	

Оба модулятора предназначены для формирования чистого синусоидального выходного сигнала, как указано в технической документации [Analog Devices..., 2018; Silicon Laboratories..., 2020]. При подаче такого сигнала на управляющий контакт транзистора непосредственно положительный эффект высокого КПД от ключевых режимов работы

достигнут не будет, поскольку управляющий сигнал будет изменяться по гармоническому закону, а не будет попеременно изменять своё состояние до значений напряжения отсечки и обратно к нулю, то есть по сути будет работать в линейном режиме усиления класса А [Дьяконов, 2013; Титце и др., 2008;].

$$I(t) = I_0 \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (1)$$

$$U_{out}(t) = K_u U_0 \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (2)$$

$$K_u = \frac{2I_d}{V_{gs} - V_{th}} * R_d \quad (3)$$

где $I(t)$ – мгновенное значение тока гармонического сигнала;
 I_0 – амплитуда (максимальное значение) тока;
 f – частота сигнала в Герцах;
 φ – начальная фаза сигнала;
 $U_{out}(t)$ – мгновенное значение напряжения усиленного сигнала;
 K_u – коэффициент усиления по напряжению;
 I_d – ток стока усилительного прибора;
 V_{gs} – напряжение затвор-исток;
 V_{th} – напряжение отсечки;
 R_d – сопротивление нагрузки.

Поскольку GFSK-сигнал является частным случаем частотно-модулированного сигнала с постоянной огибающей, одним из наиболее технологичных способов преобразования промодулированного сигнала в прямоугольные импульсы без потери информации является применение компаратора. Компараторы, применяемые для преобразования радиочастотных сигналов, должны обладать существенным быстродействием, чтобы формировать на выходе сигналы с достаточно крутыми фронтами импульса для соответствующей радиочастоты. Для обеспечения возможности реализации различных режимов работы ключевого усилителя мощности формируемый импульс должен удовлетворять следующим критериям:

$$T_{rise(ctrl)} + T_{fall(ctrl)} < T_{rise(amp)} + T_{fall(amp)} \ll \frac{1}{2} T_{rf} , \quad (4)$$

где $T_{rise(ctrl)}$ – время нарастания управляющего импульса;
 $T_{fall(ctrl)}$ – время спада нарастающего импульса;
 $T_{rise(amp)}$ – время нарастания выходного импульса на транзисторе;
 $T_{fall(amp)}$ – время спада выходного импульса на транзисторе;
 T_{rf} – длительность периода колебаний радиочастоты.

Сумма длительности формируемых на транзисторе фронтов импульсов должна быть меньше половины периода радиочастотного сигнала, при этом длительность фронтов управляющего импульса должна быть меньше

длительности фронтов импульса на выходе усилительного прибора (транзистора).

В целях оценки времени перезаряда затворной ёмкости управляемого транзистора удобно пользоваться следующей формулой [Степанов, 2024б]:

$$T_{rise} \approx 2.2R_g C_{gs}; T_{rise} \approx R_{drv} C_{gs}, \quad (5)$$

где R_g – сопротивление входной цепи транзистора;

R_{drv} – выходное сопротивление компаратора (драйвера);

C_{gs} – входная ёмкость затвор-исток полевого транзистора.

При этом общим правилом также будет условие согласования нагрузки. В случае с ключевым усилителем мощности в роли нагрузки выступает сопротивление в затворной цепи полевого транзистора [Степанов, 2024а].

$$R_g \gg R_{drv}, \quad (6)$$

где R_g – сопротивление входной цепи транзистора;

R_{drv} – выходное сопротивление компаратора (драйвера).

Таким критериям отвечают компараторы, приведённые в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры компараторов

Компаратор	Время задержки импульса (T_{delay}), пс	Время нарастания импульса (T_{rise}), пс	Время спада импульса (T_{fall}), пс	Минимальная ширина импульса, пс	Напряжение питания, В	Выходной ток, мА
ADCMP580	180	37	37	100	0,5 — 6	25
LMH7220	290	590	550	1100	2,7 — 12	16
ADCMP551	500	510	490	700	3,13 — 5,25	70
LMH7322	703	155	155	260	2,7 — 12	25
AD96687	2000	2500	2500	2000	0 — 6,5	30
LT1721	4000	2500	2200	7000	2,7 — 6	20

К преимуществам такого подхода можно отнести возможность реализации изменяемой скважности управляющих импульсов путём регулирования напряжения на инверсном входе компаратора, что в теории позволяет реализовать различные режимы работы ключевого усилителя мощности, такие как DE и EF. Также некоторые из представленных компараторов имеют разделение на прямой и инвертирующий выходы (Q и \bar{Q}), что позволяет реализовать режим D без дополнительных схемотехнических решений [Красько, 2006].

$$U_{out} = \begin{cases} U_0, & \text{if } U_{in} < U_{ref} \\ U_1, & \text{if } U_{in} > U_{ref} \end{cases}, \quad (7)$$

где U_{out} – выходное напряжение компаратора;

U_0 – напряжение, соответствующее сигналу низкого уровня;

U_1 – напряжение, соответствующее сигналу высокого уровня;

U_{ref} – напряжение порога сравнения.

Однако у такого подхода существуют и недостатки. У реальных компараторов существуют параметры задержки распространения сигнала (t_{PDH} и t_{PDL}) (рис. 3) [Texas Instruments..., 2013], которые определяются как время, необходимое компаратору для изменения выходного напряжения U_{out} при переходе сигнала от низкого уровня (L) к высокому (H) или наоборот [Texas Instruments..., 2013], в ответ на момент, когда входной сигнал пересекает значение переключения U_{ref} . Из-за возможных разного рода различий внутри интегральной схемы оба параметра не обязательно будут иметь одинаковое значение. В результате этого эффекта определяется еще один параметр: Δt_{PD} . Этот параметр определяется как абсолютное значение разницы между t_{PDH} и t_{PDL} [Texas Instruments..., 2013].

$$\Delta t_{PDLH} = |t_{PDH} - t_{PD\bar{L}}| \quad (8)$$

$$\Delta t_{PDHL} = |t_{PDL} - t_{PD\bar{H}}| \quad (9)$$

$$\Delta t_{PD} = \frac{\Delta t_{PDLH} - \Delta t_{PDHL}}{2}, \quad (10)$$

где Δt_{PDLH} – временное смещение между 50% уровнями нарастающего фронта выхода Q и нисходящего фронта выхода \bar{Q} ;

Δt_{PDHL} – временное смещение между 50% уровнями нарастающего фронта выхода Q и нисходящего фронта выхода \bar{Q} ;

t_{PDH} или t_{PDL} – время задержки между моментом пересечения входным сигналом уровня переключения L на H и моментом пересечения выходным сигналом 50% переднего фронта выхода Q (t_{PDH}) или время задержки между моментом пересечения входным сигналом уровня переключения H на L и моментом пересечения выходным сигналом 50% заднего фронта выхода Q (t_{PDL});

$t_{PD\bar{L}}$ или $t_{PD\bar{H}}$ – время задержки между моментом, когда входной сигнал пересекает уровень переключения L в H, и моментом, когда выходной сигнал пересекает 50% переднего фронта выхода \bar{Q} ($t_{PD\bar{L}}$), или время задержки между моментом, когда входной сигнал пересекает уровень переключения H в L, и моментом, когда выходной сигнал пересекает 50% переднего фронта выхода \bar{Q} ($t_{PD\bar{H}}$).

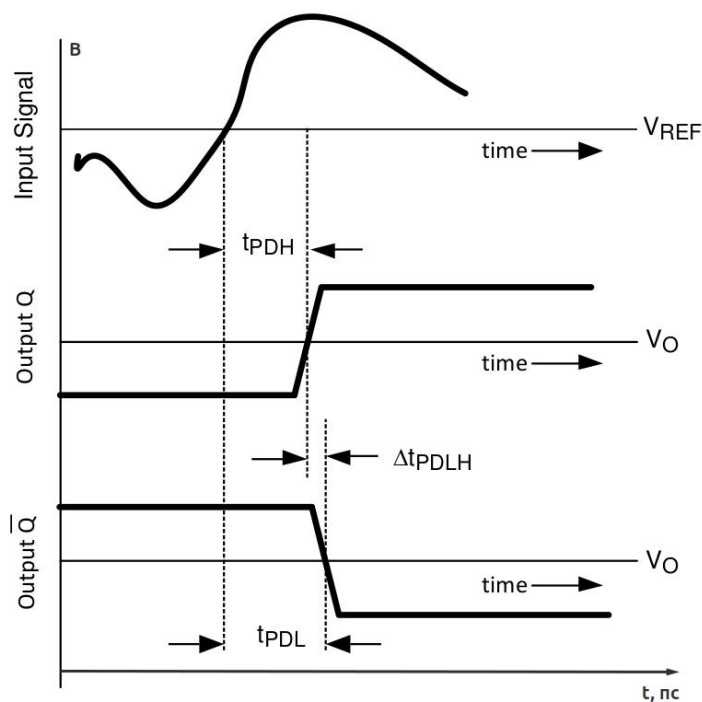


Рисунок 3 – Распределение задержек распространения сигнала

При существенном значении Δt_{PDLH} , соизмеримом с временем нарастания и/или спада импульса T_{rise}/T_{fall} , управление двухтактными схемами усилителей в классе D становится не реализуемым, поскольку при этом в управляющих импульсах появляются участки перекрытий ($\tau_{отк} > \pi$), как показано на рисунке 3, и недокрытий ($\tau_{отк} < \pi$). Двухтактная схема с переключением напряжения ((рис. 4а) [Алипов, 2006]) не допускает работы с перекрытиями, поскольку при этом источник питания замыкается через малое сопротивление последовательно включенных открытых транзисторов, и возникает значительный сквозной ток. В результате рассеиваемая в транзисторах мощность может резко возрасти, а КПД – упасть. В схеме с переключением токов ((рис. 4б) [Алипов, 2006]), наоборот, недопустима работа с недокрытиями, поскольку, когда оба транзистора закрыты, токи блокировочных дросселей текут через выходные емкости транзисторов, вызывая перенапряжения на их выходных электродах, и в таком случае возможен пробой.

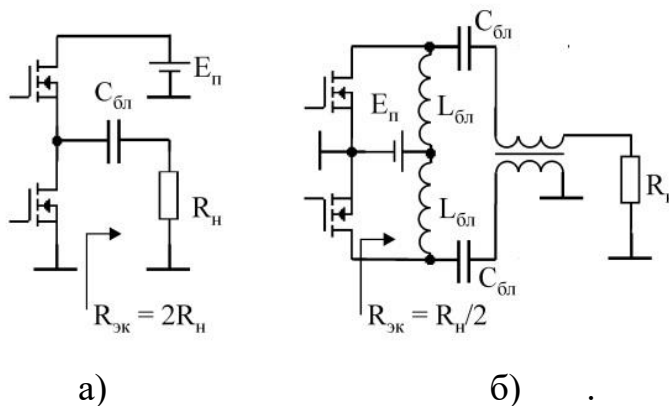


Рисунок 4 – Схемы УМ класса D: двухтактная ПН (а), двухтактная ПТ (б)

Однотактные ключевые УМ лишены этого недостатка, однако их КПД по первой гармонике даже в теории не может превышать значений $\eta_1 = 0,81$, что значительно менее эффективно по сравнению с двухтактными схемами. Можно осуществить мостовое сложение мощностей двух однотактных УМ типа (рис. 5а), получив двухтактную схему ((рис. 5б) [Алипов, 2006]), в которой допустимы недокрытия и перекрытия. Однако в подобных схемах на частотах выше средних паразитные индуктивности трансформаторов, обеспечивающих по выходу транзисторов короткое замыкание на четных гармониках, приводят к появлению перенапряжений на транзисторах, что не применимо на частотах VDL-4, поскольку может повлечь пробой транзисторов [Алипов, 2006] и выход транспондера из строя.

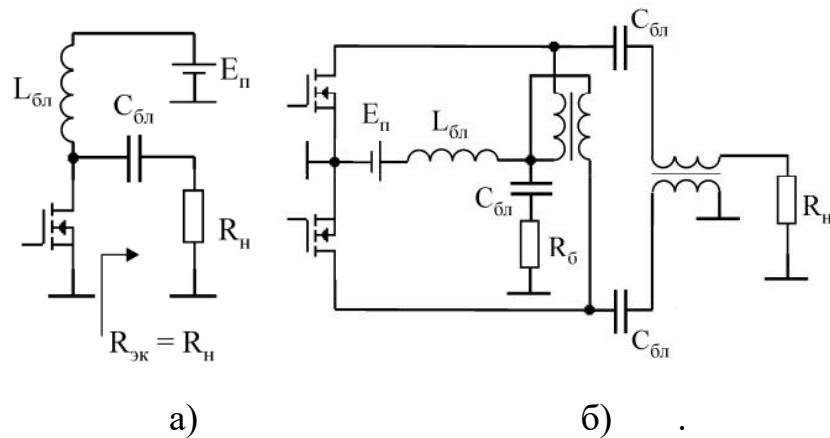


Рисунок 5 – Схемы УМ класса D: однотактная (а), мостовая (б)

Используя компараторы с множественными выходами или функцией гистерезиса (например, LMН7322), можно добиться изменения коэффициента заполнения импульса D , что позволит реализовать более сложные режимы (такие как E и DE), что в свою очередь положительно скажется на КПД ключевого усилителя мощности. Симметрично изменяя значение U_{ref} на инвертирующем выходе параллельных компараторов, можно синхронно изменять длину управляющих импульсов для верхнего и нижнего транзисторов в двухтактной схеме (рис. 6).

$$U_{in+}(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (11)$$

$$\omega = 2\pi f; T = \frac{1}{f} \quad (12)$$

$$\omega t_1 = \arcsin\left(\frac{U_{in-}}{A}\right); \omega t_2 = \pi - \arcsin\left(\frac{U_{in-}}{A}\right) \quad (13)$$

$$T_{high} = t_2 - t_1 = \frac{1}{\omega} * \left[\pi - 2 \arcsin\left(\frac{U_{in-}}{A}\right) \right] \quad (14)$$

$$D = T_{high} / T = \frac{1}{2\pi} * \left[\pi - 2 \arcsin\left(\frac{U_{in-}}{A}\right) \right], \quad (15)$$

где $U_{in+}(t)$ – мгновенное значение напряжения на неинвертирующем входе компаратора;

U_{in-} – установленное значение напряжения на инвертирующем входе компаратора;

D – коэффициент заполнения импульса, определяется как отношение времени, в течение которого сигнал оказывается в высоком состоянии, к общему периоду (обратное к скважности);

T_{high} – время, в течение которого выход компаратора находится в высоком состоянии.

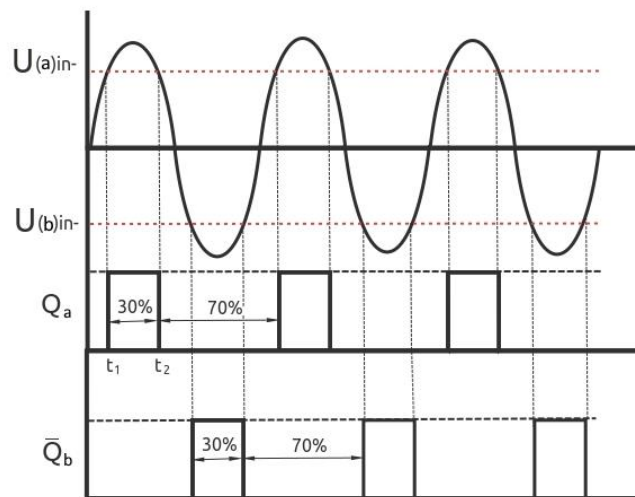


Рисунок 6 – Изменение скважности импульса на выходе компаратора

При симметричной одноступенчатой схеме, характерной для КУМ, работающих в режиме D, мощность первой гармоники определяется как [Степанов, 2024а]:

$$P_1 = \frac{I_1 U_1}{2}; P_1 = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) P \approx 0,81P, \quad (16)$$

где P_1 – мощность по первой гармонике;

P – общая мощность выходного сигнала.

Параллельное преобразование модулированного синусоидального сигнала на нескольких каналах компаратора может быть использовано для управления более сложными КУМ, когда на выходе усилителя формируется ступенчатая аппроксимированная синусоида. Такой сигнал содержит существенно большую долю полезного сигнала в первой гармонике, а внеполосные излучения высших гармоник несут значительно меньшую мощность, что в свою очередь положительно сказывается на энергетических и спектральных характеристиках КУМ и снижает требования к выходной фильтрующей системе радиопередающего устройства.

Достигнуто это может быть за счёт коммутации группами ключей различных уровней питающих напряжений. Степень аппроксимации тем выше, чем большее количество уровней коммутируется.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P_1 = P \quad (17)$$

$$\sum P_n = P - P_1, \quad (18)$$

где P_n – мощность n-ной высшей гармоники;

P – общая мощность сигнала;

N – количество уровней аппроксимации.

Сами схемы при этом могут быть весьма различны и вариативны. Управление такой схемой осуществляется по нескольким каналам, где длительность управляющего импульса будет определять продолжительность горизонтального участка аппроксимированной синусоиды соответствующего уровня. Для этого на инвертирующих входах многоканального компаратора устанавливаются значения напряжения, равные уровню входного сигнала для углов $\alpha \in [0; 2\pi]$ для соответствующей N-ной ступени, где длина каждого интервала $\Delta t = 2\pi/N$. В общем виде результирующий сигнал будет описываться формулой:

$$U(t) = \sin\left(\left[\left\lfloor \frac{Nt}{2\pi} + 0.5 \right\rfloor * \frac{2\pi}{N}\right]\right), \quad (19)$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ – функция «округление вниз» (получение целой части);

N – количество коммутируемых уровней (ключей).

Однако, реализация многоканальной системы управления накладывает существенные дополнительные критерии на элементную базу по быстродействию и мощности входного сигнала. В ряде случаев может потребоваться включение в цепь промежуточного усилителя мощности с высокой линейностью.

$$T_{rise} + T_{fall} \ll \frac{T_{rf}}{2N}; R_m \ll \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_Q}, \quad (20)$$

где T_{rise} – время нарастания импульса;

T_{fall} – время спада импульса;

T_{rf} – период колебаний сигнала радиочастоты;

R_m – выходное сопротивление модулятора;

R_Q – сопротивление входов коммутатора.

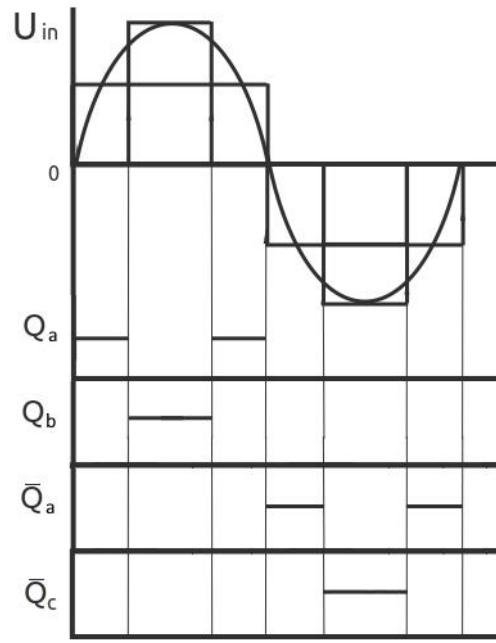


Рисунок 7 – Ступенчатая аппроксимация синусоиды и управляющие импульсы

Учитывая тот факт, что скорость формирования импульсов на выходах компараторов будет возрастать пропорционально количеству каналов управления в целях формирования всё более коротких импульсов, поиск подходящей элементной базы становится всё более затруднительным. Автору не удалось найти серийные образцы компараторов, кратно превышающие по быстродействию приведённые в таблице 3.

Таким образом, целесообразно рассматривать приложенные в статье варианты управления для относительно «несложных» схем КУМ (с 1-2 каналами управления), тем не менее обладающих внушительными показателями КПД.

С применением решений, предложенных в настоящей статье, был сконструирован экспериментальный макет, принципиальная схема которого приведена на рисунке 8. Эксперимент проводился на предмет оценки возможности применения данной схемы управления в двухтактном КУМ (рис. 4а), оценки возможности изменения скважности импульсов для реализации различных режимов (D, DE и EF), а также удовлетворения критериям по быстродействию и мощности.

На схеме модулятор Si4464 взаимодействует с главным микроконтроллером через стандартный 4-проводной последовательный периферийный интерфейс (SPI) и настроен на постоянную передачу, линии приёма RX при этом замкнуты на землю через конденсатор C7. Компаратор LMN7220 подключен неинвертирующим входом к линии TX модулятора через LC-фильтр нижних частот, а инвертирующий вход подключен к линии входного напряжения 5 В с регулировкой напряжения через резистор R1. Клеммы осциллографа подключены к прямому (неинвертирующему) выводу

компаратора. Сигнал с инвертирующего (обратный) выхода компаратора не снимался.

Результаты

На неинвертирующем выходе компаратора LMH7220 (вывод OUT Q на схеме (рис. 8)) получена серия управляющих импульсов, близких по форме к прямоугольным (рис. 9а). При этом на вход компаратора (IN_+) был подан немодулированный сигнал с постоянной огибающей на частоте 136,925 МГц. Длительность фронтов сформированных импульсов (T_{rise}/T_{fall}) получилась в пределах 400-500 пс, при этом времена нарастания и спада импульса оказались соизмеримы по продолжительности. Общая продолжительность импульса составила 3,65 - 3,66 нс, что удовлетворяет критериям быстродействия для управления КУМ на частотах VDL-4. Уровни напряжения полученных импульсов для приведённой одноканальной схемы соответствуют 4,5 В при напряжении питания в 5 В, что достаточно для управления некоторыми транзисторами, приведёнными в таблице 1, напрямую без промежуточных линейных усилителей, например GS61008P.

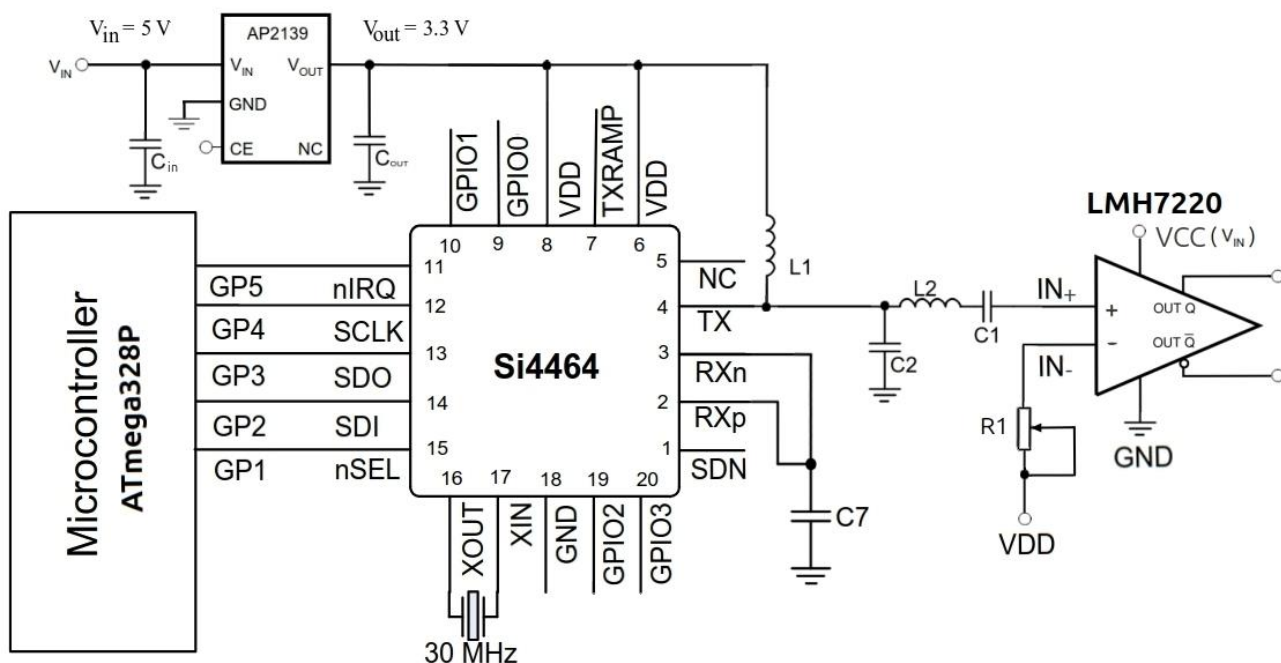
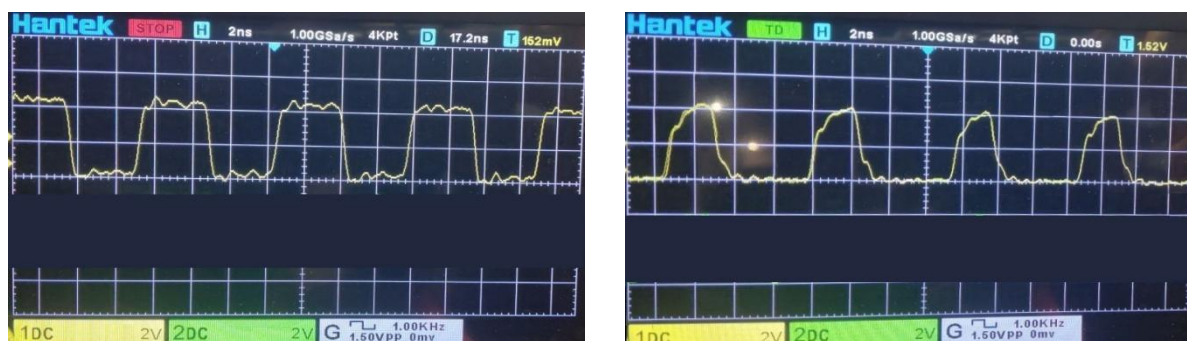


Рисунок 8 – Принципиальная схема экспериментального макета

Для получения изменяемой скважности импульсов на инвертирующий вход (IN_-) было подано напряжение в диапазоне от 0 В до 2,1 В путём изменения сопротивления переменного резистора R1. В результате были получены импульсы с коэффициентом заполнения менее 38% (рис. 9б). Длительность полученных импульсов составила $\approx 2,7$ нс. При этом время спада импульса T_{fall} 0,5 нс оказалось больше времени нарастания импульса T_{rise} 0,4 нс. Дальнейшее увеличение напряжения на инвертирующем входе компаратора (IN_-) приводило к существенному искажению формы выходного

сигнала и потере меандра, что делает сигнал непригодным для управления КУМ.



а)

б)

Рисунок 9 – Выходной сигнал: D=50% (а), D=38% (б)

В целях оценки коммутативных потерь КУМ и последующего расчёта электронного КПД для транзистора GS61008P использованы полученные показатели быстродействия управляющей схемы.

Исходя из требований ESTI EN 302 842-1, приведенных в таблице 2, выходная мощность P для передатчиков класса А составляет $15 \text{ Вт} \pm 1,5 \text{ дБ}$. Отсюда пиковая мощность P_{peak} составляет $21,2 \text{ Вт}$ (более не допускается). Для напряжения питания V_{DS} в 12 В (типичное значение напряжения для бортовой сети малогабаритных БВС) среднее значение тока I_{avg} составит:

$$I_{avg} = \frac{P}{V_{DS}} = \frac{15}{12} = 1,25 \text{ А}.$$

Энергию, затрачиваемую на включения E_{on} и выключения E_{off} транзистора, можно рассчитать, используя формулы, основанные на параметрах переключения, свойствах и режимах транзистора [Calculation..., 2016]:

$$E_{on} = 0,5 * P_{peak} * T_{rise} = 0,5 * 21,2 * 0,5 * 10^{-9} = 5,31 \text{ нДж}$$

$$E_{off} = 0,5 * P_{peak} * T_{fall} = 0,5 * 21,2 * 0,4 * 10^{-9} = 4,24 \text{ нДж}.$$

Расчёт потерь P_{sw} на переключение [Calculation..., 2016]:

$$P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) * f = (5,31 + 4,24) * 10^{-9} * 136,925 * 10^6 = 1,3 \text{ Вт}.$$

Расчёт потерь P_{cond} на проводимость [ROHM Co., LTd, 2016]:

$$P_{cond} = (I_{avg}^2 * R_{DS(on)}) = 1,25^2 * 0,007 = 0,0109 \text{ Вт}.$$

Расчёт общих потерь [Calculation..., 2016]:

$$P_{\text{losses}} = (P_{\text{sw}} + P_{\text{cond}}) = 1,3 + 0,0109 = 1,311 \text{ Вт}.$$

Отсюда расчётный эКПД составляет:

$$\eta = \frac{(P - P_{\text{losses}})}{P} = \left(\frac{15 - 1,311}{15} \right) = 91,26\% .$$

Обсуждение

Полученные результаты позволяют утверждать о пригодности предложенной методики управления транзисторными ключами в усилителях мощности классов D, E и DE, работающих в авиационном ОВЧ диапазоне с сигналами постоянной амплитуды. Сформированные импульсы соответствуют критериям по быстродействию (4) для стандартов цифровых ЛПД, в частности ESTI EN 302 842-1, и позволяют управлять одноктактными и двухтактными схемами КУМ (рис. 4, 5). Однако диапазон изменения скважности импульсов для реализации режима DE на практике ограничен 12%, в то время как в теории минимальная ширина импульса для LMH7220 составляет 1,1 нс вместо 2,7 нс, полученных на практике. Это же ограничение не позволяет реализовать двух и более ступенчатую аппроксимацию сигнала и управление более сложными схемами КУМ.

Допустимо выдвинуть предположение, что это может быть связано с недостаточной амплитудой сигнала модулятора (11), что может потребовать поиска других решений для более сложных и более эффективных задач, а также проведения дальнейших экспериментов. Такими решениями могут быть замена компаратора на более быстродействующий, например, LMH7322, и установка промежуточного линейного усилителя мощности.

Дополнительными ограничивающими факторами могут быть относительная дороговизна готовых модуляторов, выполненных на одном кристалле по сравнению с такими решениями, как схемы на операционных усилителях, и КМОП тактовые генераторы, также имеют значение ограничения международной торговли, препятствующие свободному хождению товаров и компонентов для радиопередающей аппаратуры.

Заключение

К преимуществам описанного решения безусловно можно отнести программное управление и реализованные на базе самой микросхемы различные виды модуляции с изменяемыми параметрами для GFSK модуляции, такие как ВТ, индекс модуляции и другие, что значительно упрощает реализацию ряда требований стандарта к физическому уровню, приведённых в таблице 2. Полученные результаты позволяют утверждать о пригодности приведённых решений для использования в схемах управления КУМ с небольшим количеством управляющих каналов, различными режимами работы, в целях построения радиопередатчиков VDL-4, а также о наличии соответствующей элементной базы. Наиболее принципиальным

является наличие возможности изменять скважность импульсов, что позволит реализовать наиболее энергоэффективные режимы работы КУМ, такие как DE, где значения КПД достигают 93%, а также компенсировать реактивную фильтровую нагрузку КУМ.

Библиографический список

- Алипов А. С.* Новая классификация транзисторных усилителей мощности / А. С. Алипов, В. Б. Козырев // Труды LX научной сессии, посвященной Дню радио. М.: Изд. журнала «Радиотехника», 2005. Т. 2. С. 101-104.
- Алипов А. С.* Исследование и разработка ключевых усилителей мощности для высокоэффективного СЧ передатчика цифрового радиовещания: специальность 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алипов Антон Сергеевич. Москва, 2006. 203 с. EDN NOJXUP.
- Варламов О. В.* Разработка коротковолнового ключевого усилителя мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала / О. В. Варламов, В. Н. Громорушкин, В. Г. Лаврушенков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5, № 9. С. 42-44. EDN OPIESZ.
- Дьяконов В. П.* Сверхскоростная твердотельная радиоэлектроника. Т. 1: Приборы общего назначения. М.: ДМК Пресс, 2013. 601 с.
- Зудов Р. И.* Расширение полосы перестройки частоты ключевых усилителей мощности класса DE, предназначенных для радиопередающих устройств диапазона ВЧ: специальность 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зудов Роман Игоревич, 2019. 149 с. EDN НННMRW.
- Иванюшкин Р. Ю.* Компьютерное моделирование ключевых усилителей мощности классов D и DE для передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ / Р. Ю. Иванюшкин, М. Н. Терешин // Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий - РЭУС-2020, Москва, 27–29 мая 2020 года. М.: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2020. С. 122-126. EDN DXSCBL.
- Кириллов В. В.* Широкополосный усилитель мощности X-диапазона на транзисторах AlGaIn/GaN / В. В. Кириллов, П. А. Туральчук // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2018. Т. 1. С. 371-375. EDN XUGJDF.
- Кищинский А. А.* Сверхширокополосные твердотельные усилители мощности СВЧ диапазона: схемотехника, конструкции, технологии // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2018. Т.1. С. 4-13. EDN XUGIFN.
- Красько А. С.* Компараторы // Схемотехника аналоговых электронных устройств. Томск: Изд-во «В-Спектр», 2006. С. 149-151.
- Нгуен Д. К.* Имитационная модель для исследования работы ключевых ВЧ-усилителей мощности с раздельным усилением составляющих на узкополосную нагрузку / Д. К. Нгуен, О. В. Варламов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14, № 2. С. 10-18. DOI 10.36724/2409-5419-2022-14-2-10-18. EDN CAFGOC.
- Степанов Ф. М.* Анализ вариантов улучшения эффективности оконечных каскадов передатчика VDL-4 // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2024. № 2(43). С. 123-131. EDN HVQDQR.
- Степанов Ф. М.* Конструкторские задачи по построению эффективного передатчика VDL-4 / Ф. М. Степанов // Состояние и основные тенденции развития гражданской авиации: Сборник материалов II Международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25–26 апреля 2024 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский

государственный университет гражданской авиации им. главного маршала авиации А.А. Новикова, 2024. С. 86-91. EDN OJWPWW.

Титце У. Полевой транзистор в качестве управляемого резистора / У. Титце, К. Шенк // Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008. С. 209-213.

Треймут Н. А. Энергетические и спектральные характеристики усилителя мощности класса E в режиме модуляции // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2023/vr/vr23-5777.pdf> (дата обращения: 06.05.2024).

Ahmadi M. A. A Class-E Power Amplifier With Wideband FSK Modulation for Inductive Power and Data Transmission to Medical Implants / M. A. Ahmadi, S. Ghandi // *IEEE Sensors Journal*. 2018. № 99. pp. 1-1. DOI 10.1109/JSEN.2018.2851605.

Analog Devices. ADF7020-1 High Performance FSK/ASK Transceiver IC: Data Sheet. Rev. A. // [Электронный ресурс]. – 2018. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF7020-1.pdf>. (дата обращения: 12.06.2024).

Calculation of Power Loss (Synchronous). // ROHM Co., Ltd. // [Электронный ресурс]. – 2016. URL:

https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/switching_regulator/power_loss_appli-e.pdf (дата обращения: 24.10.2024).

Silicon Laboratories Inc. Si446x - High-Performance, Low-Current Transceiver: Data Sheet. Rev // [Электронный ресурс]. – 2020. URL: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si446x.pdf>. (дата обращения: 12.06.2024).

Texas Instruments. LMH7220 Ultra Low Power, 1.8V, 115 MHz Rail-to-Rail Output Comparator: Data Sheet. Rev. // [Электронный ресурс]. – 2013. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmh7220.pdf>. Дата обращения: 20.06.2024.

Tong R. Kilowatt Power Amplifier With Improved Power Back-Off Efficiency for Cyclotron Application / R. Tong, O. Bengtsson, J. Olsson // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*. 2021. vol. 69, no. 12, pp. 5483-5491. DOI 10.1109/TMTT.2021.3134957.

VHF air-ground and air-air Digital Link (VDL) Mode 4 radio equipment; Technical characteristics and methods of measurement for aeronautical mobile (airborne) equipment; Part 1: Physical layer. ESTI EN 302 842-1. 2015. 21 p.

References

Ahmadi M. A., Ghandi S. (2018). A Class-E Power Amplifier With Wideband FSK Modulation for Inductive Power and Data Transmission to Medical Implants. *IEEE Sensors Journal*. (99): 1-1. DOI 10.1109/JSEN.2018.2851605.

Alipov A. C., Kozyrev V. B. (2005). A new classification of transistor power amplifiers. Proceedings of the LX Scientific Session dedicated to Radio Day. Moscow: Journal «Radiotechnika» Publishing, 2005. 2: 101-104. (in Russian)

Alipov A. S. Research and development of key power amplifiers for high-efficiency MF digital broadcasting transmitter: specialty 05.12.13 "Systems, networks and telecommunications devices": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Anton Sergeevich Alipov. Moscow, 2006. 203 p. EDN NOJXUP. (in Russian)

Analog Devices. ADF7020-1 High Performance FSK/ASK Transceiver IC: Data Sheet. Rev. A. (2018). Available at: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF7020-1.pdf>. (accessed 12 June 2024).

Calculation of Power Loss (Synchronous). (2016). Available at: https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/switching_regulator/power_loss_appli-e.pdf (accessed 24 October 2024).

Dyakonov V. P. (2013). Ultra-high-speed solid-state electronics. Vol. 1: General-purpose devices. Moscow: DМК Press, 2013. 601 p. (in Russian)

Ivayushkin R. Y., Tereshin M. N. (2020). Computer simulation of key power amplifiers of classes D and DE for transmitters of digital broadcasting in the UHF range. *Electronic Devices and*

Systems for Infocommunication Technologies - REDS-2020. Moscow: Russian Scientific and Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communications named after A.S. Popov. 122-126. EDN DXSCBL. (in Russian)

Kirillov V. V., Turalchuk P. A. (2018). Broadband power amplifier of the X-band on AlGaIn/GaN transistors. *Electronics and Microwave Microelectronics*. 1: 371-375. EDN XUGJDF. (in Russian)

Kishchinsky A. A. (2018). Ultra-wideband solid-state power amplifiers of the microwave range: circuitry, constructions, technologies. *Electronics and Microwave Microelectronics: Proceedings of the VII All-Russian Conference*. SPb.: Publishing house of SPbGETU "LETI", 2018. 4-13. (in Russian)

Kras'ko A. S. (2006). Comparators. *Semiconductor Circuit Engineering*. Tomsk: V-Spectr Publishing, 2006. 149-151. (in Russian)

Nguyen D. K., Varlamov O. V. (2022). A simulation model for studying the operation of key RF power amplifiers with separate amplification of components on a narrowband load. *High-Tech Technologies in Space Research of the Earth*. 14(2). 10-18. DOI 10.36724/2409-5419-2022-14-2-10-18. EDN CAFGOC. (in Russian)

Silicon Laboratories Inc. *Si446x - High-Performance, Low-Current Transceiver*: Data Sheet. Rev (2020). Available at: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si446x.pdf>. (accessed 12 June 2024).

Stepanov F. M. (2024). Analysis of options for improving the efficiency of final stages of the VDL-4 transmitter. *Bulletin of Saint Petersburg State University of Civil Aviation*. 2(43): 123-131. EDN HVQDQR. (in Russian)

Stepanov F. M. (2024). Design tasks for building an efficient VDL-4 transmitter. *Proceedings of the II International Youth Scientific and Practical Conference on the State and Main Trends in the Development of Civil Aviation*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, 2024. Pp. 86-91. EDN OJWPWW. (in Russian)

Texas Instruments. *LMH7220 Ultra Low Power, 1.8V, 115 MHz Rail-to-Rail Output Comparator*: Data Sheet. Rev. (2013). Available at: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmh7220.pdf>. (accessed 20 June 2024).

Tietze U., Schenk K. (2008). The Field Transistor as a Controllable Resistor. *Semiconductor Circuit Technology*. 12th ed. Vol. I: Trans. from German. Moscow: DMK Press, 2008. Pp. 209-213. (in Russian)

Tong R., Bengtsson O., Olsson J. (2021). Kilowatt Power Amplifier With Improved Power Back-Off Efficiency for Cyclotron Application. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 69(12): 5483-5491. DOI 10.1109/TMTT.2021.3134957.

Treimut N. A. (2023). Energy and spectral characteristics of class E power amplifier in modulation mode. Available at: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2023/vr/vr23-5777.pdf> (accessed 06 May 2024). (in Russian)

Varlamov O. V., Gromorushkin V. N., Lavrushenkov V. G. (2011). Development of an HF keying power amplifier with separate amplification of single sideband signal components. *T-Comm: Telecommunications and Transport*. 5(9): 42-44. EDN OPIESZ. (in Russian)

VHF air-ground and air-air Digital Link (VDL) Mode 4 radio equipment; Technical characteristics and methods of measurement for aeronautical mobile (airborne) equipment; Part 1: Physical layer. ESTI EN 302 842-1. 2015. 21 p.

Zudov R. I. Expansion of the frequency tuning range of class DE power amplifiers designed for HF radio transmitting devices: specialty 05.12.14 «Radio engineering, including television systems and devices»: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zudov Roman Igorevich. Saint Petersburg, 2019. 149 p. (in Russian)

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

УДК 621.396.96

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_64

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА A-STAR ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ОВД В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РАЙОННОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО ЦЕНТРА ХОШИМИНА

*Нгуен Нгок Хоанг Куан^{1,2},
orcid.org/0009-0003-8873-9263,*

¹аспирант

*¹Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия*

*²Вьетнамская авиационная академия,
104 ул. Нгуен Ван Чой, квартал 8, район Фу Ньюан
Хошимин, Вьетнам
quannnh@mail.ru*

*Владимир Николаевич Нечаев,
orcid.org/0009-0005-9610-9397,*

*кандидат исторических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
v.nechaev@mstuca.ru*

*Вячеслав Борисович Малыгин,
orcid.org/0009-0001-1375-4421,*

*соискатель
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский б-р, д. 20
Москва, 125493, Россия
mbv898@yandex.ru*

Аннотация. Оптимизация сети маршрутов обслуживания воздушного движения (ОВД) является эффективным способом совершенствования структуры воздушного пространства (ВП), увеличения пропускной способности (ПС) ВП и снижения перегруженности воздушного движения. В данной статье представлены математическая модель и метод оптимизации сети маршрутов ОВД на основе алгоритма A-star применительно к ВП районного диспетчерского центра (РДЦ) Хошимина. ВП РДЦ Хошимина (одного из двух ВП РДЦ во Вьетнаме) занимает одно из ведущих мест по размеру и загруженности среди ВП РДЦ Юго-Восточной Азии. Целевая функция модели предназначена для минимизации общей протяженности каждого маршрута ОВД в исследуемом ВП путем систематического решения конкретных ограничений и предполагает оптимизацию пространственной конфигурации маршрутов ОВД для обеспечения максимально эффективного прохождения в пределах заданных параметров.

Результаты расчетов демонстрируют потенциал предложенного подхода в увеличении ПС, снижении перегрузок воздушного движения и эксплуатационных расходов, сохраняя требуемый уровень безопасности.

Ключевые слова: математическая модель, алгоритм A-star, оптимизация сети маршрутов ОВД, воздушное движение, ВП РДЦ Хошимина, минимизация общей протяженности маршрутов ОВД.

MATHEMATICAL MODEL AND APPLICATION OF THE A-STAR ALGORITHM TO OPTIMIZE ATS ROUTES IN THE AREA CONTROL CENTER HO CHI MINH AIRSPACE

*Nguyen Ngoc Hoang Quan^{1,2},
orcid.org/0009-0003-8873-9263,*

¹Postgraduate Student

*¹Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia*

*²Vietnam Aviation Academy,
104 Nguyen Van Troi, Ward 8, Phu Nhuan District
Ho Chi Minh City, Vietnam
quannnh@mail.ru*

*Vladimir N. Nechaev,
orcid.org/0009-0005-9610-9397,*

*Candidate of Historical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
v.nechaev@mstuca.ru*

*Vyacheslav B. Malygin,
orcid.org/0009-0001-1375-4421,*

*Applicant
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493 Russia
mbv898@yandex.ru*

Abstract. The optimization of air traffic service (ATS) route networks is an effective approach to improving the structure of airspace, increasing its capacity, and reducing air traffic congestion. This paper presents a mathematical model and a method for optimizing ATS route networks based on the A-star algorithm, applied to the area control center Ho Chi Minh (ACC HCM) airspace. The ACC HCM airspace (one of the two ACC airspaces in Vietnam) ranks among the leading airspaces in Southeast Asia in terms of both size and workload. The objective function of the model is to minimize the total length of each ATS route within the studied airspace by systematically addressing specific constraints and optimizing the spatial configuration of ATS routes to ensure the most efficient passage within the given parameters. The calculation results demonstrate the potential of the proposed approach in increasing the airspace capacity, reducing air traffic congestion and operating costs, while maintaining the required level of safety.

Keywords: mathematical model, A-star algorithm, optimization of the ATS route network, air traffic, ACC HCM airspace, minimization of the total length of ATS routes.

Введение

В мировой авиационной отрасли на протяжении многих лет наблюдается постоянный рост и ожидается, что она и в дальнейшем продолжит развиваться. Этот рост значительно увеличивает нагрузку на ресурсы систем использования воздушного пространства (ИВП). По мере увеличения потока воздушного движения возрастает сложность условий ИВП, что создает серьезные вызовы для поставщиков аэронавигационного обслуживания. Их задача заключается в эффективном управлении воздушным движением (УВД) в условиях перегруженного ВП, при этом строго соблюдая требуемые стандарты безопасности.

Дополнительно растущий спрос на авиаперевозки усугубляет ситуацию, способствуя увеличению задержек рейсов. Эти задержки объясняются различными факторами, включая перегрузку ВП, конфликтные ситуации (КС), сложные метеорологические условия (СМУ) и различные ограничения ИВП. Каждый из этих факторов усложняет организацию воздушного движения (ОрВД) и требует внедрения современных стратегий и технологий для повышения эффективности и безопасности воздушного транспорта.

Концепция оптимизации процесса функционирования системы заключается в поиске и установлении таких условий (значений параметров процесса), при которых максимально проявляется желаемое свойство системы. Оптимизация ОрВД направлена на достижение таких целей, как повышение ПС и безопасности, уменьшение перегруженности ВП или аэропортов, разработка оптимального плана полета и т.д. Можно сказать, что только оптимизация процессов ОрВД позволит достичь вышеперечисленных целей, однако невозможно оптимизировать какие-либо процессы без создания их моделей, позволяющих решать задачи с минимальными затратами за определенное время. Некоторые вопросы оптимизации в настоящее время вызывают интерес и разрабатываются в ОрВД, такие как оптимизация маршрута ОВД, оптимизация траектории полёта, оптимизация структуры ВП (сектора) и т.д.

В настоящее время в сфере ОрВД внедряется множество современных методов, направленных на оптимизацию и повышение операционной эффективности. Среди них можно выделить такие решения, как навигация, основанная на характеристиках (Performance based navigation / PBN); организация потоков воздушного движения (Air Traffic Flow Management / ATFM); применение ВП свободной маршрутизации (Free Route Airspace) и временный маршрут (Conditional Route) и т.д. Однако эти меры пока не способны полностью решить проблему ПС ВП, а также полностью устранить перегрузки и задержки рейсов. Таким образом, требуется внедрение новых подходов для решения данной проблемы, и применение достижений в области компьютерных технологий представляется новым и перспективным направлением. В этой статье представлены математическая модель и оптимизационная программа, которые способны сократить общую протяженность маршрутов ОВД, что позволит повысить ПС ВП и снизить эксплуатационные расходы ВС.

Часть ВП Юго-Восточной Азии является ВП Хошимина. В 21 веке Юго-Восточная Азия считается одним из самых быстрорастущих регионов воздушного движения в мире. Одной из ключевых проблем в организации ВП РДЦ Хошимина является его ограниченная способность справляться и адаптироваться к растущему объему воздушного движения в нем. ВП РДЦ Хошимина охватывает обширное географическое пространство, в основном Вьетнама и Восточного моря, и граничит с ВП Лаоса и Камбоджи. Несмотря на большую территорию, исследуемое ВП и имеющиеся ресурсы для управления воздушным движением в нём не масштабируются в соответствии с растущим спросом. Эта диспропорция часто приводит к перегрузкам и задержкам, особенно в периоды пиковых нагрузок или в СМУ. Для решения проблемы авторы провели исследование, нацеленное на разработку программы для оптимизации сети маршрутов ОВД в ВП РДЦ Хошимина. Программа использует алгоритм A-star, который является алгоритмом искусственного интеллекта² в теории графов, и язык программирования Python [Van Rossum et al., 2009]. Теория графов широко применяется при проектировании транспортных сетей, включая системы метро, городских автомагистралей и высокоскоростных железных дорог, и зарекомендовала себя как эффективный инструмент для исследования проблем, связанных с деятельностью авиации [Румянцев и др., 2024; Air traffic controller ..., 2023; Bombelli et al., 2020; Detecting delay propagation ..., 2022]. Данное исследование использует алгоритм A-star, известный своей эффективностью в задачах поиска оптимальных путей, впервые применяемый к ВП РДЦ Хошимина. Отличительной особенностью данной работы является построение целостной модели, которая учитывает специфику воздушного пространства РДЦ Хошимина, таких как запретные зоны, зоны ограничений полетов и уникальные эксплуатационные требования. Предлагаемая модель представляет собой новаторский подход, поскольку она впервые во Вьетнаме учитывает как пространственные ограничения (запретные и опасные зоны), так и эксплуатационные требования, обеспечивая оптимальную длину маршрутов и высокую степень безопасности. Целью является достижение более безопасных и эффективных операций в ВП. Интегрируя передовые вычислительные методы, авторы стремятся создать устойчивую и надежную систему ОВД, которая будет адаптирована к будущим вызовам, тем самым поддерживая прогрессивное развитие авиатранспортных систем.

² Искусственный интеллект (ИИ, англ. Artificial intelligence, AI) – это область компьютерных наук, занимающаяся созданием систем, способных выполнять задачи, которые обычно требуют человеческого интеллекта.

Математическая модель задачи оптимизации сети маршрутов ОВД

Определение структуры ВП и переменных, используемых в модели

Сеть маршрутов в ОВД в структуре ВП может быть описана двухмерной матрицей, состоящей из двух основных компонентов:

- маршрут ОВД – m , где $m \in \{1, 2, \dots, M\}$.
- участки маршрута – u , где $u \in \{1, 2, \dots, U\}$.

Каждый маршрут ОВД (m) может состоять из множества участков маршрута, которые определяются координатами навигационных точек (x, y) , углами между участками маршрута (γ) и их расстояниями (d). Конкретно:

$$m(u) = [(x, y), (\gamma, d)]. \quad (1)$$

Эти компоненты изначально представлены в виде матрицы, где каждая строка матрицы описывает маршрут, а каждая ячейка строки содержит данные об участке маршрута. Однако матрица как способ описания имеет ограниченную гибкость при решении задач маршрутизации, оптимизации или анализа. Поэтому переход к модели в виде графа $G = (N, F)$, где множество узлов $N = \{N_0, N_1, N_2, \dots, N_z\}$ и множество дуг $F = \{F_1, F_2, \dots, F_k\}$, становится естественным шагом, позволяющим упростить работу с данной структурой. Граф G описывает эти связи более наглядно: узлы N представляют точки маршрута, а дуги F – прямые связи между этими точками, включая такие характеристики, как угол (γ) и расстояние (d).

В математической модели граф $G = (N, F)$ представляет собой описание всей структуры ВП. Более конкретно, множество узлов представляет все соответствующие аэропорты и точки пути или навигационные точки (VOR, DME) системы маршрутов ОВД. Дуга в множестве F – это прямая, соединяющая любые две точки N_i в множестве N . Дуга может быть описана так: $F(N_1, N_2)$ – дуга между двумя узлами N_1 и N_2 . Для количественного описания графа вводится матрица расстояний $D[i, j]$, элементы которой характеризуют длину пути или отсутствие связи между узлами. Она задаётся следующей формулой:

$$D[i, j] = \begin{cases} 0, & \text{для } i = j; \\ d_{i,j}, & \text{конечная величина, если есть дуга из узла } i \text{ в узел } j; \\ \infty, & \text{если нет дуги из узла } i \text{ в узел } j. \end{cases} \quad (2)$$

В графе G каждый маршрут ОВД формирует подграф $G^m = (N^m, F^m)$, который содержит узлы и дуги, принадлежащие этому маршруту, где $N^m \subset N$ и $F^m \subset F$. Маршрут ОВД представляет собой последовательность прямых линий, соединяющих начальную и конечную точки, а также точки пути (навигационные точки), расположенные между ними. Начальная точка (N_0^m) и конечная точка (N_{last}^m) могут быть как аэропортами, так и точками передачи

управления. Другими словами, маршрут – это конечная последовательность узлов и дуг, в которой две соседние дуги имеют общий узел. На каждом маршруте ОВД точка $N \in N^m$ перемещается от N_0^m до N_{last}^m . То есть, когда $N \equiv N_0^m$ соответствует начальной точке маршрута ОВД, а $N \equiv N_{last}^m$ соответствует конечной точке маршрута ОВД. Далее используются следующие символы:

- (x_N, y_N) : представляет широту и долготу точки N ;
- $d_{N,N+1}^m$: длина участка, соединяющая точку N и точку $N+1$ маршрута ОВД. Значение $d_{N,N+1}^m$ можно рассчитать следующим образом:

$$d_{N,N+1}^m = \sqrt{(x_{N+1} - x_N)^2 + (y_{N+1} - y_N)^2}. \quad (3)$$

Примечание: Длина маршрута ОВД в структуре ВП – это сумма длин дуг $F(N, N+1)$, составляющих данный маршрут, т.е. сумму $d_{N,N+1}^m$ при $N \in [N_0^m, N_{last}^m]$.

При организации и проектировании ВП будут существовать опасные зоны, зоны ограничения полётов и запретные зоны, в пределах которых запрещаются или ограничиваются полеты ВС. Кроме того, чтобы маршрут ОВД не проходил слишком близко к этим зонам, для обеспечения безопасности при фактическом выполнении полётов (например, в случае отклонения ВС) будет создана буферная зона, размером 0,005 км (рис. 1). Маршрут ОВД будет одобрен только в том случае, если все точки находятся за пределами этой зоны. Далее для простоты запретные зоны, зоны ограничения полётов, опасные зоны и буферные зоны будут именоваться бесполётными зонами. В структуре ВП, содержащей маршрут ОВД, S_k обозначает площадь бесполётной зоны. Этот параметр используется для описания зоны, запрещённой для полётов, в рамках ограничений математической модели, представленной на рисунке 1.

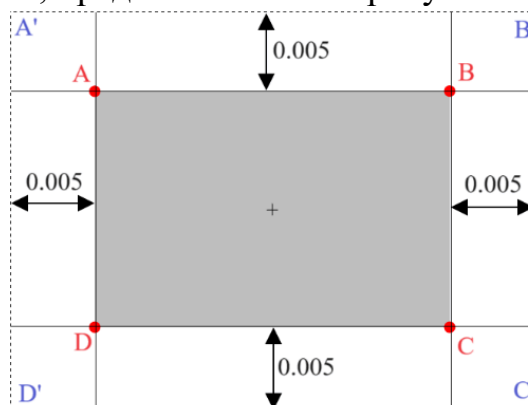


Рисунок 1 – создание буферной бесполётной зоны

Для построения уравнений, представляющих ограничения в математической модели, будут использоваться следующие символы:

- B^m : зона действия навигационных станций в структуре ВП – G;

- $\theta_{q,p}^m$: угол, образованный $F(q,p)$, соединяющей точки q и точки p (где $q, p \in N$), расположен между маршрутом ОВД и осью магнитного севера;
- R^m : минимальное боковое расстояние между двумя параллельными маршрутами ОВД;
- переменная решения $O_{N,j}^m$ обозначает дугу от точки N до точки j на маршруте ОВД. Переменная $O_{N,j}^m$ описывается так:

$$O_{N,j}^m = \begin{cases} 1, & \text{если выбирает } F(N, j), \text{ при определении маршрута ОВД;} \\ 0, & \text{другие случаи.} \end{cases} \quad (4)$$

Целевая функция

В этой модели для повышения эффективности использования маршрутов ОВД в ВП необходимо сократить время полёта между рейсами за счёт уменьшения длины маршрута ОВД, соединяющего точки N_0^m и N_{last}^m . Другими словами, это означает поиск кратчайшего (оптимального) пути. Кратчайший (оптимальный) путь D_m – путь между начальным узлом N_0^m и конечным узлом N_{last}^m , имеющий минимальную протяженность.

$$D_m = \sum_{N=N_0^m}^{N_{last}^m-1} d_{N,N+1}^m \rightarrow \min. \quad (5)$$

Особенности структуры ВП графа G:

– дуга, состоящая из двух узлов N_i и N_{i+1} , может иметь «встречную» дугу, т.е. может существовать $F(N_i, N_{i+1})$ или $F(N_{i+1}, N_i)$. Если существуют две дуги $F(N_i, N_{i+1})$ и $F(N_{i+1}, N_i)$, маршрут ОВД является двусторонним маршрутом, в противном случае, если существует только одна из двух дуг $F(N_i, N_{i+1})$ или $F(N_{i+1}, N_i)$, то это односторонний маршрут от N_i до N_{i+1} или наоборот.

– максимальное число дуг графа $G = (N, F)$ с N узлами (без учёта направления движения ВС). Это также максимальное количество дуг, которое можно использовать для проектирования сети маршрутов ОВД. Как упоминалось выше, дуга может использовать два направления или одно направление.

$$\max F = \frac{N \times (N - 1)}{2}. \quad (6)$$

– вокруг точки N_i будет множество узлов, находящихся на заданном расстоянии l от узла N_i . Это множество используется для поиска дуг, выходящих из точки N_i (одна из этих дуг будет выбрана как дуга кратчайшего

(оптимального) маршрута ОВД). Это множество может быть выражено уравнением:

$$L(N_i, 1) \stackrel{def}{=} \{N_u \in N \mid d_{N_i, N_u} = l\} \quad (7)$$

– когда узел N_i определяется как навигационная станция (VOR, DME), дуги, содержащие точку N_i , должны находиться в зоне действия навигационных станций, чтобы обеспечить безопасность и навигационные сигналы для ВС, т. е.:

$$\forall F(N_i, N_{i+1}) \subseteq B^m. \quad (8)$$

Примечание: Значение зоны действия навигационных станций зависит от многих факторов, таких как мощность навигационной станции, высота (эшелон) полёта ВС, рельеф местности и т.д. Как правило, среднее значение зоны действия VOR составляет 130 миль, NDB – 75 миль, а DME – 200 миль.

– когда узел N_i является точкой пути, используется метод навигации RBN. В этом случае маршруты ОВД вдоль маршрута от начальной точки до конечной точки могут быть указаны внутри прямоугольника. Его длина должна равняться длине маршрута, а ширина – в два раза превышать максимально допустимое значение отклонения x соответствующего метода навигации RNAV x /RNP x (например, RNP10, ширина составляет 20 морских миль), т. е.:

$$F^m \subseteq S_{rec}, S_{rec} = |N_0^m N_{last}^m| \times 2x. \quad (9)$$

Ограничения каждого маршрута – m

– действительные маршруты ОВД должны идти от начальной точки до конечной точки. Маршрут m не имеет дуг, входящих в начальную точку, и дуг, выходящих из конечной точки, т. е.:

$$d_{N_v, N_0^m}^m = d_{N_{last}^m, N_t}^m = 0, \quad (10)$$

где: $N_t \in N^{m+}(N_{last}^m), N_v \in N^{m-}(N_0^m)$

$$\sum_{j \in N^{m+}(N_0^m)} O_{N_0^m, j}^m - \sum_{j \in N^{m-}(N_0^m)} O_{j, N_0^m}^m = 1, \quad \forall m \in M. \quad (11)$$

$$\sum_{j \in N^{m-}(N_{last}^m)} O_{j, N_{last}^m}^m - \sum_{j \in N^{m+}(N_{last}^m)} O_{N_{last}^m, j}^m = 1, \quad \forall m \in M. \quad (12)$$

– для любого узла N (кроме начальной и конечной точек) количество входящих в него дуг равно количеству выходящих из него дуг, т. е.:

$$\sum_{N \in N^{m^+}(j)} O_{N,j}^m = \sum_{N \in N^{m^-}(j)} O_{j,N}^m, \quad m \in M, \quad \forall j \in N^m - \{N_0^m, N_{last}^m\}. \quad (13)$$

– маршруты ОВД не могут проходить через бесполётные зоны, т.е.:

$$\sum_{F(N,j) \in F_S} S_k \times O_{N,j}^m = 0; \quad \forall F(N,j) \cap S_k = \emptyset, \quad (14)$$

где: F_S – множество всех дуг, которые могут проходить через бесполётные зоны.

Ограничения пары маршрутов ОВД «m» и «n»

– согласно DOC 4444, для обеспечения бокового эшелонирования ВС, находящихся на одном эшелоне полёта при прохождении навигационных точек, две линии пути ВС должны встретиться друг с другом под минимальным углом. Таким образом, при проектировании маршрута ОВД удобно использовать уравнение, где $\Delta\theta_q^{m,n}$ – это угол между маршрутами ОВД в точке их пересечения q :

$$\Delta\theta_q^{m,n} = \left| \theta_{q,p}^m - \theta_{q,p'}^n \right| \geq \theta_{min}. \quad (15)$$

Значение θ_{min} зависит от навигационной станции в узле q :

- * если узел q является географическим пунктом: $\theta_{min} = 30^\circ$;
- * если узел q является станцией NDB: $\theta_{min} = 30^\circ$;
- * если узел q является станцией VOR: $\theta_{min} = 15^\circ$.

– если два маршрута ОВД проектируются параллельно, необходимо соблюдать следующее ограничение:

$$r^{m,n} \geq R^m, \quad (16)$$

где: $r^{m,n}$ – расстояние между двумя параллельными маршрутами ОВД – «m» и «n».

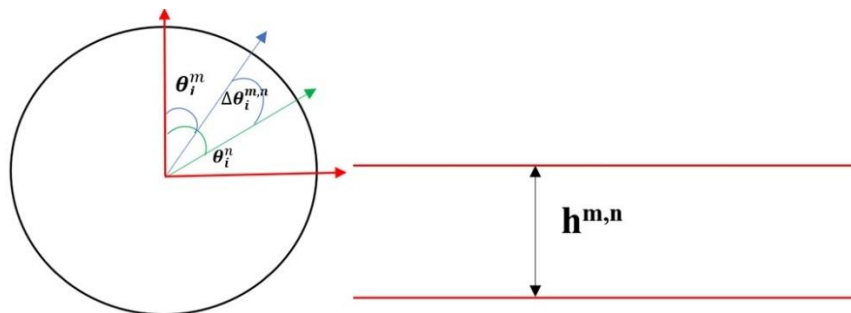


Рисунок 2 – описание ограничений пар маршрутов оvd «m» и «n»

Программа оптимизации сети маршрутов ОВД с использованием алгоритма A-star

Алгоритм A-star находит оптимальный маршрут

Современные методы оптимизации путей основаны на обширных научных исследованиях в таких областях, как теория оптимального управления, статистика, теория игр и теория графов и т.д. Было проведено множество исследований и доказано, что методы теории оптимального управления [Гаракоев и др., 2023; Самохина и др., 2024; Храмов, 2024; Ekrami Kivaj et al., 2023; Optimal control..., 2022; Zwick et al., 2023] и теории графов [Костин и др., 2023; Нгуен и др., 2024; Неретин и др., 2022; Clothoid-Based Path..., 2023; Ntakolia et al., 2022; Optimization..., 2019; UAV..., 2023] дают хорошие результаты для оптимизации траектории или пути транспортного средства в пространственно-временных координатах. Вышеприведенные исследования показывают, что для задач с непрерывным процессом методы теории оптимального управления вполне эффективны, в то время как метод теории графов даёт лучшие результаты для дискретных задач оптимизации. Однако в этих исследованиях основное внимание уделялось оптимизации траектории полёта ВС или отдельных маршрутов ОВД, но ни одно из них не касалось оптимизации всей сети маршрутов ОВД. На основе представленной выше математической модели авторы намерены разработать программу, способную оптимизировать всю сеть маршрутов ОВД с учетом заданных ограничений. Новизна модели, достигнутая после успешного завершения исследования, позволит внедрить её в практику для повышения ПС ВП, снижения задержек и повышения эффективности ИВП. Это, в свою очередь, позволит ВС выполнять полеты по более коротким маршрутам, что приведет к экономии топлива и сокращению времени полёта.

В задаче оптимизации сети маршрутов ОВД каждый из них рассматривается как независимый объект. Для каждого маршрута ОВД будет иметь допустимое решение с определенным количеством дуг, полученных из набора исходных дуг. Поэтому использование методов теории графов становится наиболее предпочтительным подходом для решения данной задачи.

Основываясь на анализе жизнеспособных методов оптимизации сети маршрутов ОВД с гибкой маршрутизацией и в соответствии с предложенной математической моделью, в программе был выбран алгоритм A-Star. Использование алгоритма A-star обеспечит построение кратчайшего маршрута ОВД с учётом таких ограничений, как зона действия радионавигационных средств системы ОрВД, боковое эшелонирование и т.п.

Алгоритм A-star позволяет найти маршрут с наименьшей стоимостью от начального узла до конечного узла и рассчитывает его на основе взвешенного графа. Взвешенный граф – это граф, в котором каждой дуге присвоено определенное значение (вес дуги). Алгоритм A-star стал одним из самых важных и популярных алгоритмов в области искусственного интеллекта и поиска маршрута. Основная причина в том, что алгоритм A-star позволяет рассчитать стоимость маршрута в сочетании с математическим и

эвристическим подходом, что является его отличительной особенностью. Это помогает алгоритму A-star избегать ненужных маршрутов и находить кратчайший путь за приемлемое время.

В алгоритме A-star, если $f(N)$ является наименее затратным маршрутом к целевому узлу через узел N , то функция будет иметь вид:

$$f(N) = g(N) + h(N), \quad (17)$$

где: N – это текущий узел;

$g(N)$ – функция стоимости достижения от начального узла до текущего узла;

$h(N)$ – эвристическая функция оценивает стоимость расстояния от текущего узла N до конечного узла.

В алгоритме A-star появление эвристической функции $h(N)$ помогает найти маршрут к целевому узлу в определенном направлении вместо скалярного поиска, как в других алгоритмах, таких как алгоритм Дейкстры. Эвристика служит функцией оценки, оценивая стоимость достижения цели из каждого оцениваемого узла. Алгоритм A-star не определяет тип эвристики, используемой в алгоритме. Вместо этого эвристику можно сформулировать и адаптировать к потребностям пользователя. Важной особенностью эвристики является допустимость. Эвристика считается «допустимой», если предполагаемая стоимость достижения целевого узла всегда меньше фактической стоимости для всех узлов.

Модель применения A-star в оптимизации сети маршрутов ОВД

Оптимизация сети маршрутов ОВД с использованием алгоритма A-star начинается со сбора начальных и конечных узлов в соответствии с фактическими эксплуатационными потребностями полёта (см. рис. 3). На этом этапе $open_set$ ³ и $close_set$ ⁴ являются пустыми множествами. После определения начальных и конечных узлов анализируются промежуточные узлы для инициализации матрицы расстояний. Затем алгоритм использует обработанную матрицу расстояний для идентификации всех возможных последующих узлов-преемников, добавления их в $open_set$ и вычисления $g(N)$, $h(N)$ и $f(N)$ для каждого узла.

Из множества $open_set$ выбирается узел N_k с минимальным значением функции $f(N_k)$. Если существует несколько узлов с одинаковым значением $f(N_k)$, алгоритм выбирает любой из них, но всегда отдает предпочтение узлу из множества K (K – множество, содержащее конечные узлы). Если $N_k \in K$, узел

³ Множество $open_set$ содержит потенциальные узлы, которые помогают алгоритму расширять пространство поиска. Это означает, что все точки в этом множестве могут быть использованы для нахождения оптимального пути для маршрута – m .

⁴ Множество $close_set$ включает узлы, которые уже обработаны или принадлежат сети, но не могут быть использованы для поиска маршрута – m (например, точки, находящиеся в зонах, запрещённых для полётов). Это помогает алгоритму избегать повторного рассмотрения этих узлов в процессе поиска.

N_k добавляется в множество $close_set$, и алгоритм завершается, что означает, что найден оптимальный путь для маршрута ОВД.

В случае, если $N_k \notin K$, узел N_k добавляется в множество $close_set$, и процесс поиска продолжается для узла N_{k+1} , который является следующим соседним узлом для N_k , с целью продолжить поиск оптимального пути. На этом этапе узел N_k называется родительским узлом (parent) для N_{k+1} .

Далее вычисляется значение $f(N_{k+1})$ для всех соседних узлов N_{k+1} узла N_k , и узлы, которые не входят в множество $close_set$, добавляются в множество $open_set$. Узел с минимальным значением $f(N_{k+1})$ выбирается для дальнейшего анализа, который продолжается аналогичным образом, как это было описано выше для узла $f(N_k)$.

Процесс поиска завершается, когда конечная точка добавляется в список $close_set$. Список точек оптимального пути от начальной точки до конечной формируется, начиная с последней точки, через промежуточные и заканчивая начальной точкой на основе информации об их родительских точках.

Для задачи, включающей различные маршруты ОВД, алгоритм применяется к каждому маршруту до тех пор, пока не будет найден оптимальный путь, удовлетворяющий всем условиям заданного маршрута.

С целью минимизации расстояния маршрутов ОВД функция $f(N)$ представляется целевой функцией математической модели (уравнение 4). Кроме того, при проектировании маршрута ОВД (уравнения 9–15) необходимо учитывать уравнения ограничений на протяжении всего процесса оптимизации.

В соответствии с уравнением 16, эвристическая функция $h(N)$ играет ключевую роль в достижении оптимальных результатов. В данном исследовании для анализа влияния эвристической функции на оптимизацию маршрутов ОВД авторы создают модель с использованием различных типов эвристик, включая манхэттенскую функцию, евклидову функцию, диагональную функцию с параметром $D = 1$, $D_2 = \sqrt{2}$, гауссову функцию с параметром $\sigma = 1$, а также функцию потенциального поля.

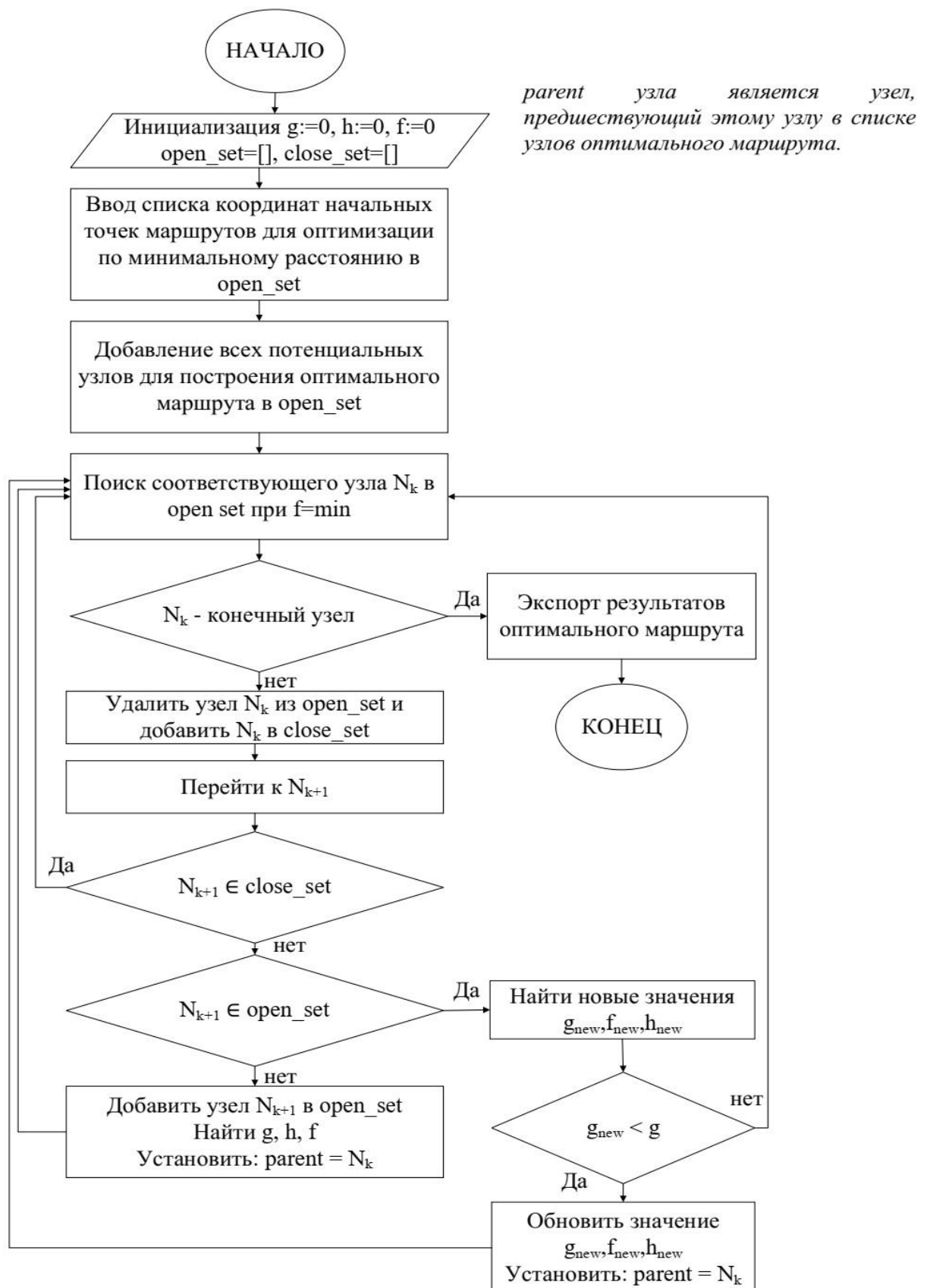


Рисунок 3 – блок-схема алгоритма a-star в оптимизации сети маршрутов оvd

Далее координаты бесполётной зоны обрабатываются в ВП, чтобы убедиться, что маршрут ОВД их избегает (уравнение 13). В сети промежуточных точек зоны представлены наборами точек, что ускоряет

алгоритм A-star, исключая их из поиска. Блок-схема обработки бесполётных зон показана на рис. 4.

Все координаты, используемые в программе, представляют собой координаты широты и долготы, выраженные в десятичных градусах. Для расчёта влияния сферической кривизны земли будет использоваться формула расстояния по большому кругу⁵:

$$d \text{ (км)} = 111.12 \cos^{-1} [\sin x_1 \times \sin x_2 + \cos x_1 \times \cos x_2 \times \cos(y_2 - y_1)], \quad (18)$$

где: d (км) – расстояние по большому кругу между 2 координатами в км;

x_1 и x_2 – широты узлов N и $N + 1$ соответственно;

y_1 и y_2 – долготы узлов N и $N + 1$ соответственно.

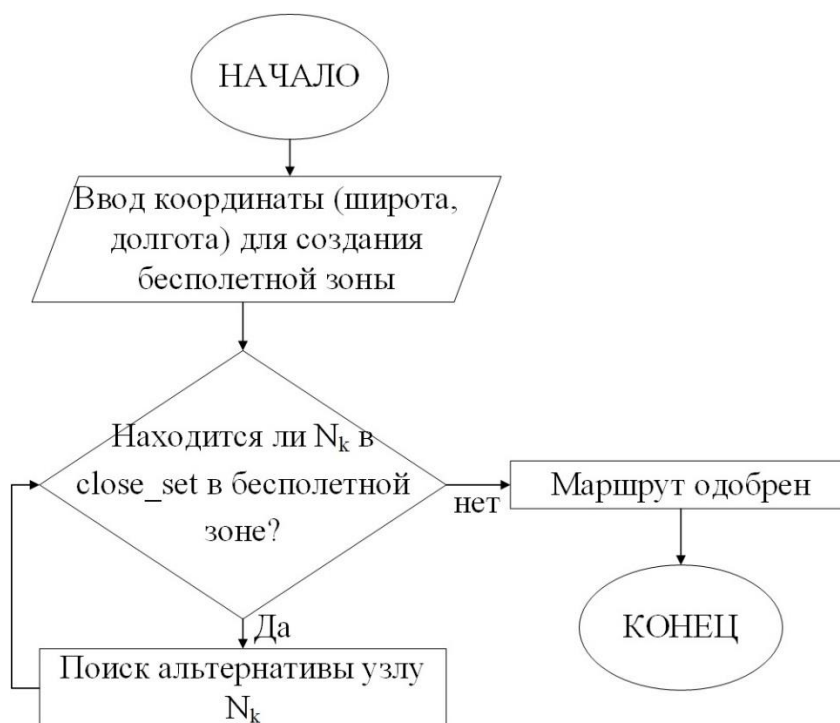


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма обработки данных бесполётной зоны в предлагаемой модели

Практический пример: результаты и анализ

Для применения алгоритма A-star необходимо определить граф G , представляющий структуру ВП. В настоящее время в ВП РДЦ Хошимина в общей сложности имеется 114 узлов, используемых для построения маршрутов ОВД. Применение уравнения 5 будет иметь 6441 дугу. Это относительно большое число, что может привести к увеличению времени вычислений. Поэтому для сокращения времени работы программы координаты узлов будут обработаны и разделены на 3 зоны: северную, южную

⁵ Great Circle Distance Formula // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/great-circle-distance-formula> (дата обращения: 11.11.2024).

и восточную. При построении маршрута ОВД в зоне используются только соответствующие узлы и дуги в этой зоне.

В этом практическом примере представлены результаты оптимизации трех важных маршрутов ОВД в ВП РДЦ Хошимина, а именно:

- международный аэропорт Тан Сон Нхат (VVTN) – международный аэропорт Дананга (VVND). Причина выбора: это чрезвычайно важный маршрут ОВД, осуществляющий внутренний рейс, соединяющий 2 крупнейших аэропорта ВП РДЦ Хошимина. Этот рейс имеет достаточно высокую плотность выполнения операций (в среднем 25 полетов в день). Кроме того, этот маршрут ОВД соединяет два района полетной информации во Вьетнаме, помогая соединить полёты с юга на север Вьетнама, включая международный аэропорт Нойбай (VVNB). В 2023 году маршрут VVNB – VVTN занял четвертое место в мире по загруженности маршрута ОВД с объемом перевозки 10,9 млн пассажиров⁶;

- международный аэропорт Тан Сон Нхат (VVTN) – точка передачи управления ARESI. Причина выбора: это маршрут ОВД, соединяющий аэропорт Тан Сон Нхат с Восточным морем (восток Вьетнама), который помогает соединить аэропорт Тан Сон Нхат (аэропорт Камрань) со странами Восточной Азии, такими как Япония и Корея;

- международный аэропорт Камрань (VVCR) – международный аэропорт Фукуок (VFPQ): Причина выбора: это второй по загруженности внутренний маршрут ОВД в ВП РДЦ Хошимина. Кроме того, при выборе маршрута ОВД на этом маршруте могут выполняться и другие внутренние рейсы, такие как VVTN – VFPQ, VVTN – VVCR и т.д.

Три маршрута ОВД, выбранные в данной модели, будут последовательно оптимизированы с использованием пяти эвристических функций, описанных ранее. Результаты оптимизации этих маршрутов с применением различных эвристических методов приведены в таблице 1.

Из результатов таблицы 1 видно, что эвристическая функция Манхэттена даёт наилучшие оптимальные результаты. Это можно объяснить тем, что данный метод вычисляет расстояние между двумя точками вдоль перпендикулярных осей, не принимая во внимание диагональ. Между тем, при проектировании маршрутов ОВД диагональные линии (т.е. прямые линии, непосредственно соединяющие две точки) не ограничены, и они обычно приводят к наименьшему расстоянию. Диагональная эвристическая функция и функция потенциального поля дают аналогичные результаты, лучше, чем эвристическая функция Манхэттена на маршрутах ОВД VVTN – ARESI и VVCR – VFPQ. Наилучшие результаты, полученные с помощью двух эвристических функций: Евклида и Гаусса, оказываются одинаковыми. Причиной этого является то, что обе функции вычисляют расстояние на основе формулы Евклида, при этом в функции Гаусса результат корректируется с учётом стандартного отклонения. Однако, поскольку

⁶ OAG Aviation Worldwide Limited. The busiest flight routes of 2023 // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://www.oag.com/busiest-routes-world-2023> (дата обращения: 09.10.2024).

расчёты ведутся в двумерном пространстве, эта корректировка не вносит значительных изменений. Аналогично, метод потенциального поля оказался бы более эффективным, если бы в модели присутствовали дополнительные ограничения по высоте, но при проектировании двухмерной сети маршрутов ОВД ограничения по высоте препятствий не учитываются. Поэтому в дальнейших исследованиях при проектировании всей сети маршрутов ОВД авторы будут отдавать приоритет выбору евклидовой функции, поскольку её использование проще и при этом она даёт хорошие оптимальные результаты, аналогичные более сложным функциям.

Таблица 1 – Результаты с применением различных эвристических функций

	Эвристическая функция Манхэттена	Эвристическая функция Евклида	Эвристическая функция диагонали	Эвристическая функция Гаусса	Функция потенциально-го поля
VVTS – VVDN	636.85 км TSH - KADUM - BMT - ENGIM - MUMGA - BANSU - SADIN - DAD	626.83 км TSH - KADUM - PATMA - SADAS - DADEN - TATIM - DAD	636.85 км TSH - KADUM - BMT - ENGIM - MUMGA - BANSU - SADIN - DAD	626.83 км TSH - KADUM - PATMA - SADAS - DADEN - TATIM - DAD	636.85 км TSH - KADUM - BMT - ENGIM - MUMGA - BANSU - SADIN - DAD
VVTS – ARESI	959.41 км TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - DAMEL - MESOX - ARESI	931.36 км TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - NITOM - MESOX - ARESI	931.36 км TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - NITOM - MESOX - ARESI	931.36 км TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - NITOM - MESOX - ARESI	931.36 км TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - NITOM - MESOX - ARESI
VVCR – VVPQ	616.75 км CRA - VETOM - AC - TSH - POTIX - TUNPO - PQU	612.32 км CRA - IBUNU - AC - ESDOB - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU	612.91 км CRA - VETOM - AC - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU	612.32 км CRA - IBUNU - AC - ESDOB - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU	612.91 км CRA - VETOM - AC - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU

Оптимальные результаты трёх маршрутов ОВД с использованием евклидовой эвристической функции представлены на рис. 5. На нём черная линия обозначает маршрут ОВД, соединяющий VVTS и VVDN, красная линия – маршрут VVCR и VVPQ, а синяя линия – маршрут между VVTS и ARESI.

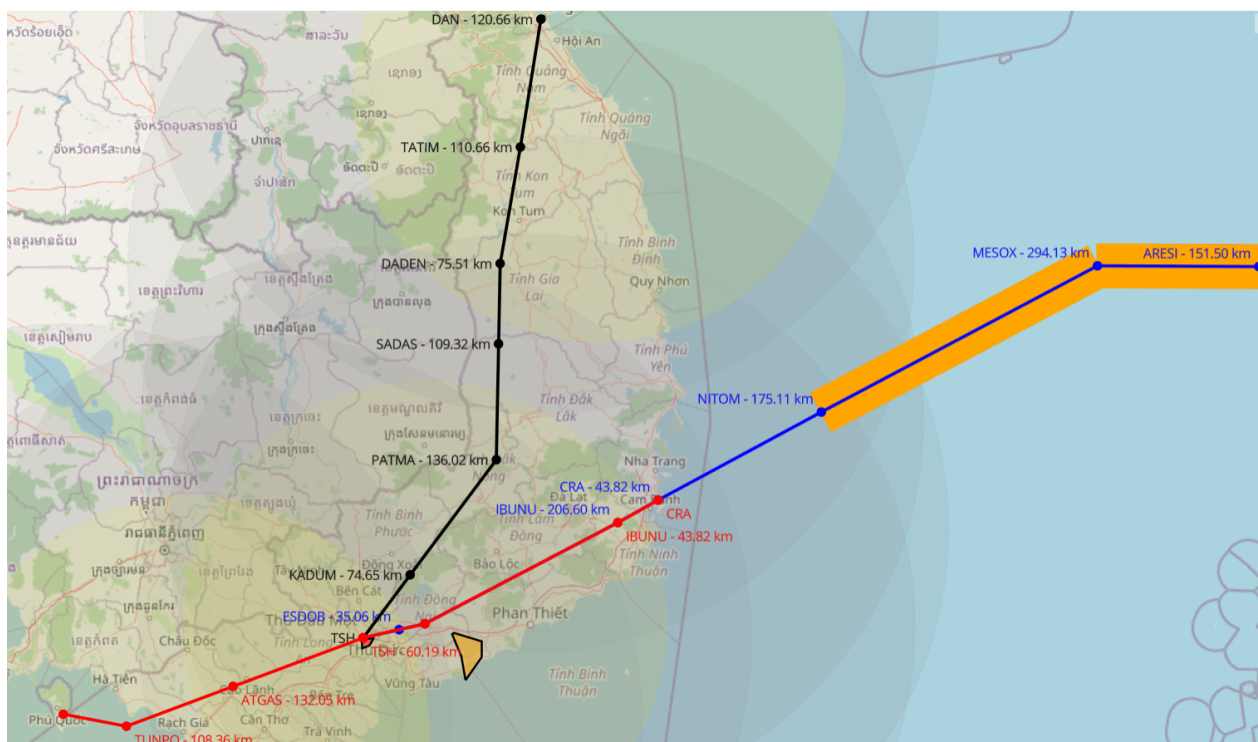


Рисунок 5 – Оптимальный маршрут ОВД с использованием алгоритма A-star

Серые круги указывают зоны действия навигационных станций VOR/DME, а жёлтые круги обозначают зоны действия навигационных станций NDB в ВП РДЦ Хошимина. Результаты показывают, что все маршруты ОВД на континентальной части находятся в пределах зон действия навигационных станций (т.е. удовлетворяют уравнению 7). Для маршрута ОВД, соединяющего точки VVTS и ARESI, начиная с точки NITOM и далее, маршрут проходит через район, расположенный в Восточном море, где установка навигационной станции затруднительна, поэтому для расчётов применяется уравнение 8. Оранжевый прямоугольник обозначает границы региона. Кроме того, на рисунке также показаны названия узлов и длины дуг (расстояния между двумя узлами на маршруте ОВД). Длина дуги указывается в конечной точке. Например, дуга TSH – KADUM на маршруте ОВД VVTS – VVDN имеет длину 74,65 км.

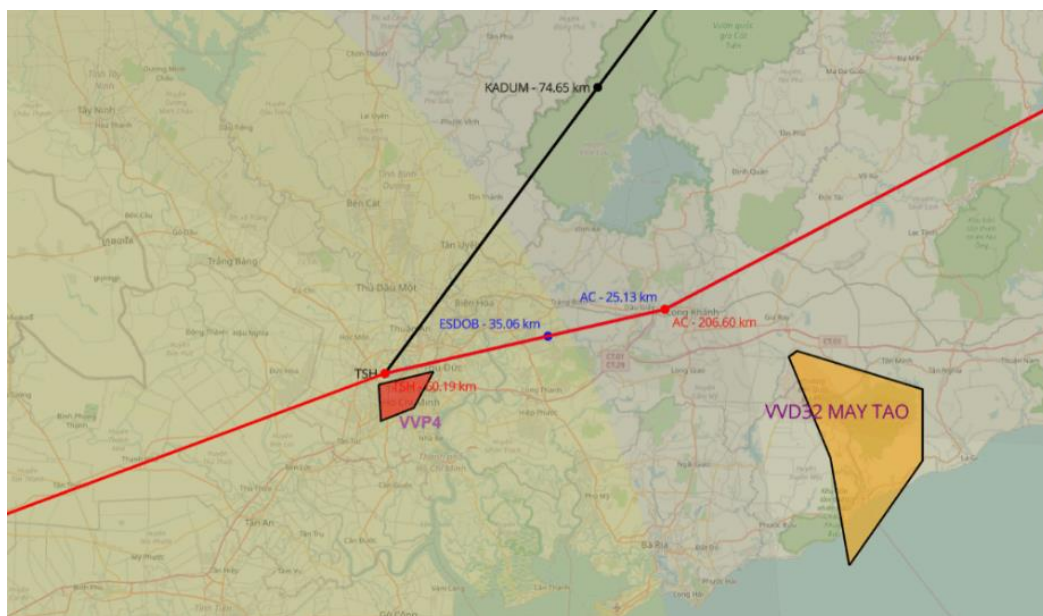


Рисунок 6 – Результаты испытаний маршрута ОВД не прошли через бесполётную зону

В ВП РДЦ Хошимина существуют запретные зоны, опасные зоны и зоны ограниченных полётов, влияющие на деятельность ВС на маршруте ОВД (опасная зона MAY TAO – VVD32 и запретная зона Хошимина – VVP4). При проектировании и оптимизации маршрутов ОВД прохождение этих зон не допускается (уравнение 13). На рис. 6 показано, что оптимизированные маршруты ОВД вообще не нарушают бесполётные зоны. В частности, зона VVP4 находится на очень близком расстоянии от узла TSH, но все же гарантирует это ограничение.

В таблице 2 показаны результаты сравнения фактических маршрутов и оптимальных маршрутов ОВД. Результаты сравнения показывают, что все три оптимальных маршрута ОВД имеют общую длину короче используемого в настоящее время маршрута ОВД. Это свидетельствует о правильности и применимости программы. Таким образом, оптимальный маршрут ОВД использует меньше навигационных координат, что снижает интенсивность радиобмена и, следовательно, уменьшает рабочую нагрузку на авиадиспетчеров.

Таблица 2 – Сравнение оптимальных и фактических маршрутов ОВД

	Используемый в настоящее время маршрут ОВД		Маршрут ОВД оптимальной программы	
VVTS – VVDN	TSH - KADUM - PATMA - SADAS - MUMGA - BANSU - SADIN - DAD	631,42 км	TSH - KADUM - PATMA - SADAS - DADEN - TATIM - DAD	626,83 км
VVTS – ARESI	TSH - ESDOB - AC - VETOM - LKH - SOSRA - CRA - ATVIT - NITOM - MESOX - ARESI	935 км	TSH - ESDOB - AC - IBUNU - CRA - NITOM - MESOX - ARESI	931,36 км

	Используемый в настоящее время маршрут ОВД		Маршрут ОВД оптимальной программы	
VVCR – VVPQ	CRA - SOSRA - LKH - VETOM - AC - ESDOB - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU	615,74 км	CRA - IBUNU - AC - ESDOB - TSH - ATGAS - TUNPO - PQU	612,32 км

Заключение

С точки зрения теории графов и алгоритма A-star была разработана модель для анализа характеристик маршрутов ОВД, тем самым построена математическая модель и программа оптимизации маршрутной сети ОВД. Хотя практический пример, представленный в этой статье, оптимизировал только три маршрута ОВД, результаты, тем не менее, демонстрируют эффективность и точность программы, которая является основой для будущей общей оптимизации сети маршрутов ОВД в ВП РДЦ Вьетнама. Так как данные результаты оптимизируют только три маршрута ОВД, оптимизация для пары маршрутов ОВД «*m*» и «*n*» (уравнения 14 и 15) еще не рассматривалась. Это будет рассмотрено в последующих исследованиях.

По мнению авторов, данное исследование представляет собой важный шаг в области оптимизации сети маршрутов ОВД, поскольку впервые была разработана модель, учитывающая специфику ВП РДЦ Хошимина. Использование алгоритма A-star в рамках этой модели должно привести к сокращению общей длины маршрутов и повышению уровня безопасности полетов. В отличие от существующих методов, которые ограничиваются оптимизацией отдельных маршрутов, предложенный подход ориентирован на создание комплексной и устойчивой сети маршрутов ОВД.

В соответствии со стандартами и рекомендациями, разработанными Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) для обеспечения безопасности полетов, требуется разработка как основного, так и альтернативного маршрутов ОВД, в случае невозможности применения основного. Исходя из этого, государствам-членам рекомендуется разработать **playbook route**⁷ для внедрения и эффективного управления такими чрезвычайными ситуациями. Это также является целью будущих исследований авторов помимо использования алгоритмов оптимизации всей основной сети маршрутов ОВД в ВП РДЦ Хошимина.

В дальнейшем данное направление исследований будет развиваться с целью применения при ОрВД во Вьетнаме. Использование программы оптимизации сети маршрутов ОВД и проектирования ВП путем перераспределения секторов [Хоанг Куан и др., 2024] будет способствовать повышению пропускной способности, эксплуатационной эффективности и обеспечению безопасности ВД в ВП РДЦ Хошимина.

⁷ Playbook route – это набор стандартных маршрутов ОВД, которые ОВД может использовать в определенных обстоятельствах, когда основной маршрут недоступен. Эти маршруты созданы для обеспечения возможности быстрого внедрения по мере необходимости.

Библиографический список

- Гаракоев А. М.* Формирование программных траекторий движения летательного аппарата при аэрогеофизической съемке / А. М. Гаракоев, А. И. Гладышев // Проблемы управления. 2023. № 4. С. 38-47. DOI 10.25728/ru.2023.4.4. EDN FITCAK.
- Костин А. С.* Исследование моделей и методов маршрутизации и практического выполнения автономного движения беспилотными транспортными системами для доставки грузов / А. С. Костин, Н. Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2023. Т. 15, № 3. С. 524-536. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-524-536. EDN SBJQBU.
- 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.
- Неретин Е. С.* Анализ взаимодействия человека и влияния погоды на прогнозирование траектории самолета с помощью искусственного интеллекта / Е. С. Неретин, Т. Л. Ф. Нгуен, Н. Х. К. Нгуен // XIX Научно-техническая конференция по авиации, посвященная памяти Жуковский Н.Э. Москва, 2022. С. 85-89. DOI 10.1109/TSCZh55469.2022.9802458.
- Румянцев Б. В.* Алгоритм построения траектории движения беспилотных аппаратов для мониторинга состояния сельскохозяйственных полей / Б. В. Румянцев, С.В. Прокопчина, А.А. Кочкаров // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 1. С. 77-88. DOI 10.18522/2311-3103-2024-1-77.
- Самохина М. А.* Построение карты локально оптимальных путей управляемого подвижного объекта в конфликтной среде при переходе из точки в точку / М. А. Самохина, А. А. Галяев // Проблемы управления. 2024. № 1. С. 90-102. DOI 10.25728/cs.2024.1.8. EDN KAJQCZ.
- Хоанг Куан Н. Н.* Предложения по проектированию организации воздушного пространства секторов ОВД районного диспетчерского центра Хошимина с целью повышения его пропускной способности / Н. Н. Хоанг Куан, В. Н. Нечаев // Научный Вестник МГТУ ГА. 2024. Т. 27, № 3, С. 50-66. DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66. EDN AXEFBG.
- Храмов А. А.* Оптимизация траекторного движения первой ступени авиационно-космической системы // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23, № 1. С. 80-92. DOI 10.18287/2541-7533-2024-23-1-80-92. EDN TBEUCB.
- Air traffic controller workload level prediction using conformalized dynamical graph learning / Yu. Pang, Ju. Hu, Ch. S. Lieber [et al.] // Advanced Engineering Informatics. 2023. Vol. 57. P. 102113. DOI 10.1016/j.aei.2023.102113. EDN AYITCI.
- Bombelli A.* (2020). Analysis of the air cargo transport network using a complex network theory perspective / A. Bombelli, B. F. Santos, L. Tavasszy // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2020. vol. 138. pp. 101. DOI 10.1016/j.tre.2020.101959.
- Clothoid-Based Path Planning for a Formation of Fixed-Wing UAVs / L. Blasi, E. D'amato, I. Notaro, G. Raspaolo // Electronics. 2023. Vol. 12, No. 10. P. 2204. DOI 10.3390/electronics12102204. EDN RASTRZ.
- Detecting delay propagation in regional air transport systems using convergent cross mapping and complex network theory / Zh. Guo, M. Hao, B. Yu, B. Yao // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2022. Vol. 157. P. 102585. DOI 10.1016/j.tre.2021.102585. EDN ERLPGK.
- Ekrami Kivaj A.* Spacecraft reentry trajectory optimization by heuristic optimization methods and optimal control theory / A. Ekrami Kivaj, A. Basohbat Novinzadeh, F. Pazooki // International Journal of Dynamics and Control. 2023. Vol. 11, № 3. P. 1132-1141. DOI 10.1007/s40435-022-01033-0. EDN DSTWIG.

Ntakolia Ch. A n-D ant colony optimization with fuzzy logic for air traffic flow management / Ch. Ntakolia, D. V. Lyridis // *Operational Research*. 2022. Vol. 22, № 5. P. 5035-5053. DOI 10.1007/s12351-021-00686-7. EDN FXGPQF.

Optimal control based coordinated taxiing path planning and tracking for multiple carrier aircraft on flight deck / X. W. Wang, H. Ju. Peng, J. Liu [et al.] // *Defence Technology*. 2022. Vol. 18, № 2. P. 238-248. DOI 10.1016/j.dt.2020.11.013. EDN CLKUHX.

Optimization of an aircraft flight trajectory in the GLONASS dynamic accuracy field / O. N. Skrypnik, E. E. Nechaev, N. G. Arefyeva, R. O. Arefyev // *Civil Aviation High Technologies*. 2019. Vol. 22, № 5. P. 19-31. DOI 10.26467/2079-0619-2019-22-5-19-31. EDN LOFFYQ.

UAV Trajectory Optimisation in Smart Cities Using Modified A* Algorithm Combined With Haversine and Vincenty Formulas / A. Andreou, C. X. Mavromoustakis, J. M. Batalla [et al.] // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2023. Vol. 72, № 8. P. 9757-9769. DOI 10.1109/tvt.2023.3254604. EDN KKENBC.

Van Rossum G. Python 3 Reference Manual / G. Van Rossum, F. L. Drake. USA: CreateSpace, Scotts Valley, CA, 2009. 244 p.

Zwick M. Sensor-Model-Based Trajectory Optimization for UAVs to Enhance Detection Performance: An Optimal Control Approach and Experimental Results / M. Zwick, M. Gerdt, P. Stütz // *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 2. P. 664. DOI 10.3390/s23020664. EDN VWWPPL.

References

Andreou A., C. Mavromoustakis X., Batalla J. M. [et al.] (2023). UAV Trajectory Optimisation in Smart Cities Using Modified A* Algorithm Combined With Haversine and Vincenty Formulas. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 72(8): 9757-9769. DOI 10.1109/TVT.2023.3254604/.

Blasi L, D'amato E, Notaro I, Raspaolo G. (2023). Clothoid-Based Path Planning for a Formation of Fixed-Wing UAVs. *Electronics*. 12(10): 2204. DOI 10.3390/electronics12102204.

Bombelli A., Santos B.F., Tavasszy L. (2020). Analysis of the air cargo transport network using a complex network theory perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 138: 101. DOI 10.1016/j.tre.2020.101959.

Ekrami Kivaj A., Basohbat Novinzadeh A., Pazooki F. (2023). Spacecraft reentry trajectory optimization by heuristic optimization methods and optimal control theory. *International Journal of Dynamics and Control*. 11: 1132-1141. DOI 10.1007/s40435-022-01033-0.

Garakoev A. M., Gladyshev A. I. (2023). Aircraft motion control algorithms for airborne geophysical survey. *Control Sciences*. 4: 38-47. DOI 10.25728/cs.2023.4.4. (In Russian)

Guo Zh., Hao M., Yu B., Yao B. (2022). Detecting delay propagation in regional air transport systems using convergent cross mapping and complex network theory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 157: 102585. DOI 10.1016/j.tre.2021.102585.

Hoang Quan N. N., Nechaev V. N. (2023). Proposals for the design of the airspace of the ATS sectors of the Ho Chi Minh City Area Control Center in order to increase its capacity. *Civil Aviation High Technologies*. 27(3): 50-66. DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-3-50-66. (In Russian)

Khramov A. A. (2024). Optimization of trajectory motion of the first stage of an aerospace system. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 23(1): 80-92. DOI 10.18287/2541-7533-2024-23-1-80-92. (In Russian)

Kostin A. S., Maiorov N. N. (2023). Research of models and methods for routing and practical implementation of autonomous movement by unmanned transport systems for cargo delivery. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 15(3): 524-536. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-3-524-536. (In Russian)

Neretin E. S., Nguyen T. L. Ph., Nguyen N. H. Q. (2022). An Analysis of Human Interaction and Weather Effects on Aircraft Trajectory Prediction via Artificial Intelligence. *XIX Technical*

- Scientific Conference on Aviation Dedicated to the Memory of N.E. Zhukovsky*. Moscow: 85-89. DOI 10.1109/TSCZh55469.2022.9802458. (In Russian)
- Nguyen T. L. Ph., Neretin E. S., Nguyen N. M. (2024). Development of a conflict detection and resolution Methodology used in the operational flight 4D-trajectory planning. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 2: 77-95. DOI 10.51955/2312-1327_2024_2_77. (In Russian)
- Ntakolia C., Lyridis D. V. (2022). A n-D ant colony optimization with fuzzy logic for air traffic flow management. *Operational Research*. 22: 5035-5053. DOI 10.1007/s12351-021-00686-7.
- Pang Yu., Hu Ju., Lieber Ch. S. [et al.] (2023). Air traffic controller workload level prediction using conformalized dynamical graph learning. *Advanced Engineering Informatics*. 57: 102113. DOI 10.1016/j.aei.2023.102113.
- Rumiantsev B. V., Prokopchina S. V., Kochkarov A. A. (2024). Algorithm for the construction of the trajectory of unmanned vehicles for monitoring the condition of agricultural fields. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 1: 77-88. DOI 10.18522/2311-3103-2024-1-77. (In Russian)
- Samokhina M. A., Galyaev A. A. (2024). Constructing a map of locally optimal paths for a controlled moving object in a threat environment. *Control Sciences*. 1: 90-102. DOI 10.25728/cs.2024.1.8. (In Russian)
- Skrypnik O. N., Nechaev E. E., Arefyeva N. G., Arefyev R. O. (2019). Optimization of an aircraft flight trajectory in the GLONASS dynamic accuracy field. *Civil Aviation High Technologies*. 22(5): 19-31. DOI 10.26467/2079-0619-2019-22-5-19-31.
- Van Rossum G., Drake F. L. (2009). Python 3 Reference Manual. USA: CreateSpace, Scotts Valley, CA. 2009. 244 p.
- Wang X. W., Peng H. J., Liu J. [et al.]. (2022). Optimal control based coordinated taxiing path planning and tracking for multiple carrier aircraft on flight deck. *Defence Technology*. 18(2): 238-248. DOI 10.1016/j.dt.2020.11.013.
- Zwick M, Gerdt M, Stütz P. (2023). Sensor-Model-Based Trajectory Optimization for UAVs to Enhance Detection Performance: An Optimal Control Approach and Experimental Results. *Sensors*. 23(2): 664. DOI 10.3390/s23020664.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА. ЧАСТЬ 1

*Александр Юрьевич Княжский,
orcid.org/0000-0001-7901-2861,
кандидат технических наук
АО «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 «Обуховский завод»,
проспект Обуховской обороны, д. 120
Санкт-Петербург, 192012, Россия
s.baushev@goz.ru*

Аннотация. В общей системе организации воздушного движения одну из основных функций выполняет подсистема планирования использования воздушного пространства, осуществляющая предварительное (стратегическое), суточное (предтактическое) и текущее (тактическое) планирование с требуемыми показателями качества, значения которых зависят от расположения и задач аэродрома.

Данная статья является первой частью обзора существующих систем планирования использования воздушного пространства. Целью настоящего исследования является обзор и сравнительный анализ существующих моделей воздушного движения. В настоящее время известны следующие модели воздушной обстановки: сетевые, вероятностные, динамики загрузки, экспертные, развития воздушной обстановки, потенциалов, энтропийные. В статье проведен их обзор, выявлены преимущества и недостатки. Данные модели используются для прогнозирования интенсивности воздушного движения, вычисления кратчайших маршрутов, формирования порядка вылетов и прилетов воздушных судов. Однако возрастание требований к пропускной способности воздушного пространства и необходимость обеспечения высокого уровня безопасности воздушного движения, при ограничениях параметров полета воздушных судов, расходу топлива и другим показателям качества обслуживания воздушного движения создает проблемную ситуацию, которая в настоящее время не решена в существующих системах планирования использования воздушного пространства. Использование существующих моделей при высокоинтенсивном воздушном движении приводит к существенному повышению среднего расхода топлива, в связи с чем необходимо их совершенствовать.

Ключевые слова: модели воздушной обстановки, планирование использования воздушного пространства, ПИВП, безопасность воздушного движения, расход топлива, траектории.

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR PLANNING AIRSPACE MANAGEMENT. PART 1

*Alexander Yu. Knyazhsky,
orcid.org/0000-0001-7901-2861,
Candidate of Technical Sciences
JSC «Obukhov 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 «Obukhov Plant»
Obukhovskaya Oborony Avenue, 120
St. Petersburg, 192012, Russia
s.baushev@goz.ru*

Abstract. In the general air traffic management system, one of the main functions is performed by the airspace planning (ASP) subsystem, which carries out preliminary (strategic), daily (pre-tactical) and current (tactical) planning with the required quality indicators, the values of which depend on the location and tasks of the aerodrome.

The paper is the first part of the review of existing airspace planning systems. The purpose of the study is to review and comparatively analyze existing air traffic models. Currently, the following air situation models are known: network, probabilistic, load dynamics, expert, air situation development, potentials, entropy. The paper provides an overview of them, identifying their advantages and disadvantages. These models are used to predict air traffic intensity, calculate the shortest routes, form the order of departures and arrivals of aircraft. However, the increase in requirements for airspace capacity and the need to ensure a high level of air traffic safety, with restrictions on aircraft flight parameters, fuel consumption and other indicators of air traffic service quality creates a problematic situation, which, at present, has not been resolved in the existing airspace planning systems. The use of existing models in high-intensity air traffic leads to a significant increase in average fuel consumption, which is why they need to be improved.

Keywords: air situation models, airspace planning, ASP, air traffic safety, fuel consumption, trajectories.

Introduction (Введение)

В задачи организации воздушного движения (ОрВД) входят управление воздушным движением и планирование использования воздушного пространства, осуществляемые безопасными, экономичными и эффективными способами с учетом интересов всех сторон [Федеральные ..., 2011].

Подсистема планирования использования воздушного пространства осуществляет предварительное (стратегическое), суточное (предтактическое) и текущее (тактическое) планирование с соблюдением требуемых показателей качества. Значения данных показателей задаются нормами ИКАО, ГОСТ и другими документами и могут варьироваться в зависимости от расположения и задач аэродрома. Обобщенно процесс организации воздушного движения представлен на рис. 1.

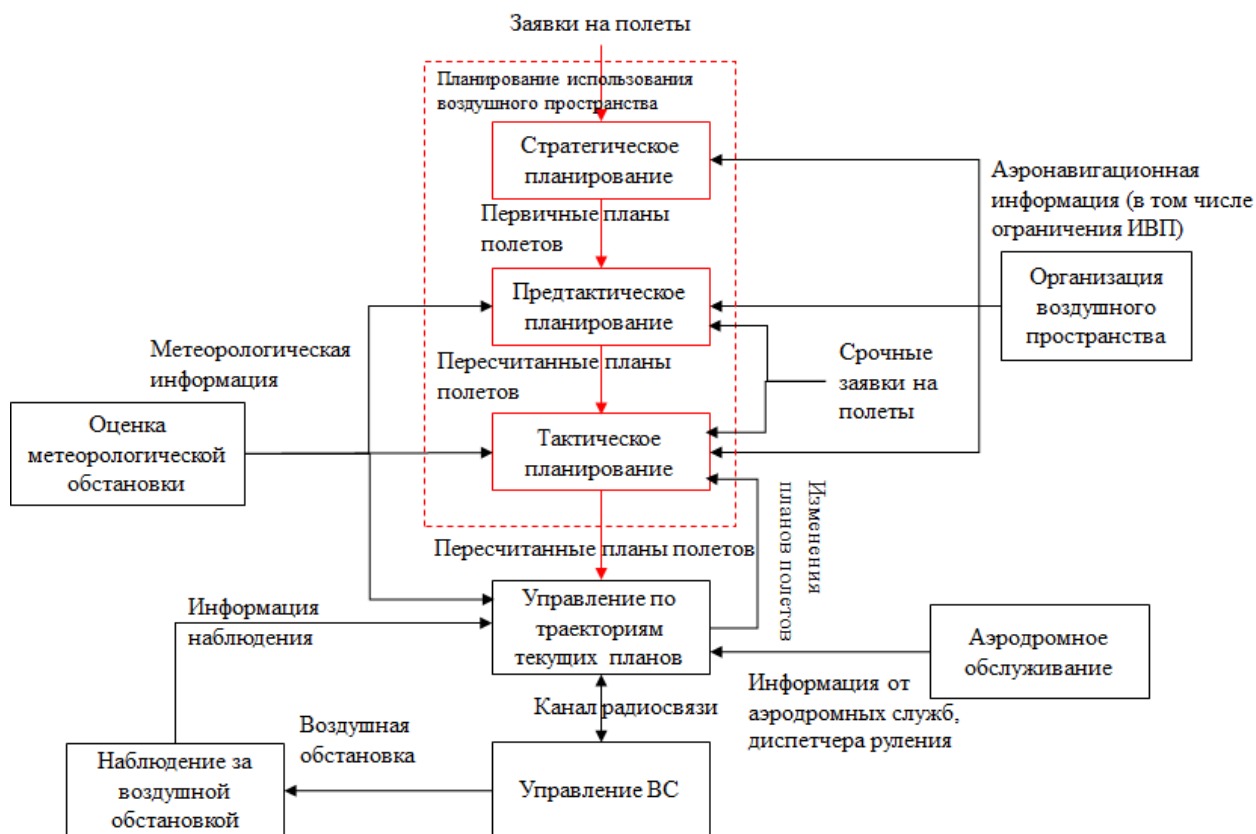


Рисунок 1 – Процесс организации воздушного движения

Планирование использования воздушного пространства заключается в организации потоков воздушного движения с соблюдением заданных требований к безопасности, пропускной способности и экономичности воздушного движения. Планирование использования воздушного пространства делится на три этапа: стратегическое (за двое и более суток), предтактическое (накануне) и тактическое (изменение плановой траектории в процессе полета) [Федеральные ..., 2011]. Результатом стратегического планирования является предварительное расписание полетов ВС на длительный период. В процессе предтактического планирования корректируются плановые траектории ВС таким образом, чтобы соблюсти поступившие ограничения и заявки на полеты. В процессе тактического планирования траектории ВС корректируются с учетом планов, поступивших в течение последних 24 часов [Федеральные ..., 2011].

К пропускной способности воздушного пространства, точности и достоверности информации наблюдения предъявляются достаточно высокие требования. С другой стороны, необходимо обеспечивать высокий уровень безопасности воздушного движения в условиях жестких ограничений к параметрам движения ВС, расходу топлива и другим показателям качества обслуживания воздушного движения. Данное противоречие создаёт проблемную ситуацию, которую необходимо разрешить. В зарубежной литературе некоторые модели воздушного движения описаны в [Airline crew..., 2003; AhmadBeygi et al., 2009; Antunes et al., 2019; Barnhart at al., 2004; Barnhart et al, 1998; Flight string..., 1998; Daskin et al, 1989].

Materials and methods (Материалы и методы)

Материалами исследования являются научные публикации, в которых описываются и исследуются модели представления воздушной обстановки. Основные материалы изложены в работах: Рудельсона Л. Е., Советова Б.Я., Чеха В.А., Кулиды Е.Л., Barnhart C., Chaimatanan S., Wilson A.G.

Методы исследования: анализ, синтез, индукция.

Discussion (Дискуссия)

Сетевая модель

Известна сетевая модель использования воздушного пространства, основой которой является связный планарный гиперграф $G(v_i, r_{ij})$, составленный из заданных маршрутов ВС (рис. 2)⁸. Вершинами графа G v_i ($i = 1, \dots, I$) считаются навигационные пункты I , точки пересечения трасс и аэродромы. Дуги графа r_{ij} ($i, j = 1, \dots, I; i \neq j$) соответствуют участкам трасс между навигационными пунктами. Каждая дуга r_{ij} характеризуется весовым коэффициентом g_{ij} , зависящим от пропускной способности и/или стоимости движения c_{ij} по участку r_{ij} . Весовые коэффициенты зависят от метеорологической обстановки, ограничений воздушного пространства и качества связи. В более сложной реализации модели весовые коэффициенты являются функциями, зависящими от высоты и точки участка трассы (расстояния).

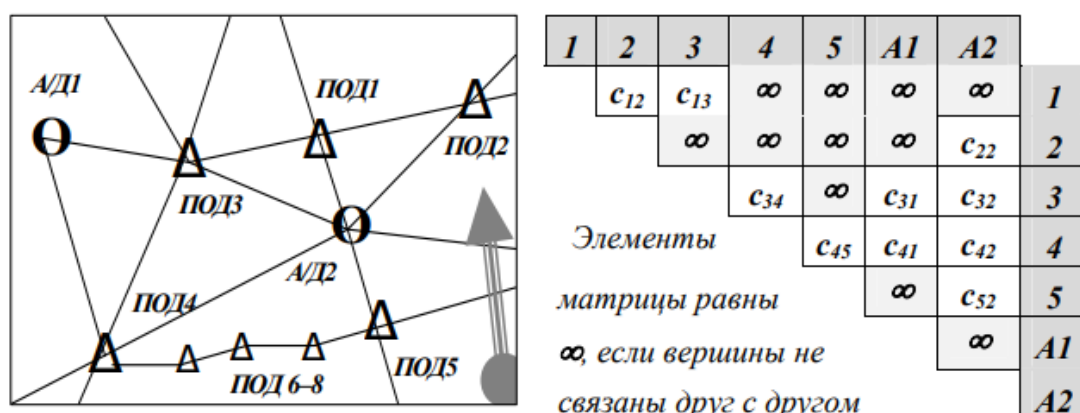


Рисунок 2 – Представление данных о маршрутах движения ВС (без учета внутренних вершин ПОД 6-8)¹. Серой стрелкой обозначено направление ветра

Для осуществления компьютерного моделирования граф $G(v_i, r_{ij})$ представляется в виде матрицы M , элементы m_{ij} которой зависят от g_{ij} и c_{ij} . Также известна сетевая модель [Zhe Liang et al., 2020], для сокращения вычислений разделяющая граф $G(v_i, r_{ij})$ на подграфы, с учетом точек взлета и

⁸ Рудельсон Л. Е. Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением: Учеб. пособие / Л. Е. Рудельсон; М-во трансп. Рос. Федерации. Федер. гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Моск. гос. ун-т гражд. авиации. Каф. вычислит. машин, комплексов, систем и сетей. Москва: МГТУ ГА, 2004. 96 с. EDN OWRTCJ.

посадки. При этом, в данной модели установлено ограничение на максимально допустимое число одновременно находящихся в воздухе ВС в определенном секторе.

Вероятностные модели

Многоканальные системы массового обслуживания

С точки зрения теории очередей в рамках модели Эрланга централизованная служба планов полетов является многоканальной системой массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью и относительным приоритетом. Плановые времена вылетов в поступающих заявках распределены по пуассоновскому закону. После их обработки распределение меняется на экспоненциальное, а процесс изменения состояний СМО не является марковским [Бочаров и др., 2005]. В большинстве случаев СМО можно описать системой алгебраических уравнений конечного порядка.

Вероятностная модель в задаче планирования авиарейсов

В [Ребров и др., 2007] представлена вероятностная модель в задаче планирования авиарейсов. На входе системы – два случайных потока заявок, содержащих планы полетов, с заданными интенсивностями λ_i . Заявки из первого потока имеют более высокий приоритет обслуживания, чем из второго. Если заявка с большим поступает в момент обработки заявки с низшим приоритетом, она помещается в очередь сразу после завершения обработки текущей заявки. Далее обрабатываются все заявки более высокого приоритета из очереди, потом – более низкого. В случае отсутствия в буферном накопителе (БН) свободных мест вместо заявки низкого приоритета помещается заявка высокого приоритета. При полной загрузке БН заявками высокого приоритета все поступающие новые заявки не попадают в обработку. Качество обслуживания измеряется отношением средних времен обслуживания заявок из двух входных потоков.

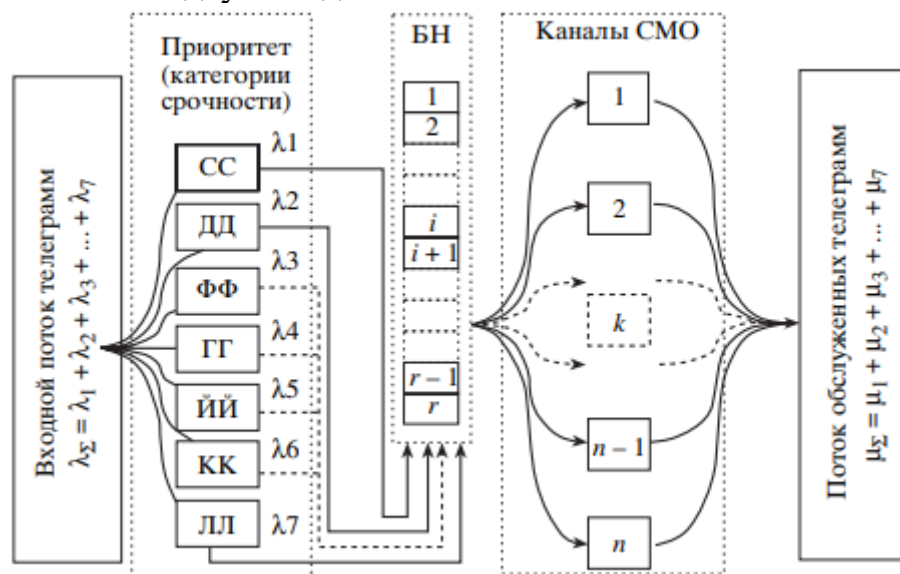


Рисунок 3 – Система обслуживания с одним буферным накопителем и различными приоритетами входных заявок [Ребров и др., 2007, с. 102]

Также [Ребров и др., 2007] известна СМО, функционирующая на основе БН, разделенного на секции, содержащие очереди из заявок на полеты в соответствии с их приоритетами.

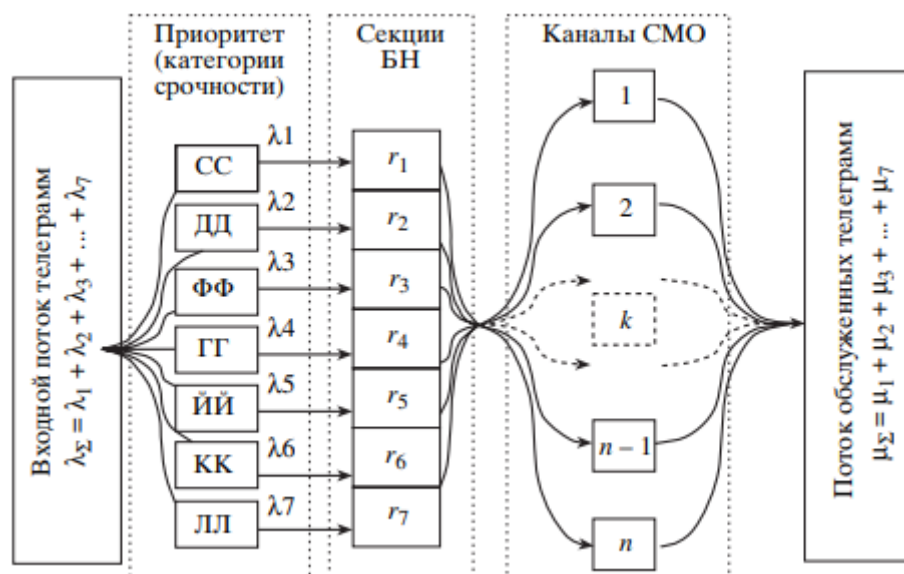


Рисунок 4 – Система обслуживания с относительными приоритетами и приемом заявок на полеты ВС в отдельные секции буферного накопителя [Ребров и др., 2007, с. 100]

При высоких интенсивностях входных потоков заявок возрастает вероятность потери заявки в результате перегруза системы. В результате чего вероятности потерь заявок высокого приоритета приближаются к вероятностям потерь заявок низкого приоритета. Наиболее высокое качество работы СМО достигается при равенстве средних времен обработки заявок потоков всех приоритетов [Ребров, 2007].

Модель динамики загрузки

Основной составляющей модели динамики загрузки является информационный образ (ИО), представляющий из себя записанную в базу данных (БД) интегрированную и своевременно обновляемую информацию о воздушной обстановке от всех источников, включающую описания состояний всех воздушных и наземных объектов, метеорологическую, аэронавигационную, плановую и другую необходимую для управления информацию. Также ИО содержит статистические данные об изменении воздушной обстановки во времени с учетом дня недели, месяца и т. д. Информационным образом воздушной обстановки называется множество моделей, позволяющих сформировать полное описание воздушной обстановки с учетом избыточности информации. Воздушная обстановка зависит от месяца, времени, дня недели, погоды и других факторов. Зависимости между ними выражены в виде гистограмм.

ИО описывает ВС, наземные транспортные средства и другие объекты, а также группирует накопленную информацию таким образом, чтобы выявить

зависимости в динамике потоков ВС.

ИО позволяет создать эффективную наземную сеть передачи данных за счет быстрого доступа к записям БД о воздушной обстановке. ИО включает в себя гистограммы почасовой загрузки аэродромов, секторов и пунктов обязательного донесения, прогнозируемой метеорологической обстановки, представляя данные в удобном виде для передачи и интерпретации другими системами¹.

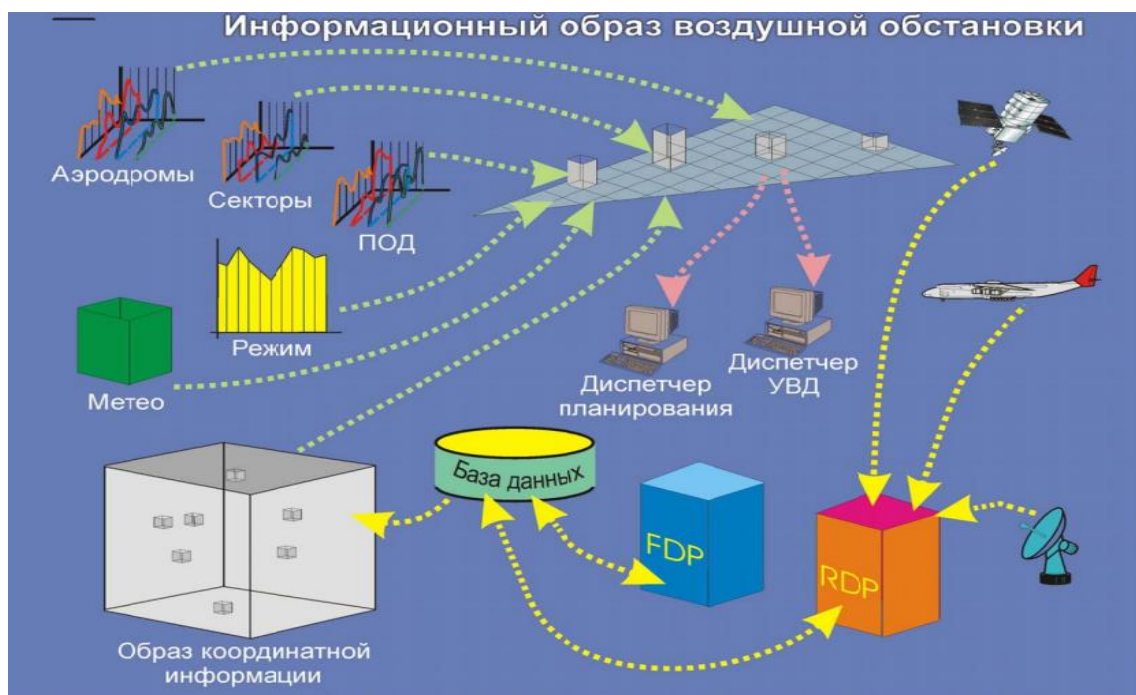


Рисунок 5 – Схема источников и потребителей данных, формирующих информационный образ воздушной обстановки¹

Информационный образ позволяет представить накопленные статистические данные в виде совокупности карт загруженности, частоты конфликтов и др. характеристик воздушного пространства, что облегчает интерпретацию информации человеком. Полную информацию о воздушном объекте также можно хранить, используя концепцию объекта полета [Brinley et al., 2020; William, 2022].

Экспертная модель

В [Ребров и др., 2007; Баушев и др., 2021] дана классификация экспертных систем, описаны архитектура и назначение входящих в них компонентов, представлены модели приобретения, представления и обработки знаний. Дана характеристика современных инструментальных средств создания экспертных систем.

Экспертная модель может состоять из последовательно-соединенных блоков маршрутов, загрузки и конфликтов, а также блока поддержки принятия решений при оптимизации плана полетов. Все три блока выполняют роли фильтров и сужают множество допустимых плановых траекторий, используя заданную систему правил и информационный образ воздушной обстановки.

Первый – выбирает траектории, проходящие по маршрутам с длиной пути не более максимально допустимой. Второй сужает множество допустимых плановых траекторий с учетом загрузки секторов воздушного пространства, третий – по данным о конфликтах траекторий. На основе информационного образа и базы знаний эксперт рекомендаций формирует диспетчеру рекомендации по планированию воздушного движения.

Поступающие на вход модели заявки на полеты ВС обрабатываются последовательно путем перераспределения загрузки с использованием информационного образа воздушной обстановки (рис. 6).

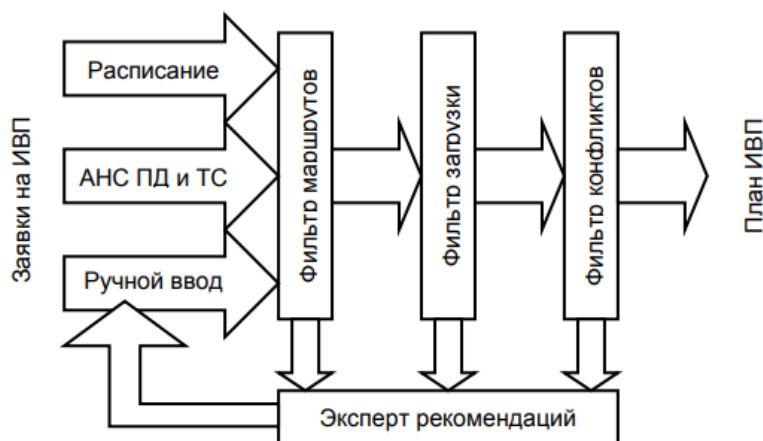


Рисунок 6 – Процесс обработки планов полетов¹

Модель развития воздушной обстановки

Модель развития воздушной обстановки описывает движение ВС по точным траекториям с учетом времени полета. Она направлена на создание единой общемировой системы организации воздушного движения и хранит информацию о настоящем, будущих и прошедших местоположениях ВС, что упрощает автоматизацию процессов организации воздушного движения. В соответствии с программой «Единое европейское небо» (SESAR) четырехмерная (согласованная/целевая) траектория является основной составляющей концепции перспективной системы ОрВД. Четырехмерная траектория формируется на этапе планирования полета и существует до его завершения. В течение всего времени существования четырехмерная траектория ВС может корректироваться пользователями воздушного пространства с учетом ограничений и других параметров воздушной обстановки.

В [Кулида и др., 2023] предложено представление дискретной четырехмерной траектории в виде последовательности четырехмерных координат $Tr_{4D} = (P_1, P_2, \dots, P_N)$, $P_i = (x_i, y_i, z_i, t_i)$. Здесь i – номер контрольной точки траектории, x_i – широта; y_i – долгота; z_i – высота; t_i – время. В [Chaimatanan et al., 2014] предложено при решении задачи стратегического планирования учитывать неопределенность положения ВС в горизонтальной плоскости в виде ограниченного пространства вдоль траектории с установленным радиусом. В [Chaimatanan et al., 2015] дополнительно

учитывается неопределенность по высоте полета и времени. Таким образом, неопределенность координат ВС описывается цилиндрической областью.

Конфликт траекторий возникает, если в некоторых точках $P = (x_P, y_P, z_P, t_P)$ и $Q = (x_Q, y_Q, z_Q, t_Q)$, на этих траекториях выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2} &< N_h^r \\ |z_P - z_Q| &< N_v^r \\ |t_P - t_Q| &< 2t_E \end{aligned} \quad , \quad (1)$$

здесь N_h^r и N_v^r – минимумы эшелонирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно; t_E – максимальная ошибка во времени.

Модель потенциалов

Еще одним из представлений транспортной системы является модель потенциалов, определяющая зависимость интенсивности потока ВС λ_{ij} от числа вылетов Q_i (взлетно-посадочных операций (ВПО)/час) в район i , посадок D_j ВПО/час в районе j («сток») и стоимости перелета между этими районами c_{ij} (руб.) [Советов и др., 2016].

$$\begin{aligned} \lambda_{ij} &= k \frac{Q_i D_j}{c_{ij}^2} \quad i = 1 \dots N, j = 1 \dots M \\ \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} &= D_j \\ \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} &= Q_i \end{aligned} \quad , \quad (2)$$

где k – коэффициент соответствия, $\frac{\text{руб}^2}{\text{ВПО} / \text{час}}$, N – количество зон отправлений, M – количество зон прибытий. Q_i и D_i – зависят от населения и товарооборота соответствующего региона, а также даты (упрощенно: месяца и дня недели) и времени.

Модель потенциалов удобно использовать для прогнозирования изменения воздушной обстановки и оценки области воздушного пространства, на которой целесообразно совершенствовать способы планирования воздушного движения.

В настоящее время в областях воздушного пространства между Q_i и D_i сохранить заданный уровень безопасности полетов возможно, только формируя траектории, приводящие к повышенному расходу топлива. Данную модель удобно применять для определения маршрутов полетов, снижающих интенсивности движения ВС в перегруженных секторах.

Энтропийная модель

Энтропийные модели [Wilson, 1967; Wilson., 1969] основаны на

принципе максимума взвешенной энтропии [Belis et al., 1968] дескриптивной системы и исходят из вероятностного описания поведения ВС в авиационной транспортной сети. Энтропийная модель, как и модель потенциалов, разработана на основе физических процессов [Советов и др., 2016] и позволяет учитывать случайные факторы, влияющие на сценарий изменения воздушной обстановки.

Функция распределения вероятности α_{ij} является экспоненциальной:

$$\alpha_{ij} = e^{-\gamma c_{ij}}, \forall i = 1, \dots, N, \forall j = 1, \dots, M, \quad (3)$$

где γ – параметр расселения; c_{ij} – средние затраты на передвижение.

Плановые траектории ВС задаются с использованием (3). Равновесие системы ОрВД находится за счет максимизации энтропии.

Другие модели представления воздушной обстановки

В [Чеха, 2004] предложена модель суточного планирования полетов и её практическая реализация, учитывающая отклонения реальных траекторий от плановых. В [Печенежский, 2023] указано, что основными проблемами планирования полетов являются низкая координация взаимодействия, дублирование функций и сложность информационного обмена между участвующими сторонами:

1) прогнозирование воздушных потоков усложняется отклонением реальных траекторий ВС от плановых;

2) обоснована низкая эффективность деконфликтизации траекторий на этапе предтактического планирования из-за большого количества отменяемых планов полетов;

3) на примере аэропорта Домодедово показана низкая дисциплина выдерживания временных слотов.

В [Голицова и др., 2021] обоснована необходимость применения гидродинамической модели атмосферы для оперативного предоставления метеорологической информации в радиусе аэродромной зоны. Данная модель является реализацией численного решения системы уравнений гидротермодинамики, описывающих изменение состояния атмосферы во времени и пространстве по заданному начальному состоянию и внешним воздействиям, характеризующим влияние внешней среды на процессы в атмосфере.

Оценка необходимости совершенствования существующих моделей

В настоящее время известны следующие модели воздушной обстановки: сетевые, вероятностные, динамики загрузки, экспертные, развития воздушной обстановки, потенциалов, энтропийные. Данные модели удобно использовать для решения задач прогнозирования интенсивности воздушного движения, вычисления кратчайших маршрутов, формирования порядка вылетов и прилетов ВС. Использование существующих моделей воздушного движения при высокоинтенсивном воздушном движении приводит к существенному повышению среднего расхода топлива. В связи с чем необходимо их

совершенствовать с целью минимизации расхода топлива при высокоинтенсивном воздушном движении, при сохранении существующего уровня безопасности полетов.

Results (Результаты)

Исходя из проведенного анализа, укрупненно можно выделить следующие модели воздушного движения (таб. 1).

Таблица 1 – Основные модели воздушного движения

Тип модели	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Сетевая	На планарный гиперграф $G(v_i, r_{ij})$, отображаются существующие воздушные трассы (вершины v_i – навигационные пункты, точки пересечения трасс, аэродромы, ребра r_{ij} – участки трасс). Ребра r_{ij} взвешены показателями пропускной способности, длины, расхода топлива ВС, либо другими характеристиками.	Наглядно описываются ключевые характеристики участков r_{ij} воздушных трасс, необходимые для планирования маршрута движения ВС. В том числе: загруженность, экономичность, длина, опасность движения (например, из-за плохих метеорологических условий).	Не содержит данных о координатах, параметрах движения и плановых траекториях ВС. Используется только для планирования траекторий.
Вероятностная	Представляет заявки на вылет/посадку $\eta_i=(\Xi, Tr)$ в виде пуассоновских потоков с интенсивностями λ_j , накапливаемых в буфере с N раздельными секциями $A=\{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{end}\}$ для хранения и обрабатываемых с различной скоростью в M каналах. Здесь Ξ – вектор характеристик ВС, включающий приоритет ВС Pr и уникальный идентификатор ВС id ; Tr включает времена вылета $t_{выл}$, посадки $t_{пос}$. Заявки обслуживаются с учетом заявленного времени вылета/посадки t_i и приоритета Pr одним из следующих способов: заявки сначала сортируются по приоритету Pr , после чего заявки одного приоритета обрабатываются по заявленному	Позволяет минимизировать среднее время обслуживания ВС $t_{обс}$ за счет оптимизации порядка ВС в очередях на вылет/посадку.	Не полностью учитывает стандартные маршруты вылета/прилета по приборам и метеорологическую информацию, что позволило бы дополнительно уменьшить среднее время обслуживания ВС $t_{обс}$.

Тип модели	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
	<p>времени; заявки сортируются по времени, в случае, если разница времен двух одинаковых операций (вылет/прилет) из заявок меньше заданного порога – обрабатываются в порядке приоритета; устанавливается определенная последовательность обработки заявок из буфера, зависящая от секторов, в которых они находились, например, ЧЗС1/ЧЗС2/ЧЗС3 (ЧЗС№ – число обрабатываемых заявок из сектора №).</p>		
Динамики загрузки	<p>Содержит информационный образ воздушной обстановки, состоящий из гистограмм почасовой загрузки аэродромов $\lambda_{\text{аэр}}(t)$, секторов $\lambda_{\text{сек}}(t)$ и пунктов обязательного донесения $\lambda_{\text{под}}(t)$, прогнозируемой метеорологической обстановки $V(t, x, y, h)$, где $V=(B, \alpha, T, P, D)$, где t – время, x, y, h – координаты, B – скорость ветра, α – направление ветра, T – температура, P – давление, D – характеристика осадков. Данный информационный образ позволяет спрогнозировать динамику потенциала способности обслуживания воздушного движения.</p>	<p>Позволяет планировать воздушное движение с учетом прогнозируемой динамики воздушной обстановки, а также быстрее обеспечивать потребителей информации о воздушной обстановке за счет отсутствия необходимости самостоятельно запрашивать и сводить данные от разных систем.</p>	<p>Не учитывает расположение воздушных трасс, из-за чего необходимо дополнительно получать аэронавигационные данные от других систем. Что снижает скорость обновления информации и может привести к нарушению целостности данных.</p>
Экспертная	<p>Состоит из трех последовательно соединенных блоков Б1, Б2, Б3, выполняющих собственные функции. Каждый блок содержит базу знаний $BЗ=\{Pr_i, \text{ при } i = 1, \dots, N_{Pr}\}$, содержащую введенные правила формирования Pr_i маршрутов/плановых траекторий/рекомендаций диспетчеру, и связан с информационным образом воздушной обстановки $ИО$. Первый блок предназначен для формирования маршрута ВС по аэронавигационной информации и заданным точкам вылета и прилета $Tr_p=B1(АНИ, p_0, p_{\text{end}})$.</p>	<p>Позволяет перерассчитать плановые траектории ВС таким образом, чтобы сгладить загрузку секторов воздушного пространства и уменьшить число авиационных конфликтов.</p>	<p>Не учитывает приоритеты ВС и времена их обслуживания, из-за чего уменьшается безопасность и стоимость полетов.</p>

Тип модели	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
	<p>Второй блок предназначен для вычисления плановых траекторий $Tr_{p,t}$ с учетом маршрута и данных о загрузке воздушного пространства $ЗВП = \{\lambda_i, \text{ при } i=1, \dots, N\}$ $Tr_{p,t} = Б2(Tr_p)$. Третий блок предназначен для деконфликтизации плановых траекторий $Tr_{p,t} = Б3(Tr_{p,t})$.</p>		
<p>Развития воздушной обстановки</p>	<p>Содержит информацию о текущем, предыдущих и прогнозируемых будущих состояниях воздушного пространства $S_{ВП}$ и метеорологической обстановке V $M = \{S_{ВП}(t), V(t, x, y, h)\}$. Представляет собой совокупность реализованных и плановых траекторий ВС $S_{ВП} = \{Tr_i, \text{ где } i=1, \dots, N\}$. Каждой траектории могут быть сопоставлены альтернативные сценарии изменения траекторий Tr_{ij}^* с сопоставленной вероятностью p_{ij} движения по этой траектории (Tr_{ij}^*, p_{ij}), движение по которым может быть реализовано в случае непредвиденных изменений воздушной обстановки.</p>	<p>Позволяет прогнозировать различные сценарии изменения состояния воздушной $S_{ВП}(t)$ и метеорологической $V(t, x, y, h)$ обстановки, что упрощает выработку диспетчерских рекомендаций и расчет плановых траекторий ВС Tr_i. Позволяет снизить вероятность возникновения опасных сближений ВС при внеплановых изменениях воздушной обстановки.</p>	<p>Не содержит статистической информации о динамике воздушной обстановки с привязкой ко времени, дате и т.п., выраженной, например, в виде гистограмм почасовой загрузки аэродромов $\lambda_{аэр}(t)$, секторов $\lambda_{сек}(t)$ и пунктов обязательного донесения $\lambda_{под}(t)$, что увеличивает число потенциальных опасных сближений ВС.</p>
<p>Потенциалов</p>	<p>Представляет интенсивность λ_{ij} транспортных потоков между двумя регионами i и j как величину, пропорциональную произведению числа отправок Q_i на число прибытий D_j, и обратно пропорциональную квадрату затрат c_{ij} на перемещение между данными регионами.</p>	<p>Позволяет минимизировать вероятность возникновения непредсказуемых скачков интенсивностей потоков ВС между аэродромами, за счет чего уменьшается вероятность возникновения авиационных происшествий $p_{АП}$.</p>	<p>Не позволяет достигнуть высокой точности прогноза интенсивностей транспортных потоков ВС.</p>

Тип модели	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Энтропийная	Вводится экспоненциальная функция распределения вероятности α_{ij} на перемещение между аэродромами i и j , зависящая от средних затрат на перемещение c_{ij} между ними, а также от параметра распределения, связанного с прогнозируемым числом перевозимых пассажиров и грузов между i и j . Используется гипотеза о независимом движении ВС при достижении равновесного состояния системы.	Позволяет прогнозировать интенсивности потоков ВС между аэродромами, при отсутствии информации о случайных факторах, от которых они зависят.	

Из выделенных моделей синтезирована стохастическая открытая сетевая модель транспортной системы, представленная ориентированным графом $G_{ВП}(V_{КТ}, E_M)$, вершинами которого $V_{КТ}=(x_{КТ}, y_{КТ})$ являются аэродромы и контрольные точки, являющиеся пересечениями маршрутов. Ребрам графа $E_M=(V_{КТi}, V_{КТj})$ сопоставлено множество допустимых коридоров движения ВО, определяемых в виде $d((x_{ВО}-x_o), (y_{ВО}-y_o), (h_{ВО}-h_o)) \leq d_{max}$, где (x_o, y_o, h_o) – ближайшая точка на участке маршрута, проходящего между вершинами $V_{КТi}$ и $V_{КТj}$; $d_{min}(c_1, c_2)$ – минимально допустимый показатель безопасности, вычисляемый по наименьшим нормам эшелонирования $\min(\langle m_{Г1}, m_{В1} \rangle(x_1, y_1, h_1), \langle m_{Г2}, m_{В2} \rangle(x_2, y_2, h_2))$, зависящим от координат точек и отличающимся в различных областях пространства, где $c_i = (x_i, y_i, h_i, t_i)$ – 4D-точка.

На графе $G_{ВП}$ задан набор маршрутов $S_M=(V_{КТN1}, \dots, V_{КТNend})$ и набор ВО определенного типа, перемещающихся по ним с установленной вероятностью $P_{S_{Mi}}(T_{ВО})$. Каждая вершина графа, соответствующая аэродрому, является отдельной моделью A_i . Но на более высоком уровне абстракции представляется конечной точкой заданного набора путей, способной поглощать и создавать смешанный пуассоновский поток ВО различных типов, максимально-допустимые значения интенсивностей которых взаимозависимы. Взаимные зависимости максимально допустимых значений интенсивностей потоков ВО различных типов описываются многомерной поверхностью $\lambda_{max} = F(\lambda_{maxТВО1}, \dots, \lambda_{maxТВОN})$. Вершины графа, соответствующие пересечениям маршрутов, представляются в виде векторов, элементы которых способны пропускать потоки ВО заданной интенсивности на эшелонах, сопоставленных их порядковым номерам $V_{КТi}=[V_{КТi1}, \dots, V_{КТiend}]$.

Отличия предложенной модели представления транспортной системы от известной заключаются в том, что:

1. Вершины графа, соответствующие пересечениям маршрутов, пропускают потоки ВО с учетом эшелонов движения, в связи с чем представляются в виде векторов;

2. Вершины графа, соответствующие аэродромам, пропускают потоки ВО с учетом их типов, учитывая зависимости между максимально-допустимыми интенсивностями потоков определенных типов ВО, математически описываемыми в виде многомерной поверхности;

3. Не учитываются ограничения на минимально-допустимые расстояния между ВО, поскольку с целью минимизации вычислительной сложности алгоритма, на первом этапе проводится грубое перераспределение потоков ВО, а оптимизация 4D-траекторий на втором.

Каждому ВО в зависимости от его типа и маршрута движения однозначно сопоставляется известный профиль траектории, обеспечивающий движение с минимальным расходом топлива, за счет выбора наиболее выгодных параметров движения для каждого этапа полета. По случайным временам начала движения ВО, имеющим Пуассоновское распределение, и профилям траекторий имитируются начальные плановые 4D-траектории ВО (поток заявок).

Модель воздушной обстановки $M = \{G_{ВП}(V_{КТ}, E_M), S_{аэр}, S_M, S_{тр}, S_x, \langle V, \gamma \rangle(x, y, t), S_{инн}, S_{огр}\}$, где $S_{аэр} = \{A_i\}$ – множество аэродромов; S_M – множество маршрутов (воздушных трасс); $S_{тр} = \{Tr_{TBC_i}\}$ – множество 4D-траекторий с привязкой к типу ВС; $S_x = \{(X_i, D_i(X_i))\}$ – множество наблюдаемых параметров движения ВО X_i (информация наблюдения) и сопоставленную им достоверность наблюдаемых параметров движения ВО $D_i(X_i)$; $\langle V, \gamma \rangle(x, y, t)$ – сила и направление ветра, в зависимости от координат; $S_{инн} = \{H_i\}$ – множество характеристик источников информации наблюдения, где H_i – множество характеристик i -го источника: координаты, диаграмма направленности, точность получаемой информации и вероятность получения недостоверной информации [Криворучко и др., 2023].

$A_i = \{S_{ВПП}, G_{РД}, S_{SID}, S_{STAR}, S_{ТС}\}$ – i -й аэропорт, где $S_{ВПП}$ – множество характеристик ВПП, $G_{РД}$ – граф, характеризующий структуру расположения ВПП, РД, мест стоянок и мест проведения ключевых операций подготовки ВО к вылету и сопоставленные каждому элементу графа области и пространства допустимых состояний объектов заданных типов $T_{об}$, при нахождении в данной области, S_{SID} – множество SIDов, S_{STAR} – множество STARов, $S_{ТС}$ – множество транспортных средств на аэродроме.

Данная модель включает следующие ограничения:

$S_{огр} = \{E_{огр}(x, y, h)\}$ – множество зон ограничений воздушного пространства, через которые не могут проходить 4D-траектории.

Каждой 4D-траектории сопоставлен тип ВО $T_{ВО} = \{v_r(h), h(v_r), h, v_h, Q(v_r, h)\}$, имеющий следующие характеристики $v_r(h)$ – максимально-допустимая горизонтальная скорость, зависящая от высоты, $h(v_r)$ – максимально-допустимая высота, зависящая от горизонтальной скорости, h, v_h – максимально допустимая вертикальная скорость, $Q(v_r, h)$ – расход топлива, зависящий от горизонтальной скорости и высоты. Данные характеристики накладывают ограничения на профиль траектории.



Рисунок 7 – Схема стохастической открытой сетевой модели воздушной обстановки

После построения модели системы необходимо обосновать показатели качества системы и критерии их оценки. Краткий перечень существующих показателей и критериев качества обеспечения воздушного движения приведен в документах ИКАО.

Conclusion (Заключение)

Настоящая статья является первой частью обзора существующих систем планирования использования воздушного пространства. В ней проведен обзор существующих моделей воздушного движения: сетевых, вероятностных, динамики загрузки, экспертных, развития воздушной обстановки, потенциалов, энтропийных. Выявлены преимущества и недостатки данных моделей, а также предложена их классификация, исходя из физического смысла и полноты группы. Цель исследования достигнута. Следующим шагом является обзор существующих методов и алгоритмов планирования использования воздушного пространства и формализация задачи повышения качества планирования воздушного движения.

Библиографический список

- Баушев С. В.* О разработке экспертных систем как инструмента поддержки принятия решения руководителем / С. В. Баушев, Т. Л. Ткаченко // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. № 7(15). С. 24-52. EDN FHEIPW.
- Бочаров П. П.* Теория вероятностей. Математическая статистика / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. Moscow, 2005. 296 с. EDN MVAAZL.
- Голивецова Н. С.* Обоснование необходимости грамотного учёта метеоинформации при планировании и выполнении полётов воздушных судов / Н. С. Голивецова, В. Д. Будзинский // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11-2(113). С. 21-25. DOI 10.23670/IRJ.2021.113.11.039. EDN IOMEBA.
- Криворучко Ю. Т.* Перспективные направления развития радиотехнических систем ближней навигации / Ю. Т. Криворучко, В. М. Король, А. Ю. Княжский, Ю. Г. Шатраков // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2023. №13(21). С. 17-26.
- 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.
- Печенежский В. К.* Особенности организации планирования использования воздушного пространства в РФ на примере Московской воздушной зоны / В. К. Печенежский, Е. К. Чувицкая // 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.
- Ребров В. А.* Модель сбора и обработки заявок на полеты в задаче планирования авиарейсов / В. А. Ребров, Л. Е. Рудельсон, М. А. Черникова // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2007. № 3. С. 97-111. EDN IACVDP.
- Советов Б. Я.* Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы / Б. Я. Советов, А. В. Сикерин // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2016. № 8. С. 21-25. EDN WZQKOH.
- Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации». 2011. 121 с.
- Чеха В. А.* Имитационная модель суточного планирования воздушного движения // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2004. № 5. С. 100-104. EDN OTURRH.
- AhmadBeygi S.* An integer programming approach to generating airline crew pairings / S. AhmadBeygi, A. Cohn, M. Weir // Computers & Operations Research. 2009. № 4(36). P. 1284-1298.
- Airline crew scheduling / C. Barnhart, A. M. Cohn, E. L. Johnson, D. Klabjan, G. L. Nemhauser, P. H. Vance // Handbook of Transportation Science. Boston, MA: Springer. 2003. P. 517–560.
- Antunes D.* A robust pairing model for airline crew scheduling / D. Antunes, V. Vaze, A. P. Antunes // Transportation Science. 2019. № 6(53). P. 1751–1771.
- Barnhart C.* Airline schedule planning: Accomplishments and opportunities / C. Barnhart, A. Cohn // Manufacturing & Service Operations Management. 2004. № 6(1). P. 3–22.
- Barnhart C.* An approximate model and solution approach for the long-haul crew pairing problem / C. Barnhart, R. G. Shenoi // Transportation Science. 1998. № 32(3). P. 221–231.
- Belis M.* A quantitative-qualitative measure of information in cybernetic systems / M. Belis, S. Guiasu // IEEE Transactions on Information Theory. 1968. № 14. P. 593–594.
- Brinley D.* Rule-Based Data Quality Management of Flight Information / D. Brinley and Sh. Krishna // LS Technologies. 2020.
- Chaimatanan S.* Aircraft 4D Trajectories Planning under Uncertainties / S. Chaimatanan, D. Delahaye, M. A. Mongeau // Proceedings of 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2015). 2015. P. 51–58.

Chaimatanan S. Hybrid Metaheuristic Optimization Algorithm for Strategic Planning of 4D Aircraft Trajectories at the Continental Scale / S. Chaimatanan, D. Delahaye, M. A. Mongeau // *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2014. № 4(9). P. 46–61.

Daskin M. S. An Llagrangian relaxation approach to assigning aircraft to routes in hub and spoke networks / M. S. Daskin, N. D. Panayotopoulos // *Transportation Science*. 1989. № 23(2). P. 91–99.

Flight string models for aircraft fleetling and routing / C. Barnhart, N. L. Boland, L. W. Clarke, E. L. Johnson, G. L. Nemhauser, R. G. Shenoï // *Transportation Science*. 1998. № 3(32). P. 208–220.

William D. Flight Object Management Capability: Foundation for Flight Information Management Strategy // 2022 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1-7. DOI 10.1109/ICNS54818.2022.9771490

Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models // *Transportation Re-search*. 1967. № 1. P. 253–270.

Wilson A. G. Entropy maximizing models in the theory of trip distributions, mode split and route split // *J. of Transportation and Economic Policy*. 1969. № 3. P. 108–126.

Zhe Liang. Airline planning and scheduling: Models and solution methodologies / Liang Zhe, Chou Chun-An, Chaovalitwongse Wanpracha // *Frontiers of Engineering Management*. 2020. № 7(4). P. 1-26.

References

Ahmad-Beygi S., Cohn A, Weir M. (2009). An integer programming approach to generating airline crew pairings. *Computers & Operations Research*. 4(36): 1284-1298.

Antunes D., Vaze V., Antunes A.P. (2019). A robust pairing model for airline crew scheduling. *Transportation Science*. 6(53): 1751–1771.

Barnhart C., Boland N. L., Clarke L. W., Johnson E. L., Nemhauser G. L., Shenoï R. G. (1998). Flight string models for aircraft fleetling and routing. *Transportation Science*. 3(32):208–220.

Barnhart C., Cohn A. (2004). Airline schedule planning: Accomplishments and opportunities. *Manufacturing & Service Operations Management*. 6(1): 3–22.

Barnhart C., Cohn A. M., Johnson E. L., Klabjan D., Nemhauser G. L., Vance P. H. (2003). Airline crew scheduling. *Handbook of Transportation Science*. 517–560.

Barnhart C., Shenoï R. G. (1998). An approximate model and solution approach for the long-haul crew pairing problem. *Transportation Science*. 32(3): 221–231.

Baushev S. V., Tkachenko T. L. (2021). On the development of expert systems as a tool to support decision-making by the manager. *Radio navigation and time: works of the North-West Regional Center of the Almaz-Antey Air and Space Defense Concern*. 7 (15): 24-52. (In Russian)

Belis M., Guiasu S. (1968). A quantitative-qualitative measure of information in cybernetic systems. *IEEE Transactions on Information Theory*. (14): 593–594.

Bocharov P. P., Pechinkin A. V. (2005). Probability Theory. Mathematical Statistics. Moscow, 2005. 296 p. EDN MVAAZL. (In Russian)

Brinley D., Sh. Krishna. (2020). Rule-Based Data Quality Management of Flight Information. *LS Technologies*. 2020.

Chaimatanan S., Delahaye D., Mongeau M. A. (2014). Hybrid Metaheuristic Optimization Algorithm for Strategic Planning of 4D Aircraft Trajectories at the Continental Scale. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 4(9): 46–61.

Chaimatanan S., Delahaye D., Mongeau M. A. (2015). Aircraft 4D Trajectories Planning under Uncertainties. *Proceedings of 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2015)*: 51–58.

Chekha V. A. (2004). Simulation model of daily air traffic planning. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems*. (5): 100-104. (In Russian)

Daskin M. S., Panayotopoulos N. D. (1989). An Llagrangian relaxation approach to assigning aircraft to routes in hub and spoke networks. *Transportation Science*. 23(2): 91–99

- Federal aviation regulations "Air traffic management in the Russian Federation". 2011. 121 p. (In Russian)
- Golvtsova N. S., Budzinsky V. D. (2021). Justification of the Need for Competent Accounting of Meteorological Information When Planning and Performing Aircraft Flights. *International Research Journal*. 11-2 (113): 21-25. (In Russian)
- Krivoruchko Yu.T., Korol V.M., Knyazhsky A.Yu., Shatrakov Yu.G. (2023). Promising directions of development of short-range radio engineering systems of navigation. *Radio navigation and time: works of the North-West Regional Center of the Almaz-Antey Air and Space Defense Concern*. 13 (21): 17-26. (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)
- Pechenezhsky, V. K., Chuvikovskaya E. K. (2023). Features of the organization of airspace use 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)
- Rebrov, V. A., Rudelson L. E., Chernikova M. A. (2007). Model of Collection and Processing of Flight Requests in the Problem of Flight Planning. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Control Theory and Systems*. (3): 97-111. (In Russian)
- Sovetov B. Ya., Sikerin A. V. (2016). Gravitational and entropy models of flows in territorial planning of transport system development. *Bulletin of ETU LETI*. (8): 21-25. (In Russian)
- William D. (2022). Flight Object Management Capability: Foundation for Flight Information Management Strategy / 2022 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 1-7.
- Wilson A. G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*. 1: 253–270.
- Wilson A. G. (1969). Entropy maximizing models in the theory of trip distributions, mode split and route split. *J. of Transportation and Economic Policy*. 3: 108–126.
- Zhe Liang, Chou Chun-An, Chaovalitwongse Wanpracha. (2020). Airline planning and scheduling: Models and solution methodologies. *Frontiers of Engineering Management*. 7(4): 1-26.

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

УДК 629.7

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_105

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ*

*Олег Николаевич Скрыпник,
orcid.org/0000-0002-2006-0428,
доктор технических наук, профессор
Белорусская государственная академия авиации,
ул. Уборевича, 77
Минск, 220096, Республика Беларусь
skripnikon@yandex.ru*

*Александр Александрович Козич,
orcid.org/0009-0007-4880-1607,
Государственное предприятие «Белазронавигация»,
ул. Короткевича, 19
Минск, 220065, Республика Беларусь
aliaksanderkozich@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы использования существующих сетей сотовой связи для создания интегрированной системы связи, навигации и наблюдения (iCNS). Основное внимание уделено проблеме применения iCNS для решения задачи навигации. Рассмотрены классические методы решения задачи позиционирования беспилотных воздушных судов, для которых приведены выражения, позволяющие оценить точность позиционирования. Рассмотрены также методы, присущие только сетям сотовой связи, их основные особенности. Представлены методика проведения натурных экспериментов по оценке точности позиционирования абонентского терминала и результаты, полученные для города районного значения, проведено их сравнение с результатами эксперимента в условиях крупного города. Определены перспективы применения существующих сетей сотовой связи для решения задач CNS.

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, беспилотное воздушное судно, технология iCNS, методы позиционирования, точность позиционирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Т23-029).

ASSESSMENT OF THE MOBILE POSITIONING ACCURACY IN CELLULAR NETWORKS

*Oleg N. Skrypnik,
orcid.org/0000-0002-2006-0428,
Doctor of Technical Sciences, Full professor
Belarusian State Academy of Aviation,
77, Uborevich str.
Minsk, 220096, Republic of Belarus
skripnikon@yandex.ru*

*Alexander A. Kozich,
orcid.org/0009-0007-4880-1607,
the state enterprise «Belaeronavigatsia»,
19, Korotkevich str.
Minsk, 220065, Republic of Belarus
aliaksanderkozich@gmail.com*

Abstract. The paper considers the prospects of using existing cellular communication networks to create an integrated communication, navigation and surveillance system (iCNS). The main attention is paid to the problem of using iCNS to solve a navigation problem. Classical methods for solving the problem of positioning unmanned aircraft are considered, for which expressions are given that allow estimating the accuracy of positioning. The methods unique to cellular communication networks and their main features are also considered. A methodology for conducting field experiments to assess the accuracy of positioning of a subscriber terminal is presented, and the results obtained for a city of regional subordination are compared to the results of an experiment in a large city. The prospects of using existing cellular communication networks to solve CNS problems have been determined.

Keywords: cellular communication, base station, unmanned aircraft, iCNS technology, positioning methods, positioning accuracy.

Введение

Современная авиационная транспортная система характеризуется высокими темпами развития беспилотной авиации. Это обусловлено тем, что данный вид транспортно-логистического обслуживания предоставляет государствам и различным категориям пользователей уникальные возможности – от доставки жизненно важных материалов, мониторинга объектов природы и до поддержки борьбы со стихийными бедствиями, инспектирования инфраструктуры и пр., включая и такое инновационное направление, как городская аэромобильность.

Быстрое развитие рынков применения, парка и технологий, связанных с беспилотной авиацией, создает специфические и серьезные проблемы для обеспечения безопасных операций беспилотной и пилотируемой авиации в едином (интегрированном) воздушном пространстве (ВП).

Одним из путей решения проблемы интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в общее ВП является создание эффективной системы организации и управления низковысотным воздушным движением – UTM (Unmanned Traffic Management). Такая система должна обеспечить требуемый уровень безопасности полетов БВС за счет автоматизации и цифровизации

информационных и технологических процессов. Система UTM принципиально отличается от системы организации воздушного движения пилотируемых ВС, но дополняет ее и взаимодействует с ней. Основные отличия состоят в предоставлении системой UTM новых сервисов и услуг, необходимых для эксплуатантов беспилотных авиационных систем (БАС).

БАС и UTM должны развиваться в соответствии с концепцией PBN (Performance Based Navigation) ИКАО, что определяет требования к бортовым датчикам БВС, каналам связи борт-земля и земля-борт и содержанию передаваемой по ним информации. Определено, что развитие сервисов UTM и ее интеграция в общее ВП будут осуществляться на основе технологий CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management).

Применительно к системе UTM технологии CNS предполагают обеспечение решения задач связи (линия контроля и управления БВС С2, линия связи С3, обмен данными для обеспечения ситуационной осведомленности пользователей ВП, полетно-информационное обслуживание), навигации (определение параметров движения БВС, выдерживание траекторий) и наблюдения (кооперативное и некооперативное наблюдение для контроля трафика системой UTM) при выполнении маловысотных операций БВС. При этом решение указанных задач, как правило, обеспечивается отдельными функциональными модулями, размещение которых на малых БВС с массой до 30 кг является в ряде случаев проблематичным, так как значительно снижает массу полезной нагрузки.

По экспертным оценкам более 60% операций БВС реализуются в полетах BVLOS и RLOS (за пределами дальности визуальной и радиовидимости). Для безопасного выполнения таких операций БАС в интегрированном ВП необходима соответствующая инфраструктура средств управления воздушным движением. При этом следует ожидать, что значительная часть полетов БВС открытой (в основном физические лица) и специальной (в основном организации, оказывающие услуги по доставке грузов, мониторингу объектов и т.д.) категорий будет проходить в зонах устойчивого действия мобильных сетей связи. Сети сотовой связи могут обеспечить передачу данных, идентификацию и наблюдение за БВС, управление трафиком в выделенном для полетов БВС открытой и специальной категорий слое ВП (VLL) на высотах до 150 м, особенно в районах с плотной застройкой. Поэтому исследование возможностей использования сетей сотовой связи для выполнения функций CNS является актуальной научной и практической задачей.

Материалы и методы

Технологии CNS постоянно совершенствуются, прежде всего в интересах пилотируемой авиации, обеспечивая повышение эффективности использования ВП и требуемый уровень безопасности полетов. Одним из перспективных направлений развития является разработка интегрированной iCNS, в которой традиционные для пилотируемой авиации технические средства и методы связи, навигации и наблюдения дополняются

возможностями решения этих же задач на основе современных сетей сотовой связи 4G/5G (рис. 1) [FACT, 2022; Fischer, 2021].

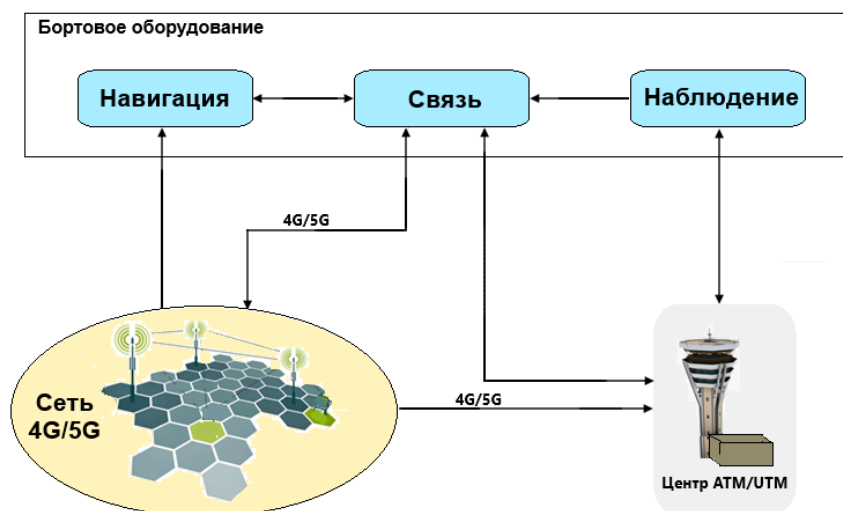


Рисунок 1 – Архитектура iCNS

Так, через сеть сотовой связи можно осуществлять обмен данными между БВС и операторами (внешними пилотами), реализуя функцию линии связи С2 при выполнении полетов RLOS, организовывать связь с центрами управления воздушным движением по линии С3. На основе широкополосной передачи данных о параметрах траекторного движения БВС можно реализовать функцию наблюдения в центрах УТМ. Существует и потенциальная возможность позиционирования БВС, используя уже применяемые операторами сотовой связи методы. При этом важна оценка не только возможности, но и точности такого позиционирования, что позволит конкретизировать области его использования применительно к поддержке операций БАС и УТМ.

Методологической основой решения задачи позиционирования объектов в сетях сотовой связи является тот факт, что базовые станции (БС) по существу являются навигационными опорными точками (НОТ), поскольку их координаты известны с геодезической точностью. Поэтому, принимая сигналы от НОТ и измеряя их параметры (мощность сигнала, время распространения по радиолинии БС-абонентский терминал (АТ), разность моментов приема сигналов от пары БС на борту БВС, или наоборот, разность моментов приема сигнала АТ сетью БС), связанные с навигационными параметрами (дальность, направление распространения, разность расстояний до БС), можно решить задачу позиционирования БВС. При этом для целей навигации задача должна решаться на борту БВС, а для целей наблюдения – на наземном сегменте (на БС, сетевом сервере центра коммутации оператора сотовой связи, в центре УТМ) как методами, известными в теории радионавигации – дальномерным, угломерным, угломерно-дальномерным, разностно-дальномерным, многопозиционным, корреляционно-

экстремальным)⁹, так и методами, разработанными специально для позиционирования АТ в сетях сотовой связи. Эти методы основаны на использовании особенностей построения сетей сотовой связи, структуры сигналов сотовой связи и особенности их распространения. При этом по мере развития технологий сотовой связи совершенствовались и методы позиционирования абонентов в них. Так, в работах [Фокин, 2020а; Фокин, 2020б] рассмотрены такие методы, как близость, анализ сцен, гибридный, интегрированный и др. и приведены результаты экспериментов по оценке точности позиционирования. В работах [Ayad, 2010; Hybrid..., 2010; Mobile Phone..., 2009; Singh et al., 2014; Thorpe et al., 2013] рассмотрены комбинированные методы, методы на основе мультilaterации, а также приведены оценки точности позиционирования, полученные расчетными методами и путем моделирования. В работе [Dardari et al., 2015] приведены методы позиционирования внутри помещений с использованием сетей сотовой связи, GPS, а также теоретически рассчитанные точности позиционирования этими методами.

В работах [Скрыпник и др., 2024; Sand et al., 2014] проведен анализ методов позиционирования АТ, применяемых в сетях сотовой связи, которые можно разделить на две группы: методы позиционирования при работе по одной БС и методы позиционирования по сети БС.

К первой группе относятся следующие методы:

- a1) идентификации соты;
- a2) идентификации соты с измерением направления прихода сигнала от БС;
- a3) идентификации соты с измерением задержки между известным моментом излучения и измеренным моментом приема сигнала от БС на БВС;
- a4) идентификации соты с измерением задержки сигнала при распространении по радиолинии БВС-БС-БВС;
- a5) идентификации соты с измерением мощности принимаемого на БВС сигнала;
- aб) определение направления прихода сигнала от БС и времени задержки между моментом излучения и приема сигнала от БС на борту БВС.

Метод a1) идентификации соты позволяет достаточно грубо, с точностью, соответствующей дальности до БС (размеру соты, а это могут быть сотни метров и более), определить местоположение БВС.

Методы a2)-aб) являются комбинированными, поскольку основаны на одновременном измерении на объекте позиционирования двух параметров.

Метод a2) по точности определения расстояния до БС аналогичен методу a1), но дополнительно позволяет определить направление на БС, что может использоваться при построении маршрута полета БВС, проходящего через БС (метод навигации ОТ или НА радиомаяк).

⁹ Скрыпник О. Н. Системы радионавигации и посадки: учебник для студентов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям радиотехнического профиля. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2025. 491 с.

Методы а3)-а5) относятся к дальномерным и, в отличие от метода а1), позволяют уменьшить зону неопределенности положения БВС, которая будет иметь форму окружности относительно БС, радиус которой определяется измеренным значением дальности до БС плюс погрешностью ее измерения.

Метод а6) является наиболее точным из рассмотренных методов позиционирования по одной БС, поскольку здесь измеряются направление и дальность R относительно БС. В теории авиационной навигации данный метод называется угломерно-дальномерным и реализован, например, в системе ближней навигации VOR/DME¹⁰. Погрешность (среднеквадратическая ошибка) определения местоположения БВС данным методом находится из выражения:

$$\sigma_r = \sqrt{R^2 \sigma_\theta^2 + \sigma_R^2}, \quad (1)$$

где σ_θ^2 – дисперсия погрешности измерения направления, σ_R^2 – дисперсия погрешности измерения дальности до БС.

К методам, основанным на работе с сетью БС, относятся следующие:

b1) измерения времени задержки сигнала при распространении по радиолинии БС-БВС;

b2) измерения разности моментов приема сигналов от пар БС;

b3) усовершенствованный метод измерения разности времени прихода сигнала Enhanced Observed Time Difference (E-OTD);

b4) определения направлений прихода сигнала от нескольких БС;

b5) измерения мощности принятых сигналов от нескольких БС;

b6) анализа сцен и сопоставления образов или сигнатурный метод.

Большинство из рассмотренных методов широко используются в авиационной радионавигации и системах наблюдения.

Так, метод b1), известный как дальномерный, используется в системе DME (дальномерный метод с ответчиком) и спутниковых системах навигации GNSS (псевдодальномерный метод). Для решения задачи позиционирования необходимо принимать сигналы минимум от двух БС.

Погрешность (среднеквадратическая ошибка) позиционирования данным методом определяется выражением:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{R1}^2 + \sigma_{R2}^2}}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

где $\sigma_{R1}^2, \sigma_{R2}^2$ – дисперсии погрешностей измерения дальности до БС1 и БС2; α – угол пересечения линий положения, которые представляют собой окружности, в центре которых находятся БС.

Методы b2), b3), известные как разностно-дальномерные (гиперболические), используются в системах дальней навигации eLoran, Loran-C. Обращенный разностно-дальномерный метод используется в многопозиционных системах наблюдения MLAT. Для реализации этих

¹⁰ Скрытник О. Н. Радионавигационные системы аэропортов и воздушных трасс: Учебник. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. 325 с.

методов необходимо измерить две разности расстояний, что предполагает наличие минимум трех БС.

Погрешность (среднеквадратическая ошибка) позиционирования данным методом определяется выражением:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{R12}^2 \sin^2 \frac{\Psi_{61}}{2} + \sigma_{R13}^2 \sin^2 \frac{\Psi_{62}}{2}}}{2 \sin \alpha \sin \frac{\Psi_{61}}{2} \sin \frac{\Psi_{62}}{2}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{R13}^2, \sigma_{R12}^2$ – дисперсии погрешностей измерения разности дальностей до БС1 и БС3, БС1 и БС2; α – угол пересечения линий положения, которые представляют собой гиперболы, в фокусах которых находятся БС; Ψ_{61}, Ψ_{62} – углы, образованные направлениями от БС к БВС (рис. 2).

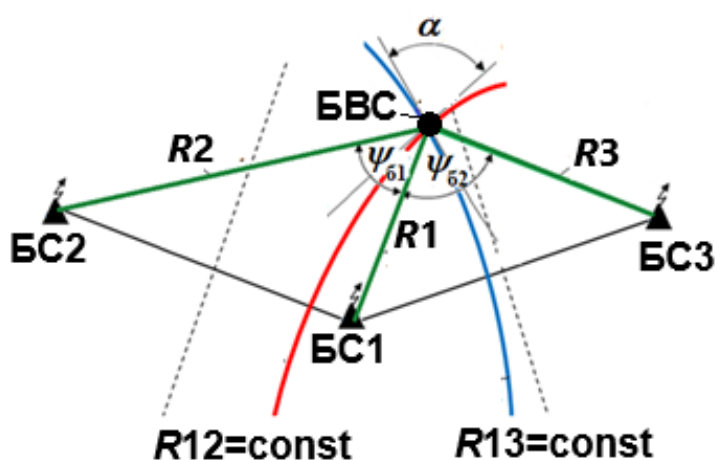


Рисунок 2 – Пояснение разностно-дальномерного метода

Метод b4), известный как угломерный, используется в системах VOR/VOR. Для реализации метода необходимо принимать сигналы минимум от двух БС.

Погрешность (среднеквадратическая ошибка) позиционирования данным методом определяется выражением:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{R1^2 \sigma_{\Theta1}^2 + R2^2 \sigma_{\Theta2}^2}}{\sin \alpha}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\Theta1}^2, \sigma_{\Theta2}^2$ – дисперсии погрешностей измерения направлений на БС1 и БС2; α – угол пересечения линий, указывающих направления на БС; $R1, R2$ – расстояния до БС (в угломерной системе не измеряются).

Из выражений (2)-(4) следует, что точность позиционирования методами b1)-b4) будет зависеть не только от точности измерения параметров (дальности, направления, разности дальностей), но и от положения БВС относительно БС (геометрического фактора), влияющего на значение угла α .

Метод b6) аналогичен корреляционно-экстремальному, который не нашел применения в гражданской авиации.

Также в авиации не используется метод b5), поскольку при распространении радиосигнала в реальных средах на большие расстояния его

уровень в точке приема будет зависеть не только от расстояния, но и от различных случайных факторов, оказывающих критическое влияние на точность измерения дальности. Однако на незначительных дальностях от БС влияние данных факторов проявляется гораздо в меньшей степени, что позволяет реализовать такой метод на практике с приемлемой точностью позиционирования.

Рассмотренные группы методов позиционирования (кроме b6)) предполагают выполнение условия прямой радиовидимости между БС и БВС. Это условие выполняется при полетах БВС над ровной земной поверхностью, что имеет место в малонаселенных районах с маловысотными объектами инфраструктуры.

При выполнении операций в мегаполисах, в условиях значительных неровностей рельефа местности существенное влияние на точность измерения параметров сигнала может оказывать эффект многолучевости. Из-за искажений фазового фронта результирующего сигнала в точке приема многолучевость может существенно снизить точность позиционирования БВС при полетах на малых высотах [Mobile Phone..., 2009].

Метод b6) не критичен к эффекту многолучевости, но требует значительных затрат на получение образов сигнала в районе решения задачи позиционирования, при этом точность позиционирования будет определяться расстоянием между точками фиксации сигнатур.

Существенной проблемой при использовании методов b1)-b3) является необходимость синхронизации шкал времени либо БС, либо БС и АТ, что требует привлечения дополнительного оборудования и усложнения алгоритмов взаимодействия АТ и БС.

К проблемам использования метода b5) следует отнести необходимость контроля и поддержания постоянства уровня сигнала, излучаемого БС, который может быть критичен к состоянию радиолинии, стабильности диаграмм направленности антенн, параметров передатчика.

Общей же проблемой позиционирования в сетях сотовой связи является отсутствие рекомендаций для операторов сотовой связи по использованию единых, стандартизованных для БАС и UTM, методов позиционирования в их сетях и использование различных стандартов связи (например, в Беларуси используются сети 2G, 3G, технология LTE, 4G, LTE Advanced pro, 5G) [Карта покрытия, 2025]. По этой причине один из предлагаемых подходов к решению данной проблемы состоит в выделении отдельной сети в стандарте G5 для поддержки операций БАС и UTM.

Результаты экспериментальных исследований точности позиционирования

Экспериментальные исследования точности позиционирования АТ в сетях сотовой связи проводились в г. Минске [Скрыпник и др., 2024] и г. Кобрине (районный центр с населением чуть более 50 тыс. человек), отличающихся уровнем покрытия и используемыми технологиями сотовой связи.

В г. Минске в основном используются высокоскоростные сети 4G и 4G+, в то время, как в г. Кобрине – сеть 3G.

Для проведения экспериментов использовался АТ модели «Redmi Note 8». В АТ была активирована функция определения местоположения только в мобильной сети без использования сигналов GNSS и других беспроводных сетей (Wi-Fi, Bluetooth). Для отображения позиции АТ использовались мобильные приложения «Яндекс Карты» «Гугл карты», «Геотрекер», «Network cell info lite». Измерения выполнялись в 13 контрольных точках, координаты которых были определены с точностью GNSS через приложение «Гугл карты». В каждой контрольной точке выполнялось однократное позиционирование. В постобработку включены данные 15 экспериментов (сеансов измерений).

Результаты экспериментов в г. Минске приведены в [Скрыпник и др., 2024]. Максимальная погрешность позиционирования составила 176 м, минимальная – 11 м. Среднее значение погрешности для всех измерений составило 62 м.

Результаты экспериментов в г. Кобрине.

При проведении эксперимента в г. Кобрине измерения проводились также в 13 точках маршрута (рис. 3). Первые 4 точки находятся в частном секторе, соответственно покрытие в этом районе будет хуже, тип сети преимущественно 3G. Следующие 5 точек расположены на небольшом удалении друг от друга, проходят через зону с лучшим покрытием, сеть преимущественно 4G. Точки 11, 12, 13 снова находятся в районе с меньшим покрытием, сеть преимущественно 3G.

Общее среднее значение погрешности для всех измерений составило 243 м, что гораздо хуже значений, полученных в Минске. В 39% измерений тип сети был 3G, в то время как в Минске данный тип сети встречался очень редко в единичных случаях, в основном для контрольной точки 9, в которой наблюдалась наибольшая погрешность позиционирования. В Кобрине среднее значение погрешности для измерений в сети 3G составило 298 м, в сети 4G – 208 м. Эти данные свидетельствуют, что точность позиционирования существенно зависит от типа рабочей сети.

Треки, соответствующие фактическому и построенному по данным позиционирования (усреднение по 15-ти измерениям) в сети сотовой связи маршруту движения АТ, и расположение на нем контрольных точек показаны на рис. 3. Максимальная погрешность позиционирования составила 496 м, минимальная – 11 м, средняя – 155 м.



Рисунок 3 – Фактический (1) и построенный по данным позиционирования в сети сотовой связи (2) треки АТ

Значения усредненных по всем сеансам измерений погрешностей позиционирования в контрольных точках (г. Кобрин) приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Среднее значение погрешности позиционирования в точках трека

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Средняя погрешность, м	496	252	260	204	39	74	11	204	42	113	67	202	64

Заключение

Проведенный анализ возможных методов позиционирования объектов в сетях сотовой связи показал, что большинство из них аналогичны методам, используемым в радионавигации. Соответственно, сохраняются как достоинства, так и недостатки этих методов при использовании их в сетях сотовой связи. В связи с этим лучшие результаты по точности позиционирования должны давать методы, основанные на измерении дальности до БС по времени задержки сигнала (ТОВА) при его распространении по радиолинии БС-БВС.

Большим потенциалом обладает метод сигнатур, но для его реализации требуется большой объем работ, связанных с получением сигнатур в районе решения навигационной задачи, а также значительные вычислительные затраты при собственно позиционировании.

Результаты проведенных экспериментов показали, что в настоящее время точность позиционирования абонентов в сетях сотовой связи в среднем составляет несколько десятков метров в крупных городах, где имеется более густая сеть БС и используются более совершенные технологии, и более 100 м в районах, где сеть БС недостаточно густая. При этом в обоих сценариях наблюдаются значительные вариации точности по маршруту движения АТ.

Исходя из полученных экспериментальным путем результатов следует заключить, что в настоящее время решение задачи навигации БВС с использованием сетей сотовой связи можно рассматривать только в качестве резервного варианта, поскольку точность позиционирования БВС с помощью штатных бортовых средств навигации (инерциальных систем навигации, приемников спутниковой навигации GNSS, оптических систем) намного лучше и составляет единицы метров. По мере развертывания сетей 5G позиционирование в сетях сотовой связи сможет составить конкуренцию используемым в настоящее время методам навигации БВС. Вместе с этим использование сетей сотовой связи для решения задач обмена данными и наблюдения (при решении задачи позиционирования БВС на БС) уже в настоящее время является достаточно перспективным направлением.

Библиографический список

- Карта покрытия // [Электронный ресурс]. – 2025. URL: <https://www.a1.by/ru/company/coverage-map>. (дата обращения: 24.01.2025).
- Скрыпник О. Н. Методы позиционирования беспилотных воздушных судов в сетях сотовой связи / О. Н. Скрыпник, А. А. Козич // *Авиационный вестник*. 2024. № 10. С. 24-29. EDN JKYLVI.
- Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 1 // *Первая миля*. 2020. № 2(87). С. 32-39. DOI 10.22184/2070-8963.2020.87.2.32.38.
- Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 2 // *Первая миля*. 2020. № 3(88). С. 30-35. DOI 10.22184/2070-8963.2020.88.3.30.35.
- Ayad M. H. K. *Position Location Techniques in Wireless Communication Systems*. Karlskrona: Blekinge Institute of Technology, 2010. 53 p.
- Dardari D. *Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies* / D. Dardari, P. Closas, P. M. Djuric // *IEEE*. 2015. pp. 1263-1278.
- FACT Deliverable D2.3: Final Concepts of Operations [Электронный ресурс]. 2022. – URL: <https://fact.itu.edu.tr> (дата обращения: 17.09.2024).
- Fischer S. «5G NR positioning» // *5G and Beyond*. New York: Springer International Publishing, 2021. № 15. pp. 429-483. DOI 10.1007/978-3-030-58197-8_15.
- Hybrid TOA/AOA-based Mobile Localization With and Without Tracking in CDMA Cellular Networks / V. Zhang, A. Wong, K. T. Woo, W. Ouyang. Clear Water Bay, Hong Kong: The Hong Kong University of Science and Technology, 2010. 7 p.
- Mobile Phone Location Determination in Urban and Rural Areas Using Enhanced Observed Time Difference Technique / S. F. Shaikat, M. I. Ansari, R. Farooq, U. Ibrahim // *World Applied Sciences Journal*. 2009. № 6(7). PP. 902-905.
- Sand S. *Positioning in Wireless Communications Systems* / S. Sand, A. Dammann, C. Mensing. Chichester, West Sussex, United Kingdom : John Wiley & Sons, 2014. 255 c.
- Singh B. *A Survey of Cellular Positioning Techniques in GSM Networks* / S. Balaram, S. Pallai, S. K. Rath. Bhubaneswar: Utkal University, 2014. 7 p.
- Thorpe M. *LTE Location Based Services Technology Introduction* / M. Thorpe, E. Zelmer. München: Rohde& Schwarz GmbH & Co KG, 2013. 23 p.

References

- Ayad M. H. K. (2010). Position Location Techniques in Wireless Communication Systems. Karlskrona: *Blekinge Institute of Technology*, 2010. 53 p.
- Dardari D. (2015). Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies / D. Dardari, P. Closas, P. M. Djuric. *IEEE*. 1263-1278.
- FACT Deliverable D2.3: Final Concepts of Operations. 2.9.2022 Available at: <https://fact.itu.edu.tr>. (accessed 17 September 2024).
- Fischer S. (2021). «5G NR positioning». *5G and Beyond*. 15: 429-483. DOI 10.1007/978-3-030-58197-8_15.
- Fokin G. (2020). Evolution of positioning technologies in 2G-4G networks. Part 1. *The first mile*. 2(87): 32-39. DOI 10.22184/2070-8963.2020.87.2.32.38. (In Russian)
- Fokin G. (2020). Evolution of positioning technologies in 2G-4G networks. Part 2. *The first mile*. 3(88). 30-35. DOI 10.22184/2070-8963.2020.88.3.30.35. (In Russian)
- Map of coverage (2025). Available at: <https://www.a1.by/ru/company/coverage-map>. (accessed 24 January 2025). (In Russian)
- Sand S., Dammann A., Mensing C. Positioning in Wireless Communications Systems. Chichester, West Sussex, United Kingdom : John Wiley & Sons, 2014. 255 p.
- Shaukat S. F., Ansari M. I., Farooq R., Ibrahim U. (2009). Mobile Phone Location Determination in Urban and Rural Areas Using Enhanced Observed Time Difference Technique. *World Applied Sciences Journal*. 6(7): 902-905.
- Singh B., Pallai S., Rath S. K. (2014). A Survey of Cellular Positioning Techniques in GSM Networks. Bhubaneswar: *Utkal University*, 2014. 7 p.
- Skrypnik O. N., Kozich A. A. (2024). Methods of positioning unmanned aircraft in cellular networks. *Aviation Bulletin*. 10: 24-29. (In Russian)
- Thorpe M., Zelmer E. (2013). LTE Location Based Services Technology Introduction. München: *Rohde & Schwarz GmbH & Co KG*, 2013. 23 p.
- Zhang V., Wong A., Woo K. T., Ouyang W. (2010). Hybrid TOA/AOA-based Mobile Localization With and Without Tracking in CDMA Cellular Networks. Clear Water Bay, Hong Kong: *The Hong Kong University of Science and Technology*, 2010. 7 p.

УДК 629.7.021

ББК 39.53

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_117

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМЕ АВАРИЙНОГО ВЫПУСКА ШАССИ САМОЛЁТА

*Анатолий Филиппович Пенно,
orcid.org/0009-0006-4514-2848,*

кандидат педагогических наук

*Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова*

Министерства обороны Российской Федерации,

ул. Дзержинского, 135

Краснодар, 350090, Россия

aprenno@mail.ru

*Юрий Павлович Беловодский,
orcid.org/0009-0001-3777-7900,*

кандидат технических наук, доцент

*Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова*

Министерства обороны Российской Федерации,

ул. Дзержинского, 135

Краснодар, 350090, Россия

yury_belovodsky@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен ряд проблемных вопросов, связанных с конструктивными особенностями и работой систем основного и аварийного выпуска шасси современных воздушных судов. Отмечены некоторые противоречия между необходимостью повышения надежности и определенными трудностями в использовании дополнительных систем аварийного выпуска шасси на летательных аппаратах военного назначения. В результате анализа различных систем выпуска шасси определен самолёт Як-130 как объект внедрения авторской разработки по применению пирогидрравлического генератора в системе аварийного выпуска шасси. Показан принцип устройства и работы основных агрегатов предложенной системы. На примере передней стойки шасси самолёта продемонстрирована принципиальная схема функционирования предлагаемого способа выпуска шасси от пирогидрравлического генератора. По итогам исследования подтверждена целесообразность и обоснована возможность применения пирогидрравлического генератора в системе аварийного выпуска шасси летательного аппарата.

Ключевые слова: шасси, система выпуска, пирогидрравлический генератор, надежность, безопасность полетов.

THE ANALYSIS OF THE POSSIBILITY TO USE A PYROHYDRAULIC GENERATOR IN THE EMERGENCY SYSTEM OF AN AIRCRAFT LANDING GEAR

*Anatoly F. Penno,
orcid.org/0009-0006-4514-2848,
Candidate of Pedagogical sciences
Krasnodar Air Force Institute for Pilots named
after Hero of the Soviet Union A.K. Serov of the
Ministry of Defence of the Russian Federation,
135, Dzerzhinsky street
Krasnodar, 350090, Russia
anpenno@mail.ru*

*Yury P. Belovodsky,
orcid.org/0009-0001-3777-7900,
Candidate of Technical sciences, Associate Professor
Krasnodar Air Force Institute for Pilots named
after Hero of the Soviet Union A.K. Serov of the
Ministry of Defence of the Russian Federation,
135, Dzerzhinsky street
Krasnodar, 350090, Russia
yury_belovodsky@mail.ru*

Abstract. A number of problematic issues related to the design features and operation of the main and emergency landing gear systems of modern aircraft are considered. Some contradictions have been noted between the necessity to improve reliability and certain difficulties in using additional emergency landing gear systems on military aircraft. As a result of the analysis of various landing gear extension systems, the Yak-130 aircraft was identified as the object of implementation of the authors' development on the use of a pyrohydraulic generator in the emergency landing gear extension system. The principle of design and operation of the main units of the proposed system is shown. Using the example of the nose landing gear of an aircraft, a schematic diagram of the functioning of the proposed method of extending the landing gear with a pyrohydraulic generator is demonstrated. Based on the results of the study, the feasibility was confirmed and the possibility of using a pyrohydraulic generator in the emergency landing gear system of an aircraft was justified.

Keywords: Landing gear, extension system, pyrohydraulic generator, reliability, flight safety.

Введение

Шасси самолёта – это сложное техническое устройство, представляющее совокупность опор, предназначенных для стоянки и движения воздушного судна по земле, а также снижения нагрузок на конструкцию в процессе взлёта и посадки летательного аппарата^{11, 12} [Житомирский, 2005; Шасси летательного..., 2022; Currey, 1988].

¹¹ Житомирский Г. И. Конструкция самолётов: учебник для студентов вузов. 6-е изд., испр. М.: Инновационное машиностроение, 2021. 416 с.

¹² Егер С. М. Основы авиационной техники: учебник / С. М. Егер, А. М. Матвеев, И. А. Шаталов. Под ред. И. А. Шаталова. М.: Машиностроение, 2003. 720 с.

На современных воздушных судах, для достижения высоких летно-технических характеристик, шасси выполнены убирающимися в полете¹³ [Кондрашов, 1991; Кузьмин, 2021]. Работа по уборке и выпуску шасси, как правило, обеспечивается гидравлической системой самолёта, в состав которой входит большое количество агрегатов, расположенных в различных частях воздушного судна¹⁴ [Гидравлическая система..., 2015]. Поломка или некорректная работа даже одного из них может привести к аварийной ситуации, выражающейся в отказе уборки шасси или их выпуска, что способно привести к разрушению летательного аппарата на этапе его взлёта или посадки [Пенно и др., 2022; Zhang et al., 2014].

Для обеспечения надёжности самолёта используются независимые друг от друга гидравлические системы, широко применяются дополнительные (аварийные) пневмосистемы и т.п., участвующие в процессе выпуска шасси [Бороденко и др., 1972; Патент № 2780009 С1..., 2022; Пенно, 2024; Фролов и др., 2023]. Это позволило заметно снизить количество отказов систем, отвечающих за выпуск шасси, но не исключило их полностью. К тому же, возможность установки нескольких общепринятых аварийных систем может быть ограничена из-за усложнения конструкции, увеличения веса и недостаточного внутрифюзеляжного пространства воздушного судна.

Похожие проблемы существуют и в военной авиации, где еще более остро стоит вопрос возможности применения на самолёте дополнительного оборудования, обеспечивающего работу системы уборки и выпуска шасси. Это в первую очередь касается истребительной авиации [Ахунов и др., 2022; Бюшгенс и др., 2018; Пять поколений ..., 2019; Самые лучшие..., б.г.]. На воздушных судах данного типа предусмотрена максимально плотная компоновка агрегатов внутри фюзеляжа¹⁵. Внедрение дополнительных устройств, как правило, связано со значительными трудностями. Сопутствующее этому изменение массы самолёта также является критичным, поскольку влияет на летные характеристики летательного аппарата.

Истребитель предназначен для ведения боевых действий, вследствие чего возможно огневое поражение самолёта противником¹⁶. Каждая из систем, участвующих в выпуске шасси (гидравлическая, пневматическая), состоит из различных агрегатов и коммуникаций в виде трубопроводов и шлангов, повреждение которых неминуемо приведет к отказу системы и возникновению аварийной ситуации¹⁷ [Дмитренко, 2023]. Применение дополнительных систем аналогичного типа увеличит количество объектов поражения, что снижает надёжность применения самих систем.

¹³ Подружин Е. Г. Конструкция и проектирование летательных аппаратов. Шасси: учеб. пособие / Е. Г. Подружин, В. М. Степанов. 2-е изд. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. 68 с.

¹⁴ Захаров А. С. Авиационное гидравлическое оборудование: учеб. пособие / А. С. Захаров, В. И. Сабельников. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 406 с.

¹⁵ Трубочев И.В. Конструкция и летная эксплуатация боевого воздушного судна (самолёт МиГ-29): учебное пособие / И. В. Трубочев, В. В. Трубочев. Краснодар: КВВАУЛ, 2018. 141 с.

¹⁶ Мирошников И. И. Особенности практической аэродинамики самолётов семейства Су-27: учебное пособие / И. И. Мирошников, Ю. В. Семяниев, С. А. Прошкин. Краснодар: КВВАУЛ, 2022. 267 с.

¹⁷ Руководство по лётной эксплуатации самолёта Як-130. Книга 1. М.: ОАО «ОКБ им. А. С. Яковлева», 2013. 368 с.

Для решения обозначенной проблемы, выражающейся в необходимости повышения надежности системы выпуска шасси на современном боевом воздушном судне и определенных затруднениях при использовании существующих аварийных систем как дополнительных, предлагается применение пирогидравлического генератора (ПГГ) в качестве источника энергии, обеспечивающего выпуск шасси самолёта.

Правильность вектора нашего исследования подтверждается разработками как отечественных, так и зарубежных ученых [Патент № 2729924 С2..., 2020; Складываемый руль..., 2019.], касающихся вопросов различных вариантов использования пирогидравлических систем в конструкции современных летательных аппаратов.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования рассматривалось устройство и принцип работы систем современных летательных аппаратов истребительной авиации, обеспечивающих процесс основного, а также аварийного выпуска шасси.

Анализ изучаемого материала выявил определенные **противоречия**, связанные с необходимостью повышения надежности авиационной техники в виде использования дополнительного оборудования и ограниченными возможностями по его размещению на воздушном судне.

Цель проводимого исследования заключается в обосновании целесообразности и возможности применения ПГГ как источника давления в системе аварийного выпуска шасси самолёта.

Исходя из цели исследования, необходимо решение следующих частных **задач**:

- на основании анализа конструктивных особенностей систем основного и аварийного выпуска шасси самолётов истребительной авиации определить воздушное судно, на примере которого исследовать возможность внедрения предлагаемого способа аварийного выпуска шасси с использованием ПГГ;

- раскрыть особенности конструкции ПГГ и дополнительного оборудования, необходимого для работы системы;

- показать принципиальную схему функционирования системы аварийного выпуска шасси воздушного судна с применением авторской разработки;

- обобщить итоги исследования, отметить преимущества и возможные недостатки предлагаемой системы;

- представить заключение о целесообразности и возможности применения ПГГ в процессе аварийного выпуска шасси.

Решению поставленных задач способствовало использование математического метода, а также теоретического метода в виде анализа, обобщения и моделирования предлагаемой авторской разработки.

Практическая значимость проводимого исследования заключается в повышении надежности воздушного судна вследствие размещения дополнительного оборудования системы аварийного выпуска шасси самолёта.

Дискуссия

В процессе рассмотрения устройства, конструктивных особенностей и работы систем выпуска и уборки шасси современных самолётов истребительной авиации, а также учебно-боевого самолёта Як-130^{18, 19, 20}, определена их принципиальная схожесть как при основном, так и при аварийном выпуске шасси. В связи с этим, а также учитывая ведомственную принадлежность рассматриваемых летательных аппаратов, в качестве объекта исследования определен самолёт Як-130, в конструкцию которого предлагается внести изменения для демонстрации авторской разработки по применению ПГГ.

На самолёте Як-130 основной выпуск шасси осуществляется через электронную систему управления общесамолётным оборудованием (СУОСО) от общей гидравлической системы (ОГС), в которой насос располагается на левом двигателе, и функционирование системы зависит от его работоспособности. Аварийный выпуск шасси, под управлением СУОСО, производится от аварийной пневматической системы, в работе которой используется давление азота в соответствующих баллонах. Обе системы имеют большое количество агрегатов. Потребители (гидравлические цилиндры) системы выпуска шасси связаны с источниками давления трубопроводами значительной протяженности (рис. 1).

Основной способ уборки и выпуска шасси самолёта выполняется от ОГС с рабочим давлением 203-220 кгс/см².

Электрогидравлический распределитель РЗ по заданному алгоритму управляет процессом открытия и закрытия всех створок ниш шасси самолёта и замка убранного положения передней стойки.

Работу замков убранного положения основных стоек, выпуск и уборку всех стоек шасси обеспечивает электрогидравлический распределитель Р1. Конструктивной особенностью является то, что при неоткрытии хотя бы одной из створок, или неоткрытии одного из замков убранного положения – шасси не выпускаются.

Самолёт Як-130 оборудован аварийной пневматической системой выпуска как отдельно передней стойки, так и всех стоек шасси в зависимости от сложившейся ситуации и выбора действий в ней лётчика. Давление зарядки пневмосистемы – 190-210 кгс/см². При снижении давления азота в системе на

¹⁸ Пенно А. Ф. Конструкция и лётная эксплуатация воздушного судна. Самолёт Як-130: учебное пособие / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский, А. М. Клименко. Краснодар: КВВАУЛ, 2023. 267 с.

¹⁹ Трубочев И. В. Конструкция и лётная эксплуатация боевого воздушного судна (самолёт МиГ-29): учебное пособие / И. В. Трубочев, В. В. Трубочев. Краснодар: КВВАУЛ, 2018. 141 с.

²⁰ Руководство по лётной эксплуатации самолёта Су-30СМ. Книга 3. Том 1. М.: ОАО «ОКБ им. Сухого», 2012. 530 с.

момент аварийного выпуска шасси ниже 100 кг/см^2 выпускается только передняя стойка шасси²¹.

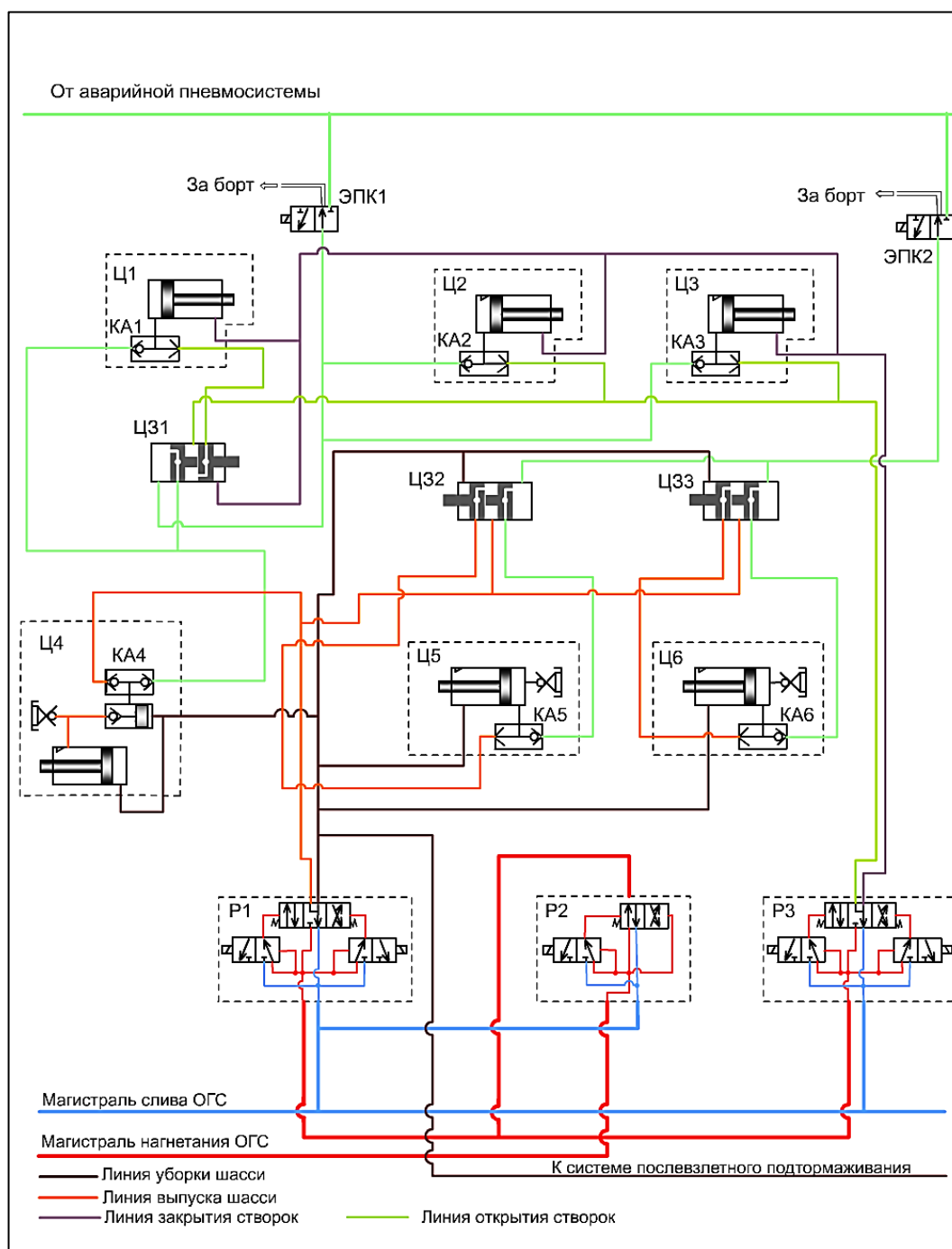


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы уборки-выпуска шасси самолёта Як-130:

ЭПК1, ЭПК2. Электропневмоклапан; Ц1. Цилиндр створок передней опоры шасси; Ц2, Ц3. Цилиндр створок левой (правой) опоры шасси; Ц31. Цилиндр замка убранного положения передней опоры; Ц32, Ц33. Цилиндр замка убранного положения левой (правой) основной опоры шасси; Ц4. Цилиндр подкос передней опоры шасси; Ц5, Ц6. Цилиндр уборки-выпуска левой (правой) основной опоры шасси; КА1, КА2, КА3, КА4, КА5, КА6. Клапан аварийный; P1, P2, P3. Распределитель электрогидравлический

²¹ Пенно А. Ф. Конструкция и лётная эксплуатация воздушного судна. Самолёт Як-130: учебное пособие / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский, А. М. Клименко. Краснодар: КВВАУЛ, 2023. 267 с.

В процессе аварийного выпуска шасси, согласно программе управления, участвуют два электропневмоклапана (ЭПК1, ЭПК2) (рис. 1). Для выпуска передней стойки шасси в кабине самолёта переключатель устанавливается в соответствующее положение, при этом срабатывает ЭПК1. Под действием давления азота открываются створки всех ниш шасси, замок убранного положения передней стойки и производится выпуск самой стойки.

Аварийный выпуск всех стоек шасси самолёта осуществляется после установки переключателя в необходимое положение. Первоначально срабатывает ЭПК1, открываются все створки ниш и выпускается передняя стойка.

После фиксации створок ниш основных стоек в выпущенном положении срабатывает электропневмоклапан ЭПК2, азот подается на открытие замков убранного положения основных стоек и в цилиндры выпуска самих стоек. При отсутствии сигнализации об открытии створок ниш основных стоек шасси, ЭПК2 не запрашивается – шасси останутся в убранном положении.

При невыпуске одной из основных стоек шасси, на данном воздушном судне, посадка запрещена. Экипаж обязан катапультироваться ²² [Проблематика..., 2022].

Исходя из конструктивных особенностей, можно отметить несколько факторов, влияющих, по нашему мнению, на безопасность полетов, связанных с работой основной и аварийной систем выпуска шасси самолёта Як-130. К ним относятся:

- отказ левого двигателя автоматически приводит к отказу ОГС и невозможности выпуска шасси самолёта основным способом;
- отсутствие сигнализации о выпущенном положении створок ниш стоек шасси (не выпуск, неисправность в системе сигнализации) не позволяет автоматике продолжить процесс выпуска всех шасси от гидравлической системы и выпустить основные стойки при аварийном их выпуске;
- не предусмотрена возможность отдельного аварийного выпуска одной из основных стоек шасси;
- большое количество трубопроводов, находящихся под высоким давлением гидравлической и пневматической систем, невозможность по рассмотренным причинам их дублирования способны привести к быстрому отказу в результате механического (боевого) их повреждения.

Для повышения надежности воздушного судна предлагается применение ПГТ, выполняющего роль источника давления в системе аварийного выпуска шасси самолёта (рис. 2).

²² Руководство по лётной эксплуатации самолёта Як-130. Книга 1. М.: ОАО «ОКБ им. А. С. Яковлева», 2013. 368 с.

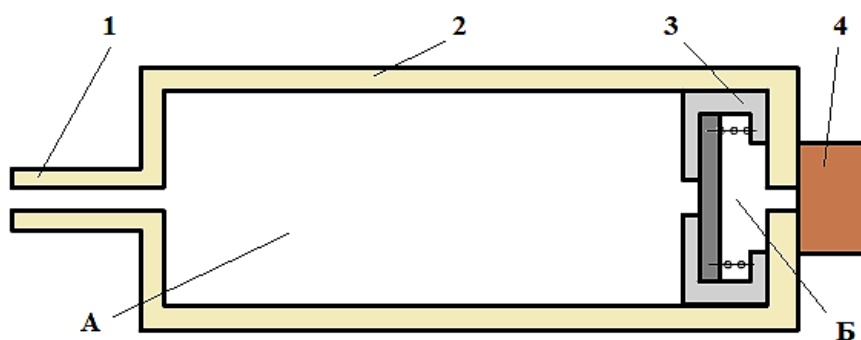


Рисунок 2 – Принцип устройства пирогидравлического генератора:

1. Трубопровод; 2. Корпус; 3. Поршень; 4. Пирозаряд.

А. Гидравлическая полость; Б. Азотная полость

ПГГ состоит из трубопровода (1) подвода гидрожидкости к потребителям, корпуса (2), внутри которого располагается поршень (3), (А) – гидравлическая полость (ГП) и (Б) – азотная полость, а также пирозаряда (4).

При конструировании корпуса ПГГ могут быть использованы характеристики гидроаккумулятора, входящего в состав ОГС самолёта Як-130, так как данный гидроаккумулятор рассчитан на воздействие давления, создаваемого в ОГС.

Предполагается, что давление от пирозаряда будет достаточным для функционирования системы и не превысит максимальных значений, создаваемых в процессе работы ОГС. Методика подбора пирозаряда для ПГГ требует отдельного изучения и в данном исследовании не рассматривается.

Объем гидравлической жидкости в ПГГ должен соответствовать необходимому для обеспечения работы гидроцилиндров, участвующих в выпуске стойки шасси, с учетом 10% запаса жидкости и рассчитывается по формуле:

$$V_{ГП} = 1,1 \cdot (V_{СШ} + V_{СТВ} + V_{ЗАМ} + V_{ТР}), \quad (1)$$

где $V_{ГП}$ – гидравлическая полость ПГГ;

$V_{СШ}$ – объем полости выпуска цилиндра стойки шасси;

$V_{СТВ}$ – объем полости выпуска цилиндра створок стойки шасси;

$V_{ЗАМ}$ – объем полости цилиндра открытия замка убранного положения стойки шасси;

$V_{ТР}$ – объем трубопроводов.

Для компенсации теплового расширения жидкости в ПГГ, при изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне $-60 \dots +60^\circ\text{C}$, предусмотрена газовая полость, заполненная азотом, объем которой рассчитывается по формуле:

$$V_{ГКП} = (V_{ГП} + V_{ТР}) \cdot \beta_t \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где $V_{ГКП}$ – газовая компенсационная полость;

$V_{ГП}$ – гидравлическая полость ПГГ;

$V_{ТР}$ – объем трубопроводов;

β_t – коэффициент объемного теплового расширения;

Δt – температурный диапазон.

Трубопроводы подвода гидравлической жидкости от ПГГ к потребителям аналогичны трубопроводам, применяемым в гидросистемах воздушного судна.

С целью автономности аварийного выпуска предполагается использовать для каждой стойки шасси отдельный ПГГ с установкой его в соответствующую нишу, в непосредственной близости от гидроцилиндров. Тем самым значительно уменьшается количество и протяженность необходимых трубопроводов.

Кроме того, предлагаемая конструкция допускает возможность аварийного выпуска как всех стоек шасси, так и любой стойки в отдельности. Для этого в кабине самолёта размещается пульт аварийного выпуска шасси (рис. 3).



Рисунок 3 – Пульт аварийного выпуска шасси

Установкой галетного переключателя задается режим работы, затем нажатием кнопки подается напряжение на все или на выбранный пирозаряд системы аварийного выпуска.

Для функционирования системы необходимо применение переключающего клапана (ПК) (рис. 4), который переключает магистраль ОГС и откроет подачу жидкости от ПГГ к цилиндрам выпуска шасси при отсутствии давления в ОГС.

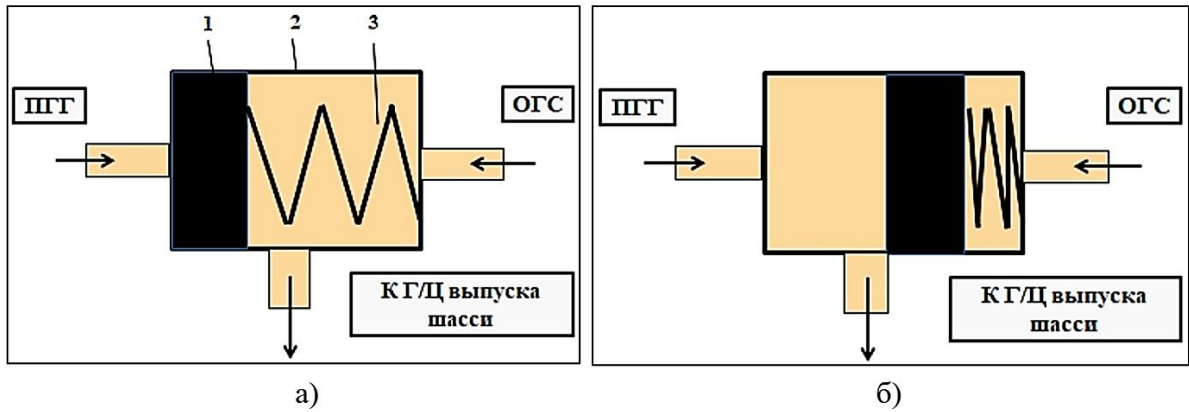


Рисунок 4 – Принцип устройства переключающего клапана:
 1. Поршень; 2. Корпус; 3. Пружина.
 а) Работа от ОГС; б) Работа от ПГГ

Поршень ПК при отсутствии давления в ОГС под действием усилия пружины и не активированном ПГГ находится в крайнем левом положении (рис. 4а). Сообщение между магистралями ОГС и ПГГ отсутствует. Наличие давления в ОГС создает дополнительное усилие на поршень ПК, тем самым обеспечивая условия для штатной работы системы уборки и выпуска шасси.

При отказе ОГС и срабатывании пирозаряда ПГГ давление жидкости сдвигает поршень ПК вправо, открывая ее подачу к гидроцилиндрам – выполняется аварийный выпуск шасси (рис. 4б).

Для демонстрации работы аварийного выпуска шасси от ПГГ нами определена передняя стойка шасси самолёта Як-130.

На рисунке 5 показана принципиальная схема работы предлагаемой системы.

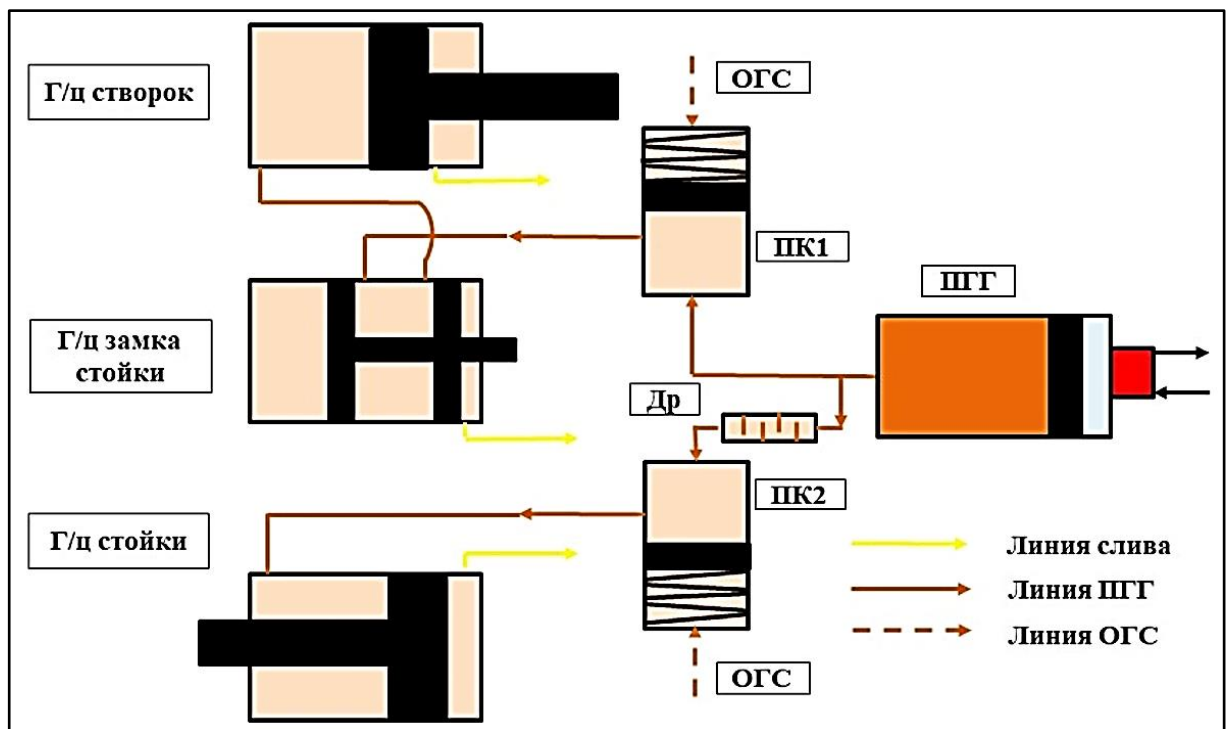


Рисунок 5 – Принципиальная схема работы системы выпуска передней стойки шасси от пирогидравлического генератора

В представленной схеме устанавливаются: пирогидравлический генератор (ПГГ), два переключающих клапана (ПК1, ПК2) и дроссель (Др).

Необходимость двух ПК обусловлена особенностью работы системы выпуска передней шасси самолёта (рис. 1), где гидравлическая жидкость под давлением подводится к цилиндру замка стойки и цилиндру створок при срабатывании электрогидравлического распределителя РЗ по одной магистрали, а к цилиндру выпуска передней стойки при срабатывании электрогидравлического распределителя Р1 по другой магистрали.

Применение дросселя (Др) обеспечивает некоторое замедление и поступление гидравлической жидкости на выпуск стойки после открытия замка убранного положения и открытия створок.

Рассмотрим работу предлагаемой схемы аварийного выпуска передней стойки шасси.

При установке переключателя в кабине самолёта в положение «ПЕР» и нажатии кнопки (рис. 3) происходит срабатывание пирозаряда (рис. 5), гидравлическая жидкость под давлением поступает в переключающий клапан ПК1, перекрывает магистраль ОГС и приводит в действие гидроцилиндры открытия замка убранного положения стойки и открытия створок ниши. Одновременно гидравлическая жидкость с замедлением через дроссель, переключающий клапан ПК2, приводит в действие цилиндр выпуска передней стойки шасси. Стойка шасси выпускается.

Индикация положения стойки осуществляется работой штатной системы сигнализации и не требует дополнительных элементов.

Учитывая принципиальную схожесть устройства и принципа работы всех стоек шасси самолёта Як-130, можно утверждать, что расчет характеристик агрегатов и алгоритм работы системы аварийного выпуска основных стоек от ПГГ будет осуществляться аналогичным образом.

Результаты

Основными результатами проведенного исследования по использованию пирогидравлического генератора в системе аварийного выпуска шасси являются:

- на основании анализа определено воздушное судно как пример возможного внедрения предлагаемой схемы аварийного выпуска шасси;
- представлена авторская разработка ПГГ с расчетами основных характеристик агрегата и обоснована необходимость дополнительного оборудования для функционирования системы;
- показан принцип устройства и работы аварийного выпуска шасси летательного аппарата с использованием источника энергии в виде ПГГ;
- автономность предлагаемой схемы позволяет произвести выпуск шасси самолёта при отказе левого двигателя, поломке (повреждении) агрегатов, цепей управления, входящих в состав систем основного или аварийного выпуска;
- в авторской разработке заложена возможность аварийного выпуска как всех стоек шасси воздушного судна, так и каждой стойки в отдельности;

– расположение ПГГ в каждой нише шасси, в непосредственной близости от гидроцилиндров выпуска шасси и их створок подразумевает небольшое количество трубопроводов, необходимых для обеспечения работы системы, и, как следствие, повышение живучести летательного аппарата при ведении боевых действий;

– размещение дополнительного оборудования, входящего в состав авторской разработки, не требует существенного изменения конструкции летательного аппарата и не способно оказывать влияние на его летные характеристики.

Исходя из схемы функционирования основной и аварийной систем выпуска шасси самолёта Як-130, которая принципиально схожа с соответствующими системами современных истребителей, предлагаемая авторами конструкция способна заменить существующую аварийную систему или использоваться как дополнительная при условии ее применения перед аварийной пневмосистемой.

К некоторым недостаткам предлагаемого способа аварийного выпуска шасси можно отнести увеличение объема работ в процессе технического обслуживания системы и восстановления работоспособности после ее применения.

Заключение

Полученные результаты исследования позволяют сделать положительное заключение о целесообразности и возможности применения ПГГ в системе аварийного выпуска шасси самолёта.

Предлагаемое конструктивное решение устраняет выявленные противоречия между необходимостью использования дополнительных систем выпуска шасси воздушного судна и затруднениями, связанными с усложнением конструкции, увеличением массы самолёта, а также с размещением необходимого оборудования внутри фюзеляжа.

Небольшое количество агрегатов, входящее в состав представленной системы, расположение их вблизи основных потребителей, предусмотренная автономность работы каждой стойки самолёта повышают надежность системы выпуска шасси в процессе повседневной эксплуатации и при возможных повреждениях, в том числе боевых.

Внедрение системы выпуска шасси с использованием ПГГ, ее техническое обслуживание требуют определенных материальных затрат, которые можно считать оправданными в случае возникновения аварийной ситуации и безопасной посадки воздушного судна.

Таким образом, предлагаемая система с использованием пирогидравлического генератора может рассматриваться как самостоятельная или дополнительная аварийная система выпуска шасси самолёта, применение которой способно повлиять на повышение надежности авиационной техники в целом.

Библиографический список

- Ахунов А. Р. Особенности компоновки и технологические решения сверхманевренных боевых самолётов / А. Р. Ахунов И. Р. Насыров, И. В. Шарипов // Молодой исследователь: Вызовы и перспективы: сборник статей по материалам ССХЛIII международной научно-практической конференции. М., 2022. С. 418-421. EDN OUIJUNY
- Бороденко В. А. Самолёт Ту-134. Конструкция и эксплуатация / В. А. Бороденко, Л. В. Коломиец. М.: Транспорт, 1972. 368 с.
- Бюшгенс Г. С. Облик современного истребителя / Г. С. Бюшгенс, В. Л. Суханов // Ученые записки ЦАГИ. 2018. Т. 49. № 4. С. 38-51. EDN UVEESM
- Гидравлическая система самолёта // [Электронный ресурс] – 2015. URL: <https://avia.pro/blog/gidravlicheskaaya-sistema-samoleta> (дата обращения: 19.01.2025).
- Дмитренко А. Ю. Методические особенности обучения летных экипажей действиям в особых ситуациях в полете при отказах авиационной техники // Гуманитарный научный журнал. 2023. № 4-1. С. 28-36.
- Житомирский Г. И. Конструкция самолётов. М.: Машиностроение, 2005. 406 с.
- Кондрашов Н. А. Проектирование убирающихся шасси самолётов. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.
- Кузьмин Ю.В. История создания убирающегося шасси // [Электронный ресурс] – 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-sozdaniya-ubirayuschegosya-shassi> (дата обращения: 19.01.2025).
- Патент № 2729924 С2 Российская Федерация, МПК В64С 27/04, В64D 41/00, F02С 7/272. Вспомогательная система привода вала пропульсивной системы вертолета: № 2018139099: заявл. 24.04.2017: опубл. 13.08.2020 / Р. Тирье, К. Сергин, Г. Демезон ; заявитель САФРАН ХЕЛИКОПТЕР ЭНДЖИНЗ. EDN YSUTUP.
- Патент № 2780009 С1 Российская Федерация, МПК В64С 25/22, В64С 25/30. аварийный привод выпуска шасси: № 2022101851: заявл. 27.01.2022: опубл. 19.09.2022 / Р. Р. Калимуллин, Н. А. Поляков, Г. К. Фролов, В. А. Целищев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет». EDN WKWJEX.
- Пенно А. Ф. Некоторые предложения по повышению надежности гидравлической системы воздушного судна / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский // Межвузовский сборник научных трудов: Сборник статей. Том Выпуск 26. Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2022. С. 65-71. EDN BNPDU5.
- Пенно А. Ф. Применение пороховых зарядов в системе аварийного выпуска шасси воздушного судна // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 3. С. 117-133. EDN JCAUCY
- Проблематика изучения руководства по лётной эксплуатации при формировании знаний и навыков курсантов истребительной авиации по действиям в особых случаях в полёте / Н. А. Куприянов, С. А. Прошкин, С. В. Стадник, П. Д. Солодовник // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 1. С. 37-51.
- Пять поколений «Сухого» // [Электронный ресурс] – 2019. URL: <https://rostec.ru/media/news/pyat-pokoleniy-sukhogo/> (дата обращения: 19.01.2025).
- Самые лучшие военные самолёты в мире: топ-10 современных боевых истребителей // [Электронный ресурс]. – URL: <https://poletomania.ru/stati/o-vozdukhoplavanii/samye-luchshie-voennye-samolety-v-mire/> (дата обращения: 19.01.2025).
- Складываемый руль летательного аппарата с пирогиравлической системой раскрытия / С. А. Шестаков, В. А. Земсков, А. А. Виноградов, Д. И. Натолочный // XLIII Академические чтения по космонавтике: Сборник тезисов по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров

освоения космического пространства. В 2-х томах, Москва, 29 января – 01 2019 года. Том 2. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. С. 251-253. EDN UHMNBV.

Фролов Г. К. Современные схемные решения аварийных приводов выпуска уборки шасси / Г. К. Фролов, В. К. Годовец // Молодежный вестник УГАТУ. 2023. № 2(28). С. 132-138.

Шасси летательного аппарата // [Электронный ресурс] – 2022. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Шасси_летательного_аппарата# (дата обращения: 19.01.2025).

Currey N. S. Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practice. Washington: AIAA Education Series, 1988. 373 p.

Zhang W. G. Analysis of Aircraft Hydraulic System Failures / W. G. Zhang, G. Lin // Engineering Advanced Materials Research. 2014. № 989-994. pp. 2947-2950. DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.989-994.2947.

References

- Aircraft chassis (2022). Available at: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Aircraft_chassis# (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Aircraft hydraulic system (2015). Available at: <https://avia.pro/blog/gidravlicheskaya-sistema-samoleta> (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Akhunov A. R., Nasyrov I. R., Sharipov I. V. (2022) Features of the layout and technological solutions of super-maneuverable combat aircraft. In the collection: Young researcher: Challenges and prospects. collection of articles based on the materials of the CCXLIII international scientific and practical conference. Moscow, pp. 418-421. (in Russian).
- Borodenko V. A., Kolomiets L. V. (1972). Airplane Tu-134. Design and operation. Moscow: Transport. 368 p. (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Byushgens G. S., Sukhanov V. L. (2018). The look of a modern fighter. *Scientific notes of TsAGI*. 49(4): 38-51. (in Russian).
- Currey N. S. (1988). Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practice. Washington: AIAA Education Series, 1988. 373 p.
- Dmitrenko A. Yu. (2023). Methodological features of training flight crews to act in special situations in flight during aircraft failures. *Humanitarian scientific journal*. 4-1: 28-36. (in Russian).
- Five generations of Sukhoi (2019). Available at: <https://rostec.ru/media/news/pyat-pokoleniy-sukhogo> (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Frolov G. K., Godovets V. K. (2023). Modern circuit solutions for emergency landing gear retraction drives. *Youth Bulletin of UGATU*. 28(2): 132-138. (in Russian).
- Kondrashov N. A. (1991). Design of retractable landing gear for aircraft. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 224 p. (in Russian).
- Kupriyanov N. A., Proshkin S. A., Solodovnik P. D. (2022). Problems of studying the flight manual when developing the knowledge and skills of fighter aviation cadets on actions in special cases in flight. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 1: 37-51. (in Russian).
- Kuzmin Yu. V. (2021). History of the creation of retractable landing gear. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-sozdaniya-ubirayuschegosya-shassi> (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Patent No. 2729924 C2 Russian Federation, IPC B64C 27/04, B64D 41/00, F02C 7/272. Auxiliary drive system for the helicopter propulsion system shaft: No. 2018139099: application. 04/24/2017: publ. 08/13/2020 / R. Thirie, K. Sergin, G. Demaison; applicant SAFRAN HELICOPTER ENGINES. – EDN YSUTUP.
- Patent No. 2780009 C1 Russian Federation, IPC B64C 25/22, B64C 25/30. emergency landing gear extension drive: No. 2022101851: app. 01/27/2022: publ. 09.19.2022 / R. R. Kalimullin, N. A. Polyakov, G. K. Frolov, V. A. Tselishchev; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Aviation Technical University". EDN WKWJEX. (in Russian).

- Penno A. F. (2024). Application of powder charges in the emergency release system of an aircraft landing gear. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3: 117-133. (in Russian).
- Penno A. F., Belovodsky Yu. P. (2022). Some proposals for increasing the reliability of the hydraulic system of an aircraft. *Interuniversity collection of scientific papers. Digest of articles*. 26: 65-71. (in Russian).
- Shestakov S. A., Zemskov V. A., Vinogradov A. A., Natolochny D. I. (2019). Folding rudder of an aircraft with a pyrohydraulic deployment system. *XLIII Academic Readings on Cosmonautics: Collection of theses on cosmonautics, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding domestic scientists - pioneers of space exploration*. In 2 volumes, Moscow, January 29 – 01. Volume 2. – Moscow: MSTU im. N.E. Bauman, 2019. pp. 251-253. (in Russian).
- The best military aircraft in the world: top 10 modern combat fighters. Available at: <https://poletomania.ru/stati/o-vozdukhoplavanii/samye-luchshie-voennye-samolety-v-mire> (accessed 19 January 2025). (in Russian).
- Zhang W. G., Lin. G. (2014). Analysis of Aircraft Hydraulic System Failures. *Engineering Advanced Materials Research*. 989-994. 2947-2950. DOI 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.989-994.2947. (in Russian).
- Zhitomirsky G. I. (2005). Aircraft design. Moscow: *Mashinostroenie*, 2005. 406 p. (in Russian).

ДИСКУРС, ДИСКУРСИВНЫЕ ПРАКТИКИ И ТЕКСТ: ВЕКТОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 811.111

ББК 81.432.1

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_132

ЛИНГВОКУЛЬТУРНЫЙ ТИПАЖ *COLUMNIST* 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*

Аннотация. Статья посвящена исследованию языковой репрезентации личности колумниста в современном англоязычном медийном дискурсе. В рамках теории лингвокультурных типажей на материале американской и британской колумнистики моделируется типизируемая языковая личность автора-колумниста, выявляются его конститутивные понятийные, образные и ценностные характеристики и способы их вербализации. Путём анализа лексикографических данных выделяются понятийные признаки ‘периодичность публикаций’, ‘определенная тематическая сфера публикаций’, ‘личностная позиция’. Устанавливается, что признаки ‘личность’, ‘индивидуальность’, ‘характер’ являются концептуально и аксиологически значимыми в содержании лингвокультурного типажа колумниста. Выявляются значимые для британской и американской лингвокультуры ценностные доминанты профессионального лингвокультурного типажа колумниста.

Ключевые слова: лингвокультурный типаж, языковая личность, концепт, авторская колонка, колумнист, ценностные характеристики, медиадискурс.

LINGUOCULTURAL TYPE *COLUMNIST* 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*

Abstract. The study considers the issue of linguocultural types as recognizable images of individuals whose specific verbal and non-verbal behavioral characteristics and value dimensions significantly impact the culture of a particular society. The background of the research is the theory of linguocultural types proposed by V.I. Karasik. The paper brings into focus conceptual, figurative features and value dimensions of the professional linguocultural type *columnist*. Of particular concern in the study is the value component of the linguocultural type *columnist*. The author claims that the core value of the linguocultural type *columnist* is based on the conceptual properties ‘personality’, ‘individuality’, ‘character’ of the columnist. The linguistic personality of

the columnist is viewed as a bearer of personal views, individual opinions and intellectual qualities. The findings of the study can be applied in courses on cultural linguistics, media discourse and pragmatics.

Key words: linguocultural type, linguistic personality, concept, column, columnist, value characteristics, media discourse.

Введение (Introduction)

Актуальность настоящего исследования обуславливает его включенность в контекст научного осмысления взаимосвязи языка, культуры и языковой личности. *Объектом* исследования является лингвокультурный типаж *columnist*. *Предметом* научного осмысления в работе выступают понятийные, образные и ценностные характеристики концепта *columnist* как типизируемой личности. Статья *нацелена* на моделирование структуры и содержания лингвокультурного типажа колумниста в англоязычной лингвокультуре. *Новизна* работы заключается в изучении обобщённого образа личности колумниста, которая до настоящего времени не являлась объектом лингвокультурологического исследования.

Материалы и методы (Materials and methods)

Эмпирическим материалом послужили толковые, энциклопедические, этимологические словари, медиатексты, англоязычные тексты, структурирующие содержание концепта типизируемой личности колумниста. Для достижения поставленной цели были использованы методы концептуально-дефиниционного анализа, контекстуального анализа, метод интерпретативного анализа текстовых фрагментов, описательно-аналитический метод.

Дискуссия (Discussion)

В рамках проблематики «человек в языке» исследовательский вектор связан как с изучением индивидуальной языковой личности в рамках лингвоперсонологии [Нерознак, 1996; Карасик, 2002], так и «с той областью знания, которая является исходной для построения той или иной модели языковой личности» [Карасик, 2007, с. 86]. Одним из плодотворных направлений в исследовании динамического феномена языковой личности с позиции лингвокультурологии признается теория лингвокультурных типажей [Карасик и др., 2005]. Лингвокультурный типаж (ЛКТ) дефинируется как «типизируемая личность, представитель определённой этносоциальной группы, узнаваемый по специфическим характеристикам вербального и невербального поведения и выводимой ценностной ориентации» [Карасик, 2002, с. 310]. Феномену лингвокультурного типажа присуща двойственная природа, поскольку он являет собой как концепт, так и языковую личность [Дмитриева, 2009]. Дуализм концепта типизируемой личности, говоря словами В. И. Карасика, заключается в том, что он «представляет собой квант переживаемого знания о тех или иных людях» [Карасик, 2021, с. 111].

В рамках разработанных О. М. Дубровской критериев типологизации и параметризации лингвокультурных типажей выделяется тематическая группа «типаж – профессия», которая включает ЛКТ, прямо или косвенно связанные с профессиональными навыками, родом занятий или сферой деятельности

описываемого типажа, и именно этот вид занятости является для них приоритетным [Дубровская, 2024]. Одним из подходов к исследованию типизируемых языковых личностей предлагается их моделирование и описание «с позиции того дискурса, в котором они преимущественно проявляются» [Карасик, 2019, с. 88]. Так, например, в пространстве медийного дискурса рассматриваются профессиональные лингвокультурные типажи политического эксперта [Карасик, 2019], литературного рецензента [Рыжикова, 2022], американского литературного критика-рецензента [Аблаева, 2021], журналиста [Дидковская, 2014; Карасик, 2021], российского политика [Гуляева, 2011], видеоблогера [Мурзинова, 2023], однако профессиональная личность колумниста до настоящего времени не получала научного освещения в ракурсе лингвокультурного типажирования, несмотря на её выраженную национально-культурную специфику. Настоящее исследование заполняет эту исследовательскую нишу и тем самым вносит определённый вклад в систематизацию знания о значимых концептах в лингвокультуре как фрагментах национальной языковой картины мира.

Быстротечность меняющегося мира, в том числе и информационного, обуславливает модификацию познавательных потребностей, информационных и коммуникативных запросов читателей как «той части аудитории, которой не интересен контент, рассчитанный на потребителей продуктов массовой культуры» [Тепляшина, 2015, с. 51]. В условиях интенсифицирующего воздействия на человека со стороны медиа «ценностное измерение журналистики становится важным показателем ее соответствия коммуникативным интересам и запросам общества» [Сидоров, 2019, с. 11]. В сферу взаимодействий в информационно-коммуникативном пространстве включаются такие факторы, как ценностная обусловленность восприятия человеком информации, ценностные основания информационного выбора [Барышков, 2005]. Ценностный подход к информации проявляется в потребности читателя иметь доступ к вариативным точкам зрения, что обуславливает «значимость личного мнения, позиции, убеждений, мировоззрения как автора, так и читателя» [Тепляшина, 2015, с. 51]. Бесспорной формой выражения персонифицированной позиции в современном медийном пространстве выступает авторская колонка как формат медиатекста с авторскими индивидуальными характеристиками, с авторским ценностно-эмоциональным подходом, личностным взглядом [Куницына, 2016; Игнатова, 2021; Семенова и др., 2024; Ярцева, 2011; Feature..., 2002; Standring, 2007]. Становление жанровой формы колонки в англо-американской модели журналистики относится к началу 1900-х годов, когда тексты отдельных авторов стали размещаться в газете *The New York Tribune* на специально отведённых местах [Britannica, s.a.].

Номинация *columnist*, производная от слова *column* в значении «текст, размещённый в виде колонки», входит в употребление с 1915 года для обозначения автора, единолично ведущего колонку в каком-либо издании [Britannica, s.a.; EDEL, 1910]. Наличие в англоязычном языковом сознании номинаций для обозначения определённого типа журналистской деятельности

(*column writing, columning, columizing*), создаваемого информационного продукта (*column*), автора, единолично ведущего колонку (*columnist, column conductor, column writer*), свидетельствует о социокультурной значимости для британской и американской лингвокультуры колумнистики как совокупности текстов с авторскими индивидуальными характеристиками и колумниста, профессиональная деятельность которого носит интерпретирующий, а не презентационный характер в силу того, что колумнист сообщает не о фактах и событиях, а представляет их оценку, интерпретацию, выражая свою личностную позицию, ср.: *Unlike a journalist who reports facts and events, a columnist aims to persuade, entertain, or inform their readers with their opinions, anecdotes, or analysis* [Britannica, s.a.].

В изучении лингвокультурного типажа колумниста как особого типа лингвокультурного концепта будем опираться на алгоритм моделирования лингвокультурного типажа, включающий понятийные, образные и ценностные характеристики типизируемых языковых личностей, зафиксированные в языке [Карасик, 2005]. Когнитивно релевантные понятийные признаки, структурирующие сферу профессиональной деятельности колумниста, закреплены в англоязычных лексикографических источниках: *A columnist is a type of journalist who writes regular articles on a specific subject or theme, often expressing their personal views or perspectives* [LDCE, 1997]; *A columnist is a journalist who writes a regular series of articles for a particular newspaper or a magazine* [MEDAL, s.a.]; *A columnist is a person who writes for publication in a series, creating an article that usually offers commentary and opinions* [Britannica, s.a.]. Как явствует из словарных толкований, колумнист дефинируется двояко: как тип журналиста – *A columnist is a type of journalist*, и как «тот, кто регулярно ведёт персональную рубрику» – *a person who writes for publication in a series*. В вышеприведённых словарных дефинициях закреплены присущие типизируемой личности колумниста понятийные признаки ‘периодичность публикаций’, ‘определённая тематическая сфера публикаций’ – *regular articles on a specific subject or theme*. Концептуально значимым для типажа колумниста является понятийный признак ‘выражение личной позиции, субъективного мнения’ – *expressing their personal views or perspectives*. Понятийная составляющая лингвокультурного концепта *columnist* дополняется путём обращения к энциклопедическим источникам и специальной литературе. В англоязычных текстах, монографиях и научных статьях, посвящённых исследованиям медиа, высвечивается концептуальный признак ‘авторская интенция’, которая, в зависимости от жанра медиатекста, может быть направлена на убеждение, развлечение, информирование читателя о своём мнении – *a columnist aims to persuade, entertain, or inform their readers with their opinions* [Feature..., 2002].

В профессиональной сфере колумнистики в качестве колумнистов могут выступать не только штатные журналисты издания, но и эксперты в разных областях, известные публицисты, публичные люди, авторитетное мнение которых обладает воздействующим потенциалом [Niblock, 1996, p. 33]. В англоязычной колумнистике практикуется формат «гостевая колонка» (*Guest*

columns / Guest essay /Guest opinion /Contributors), авторами которой могут быть медиаперсоны, известные личности, политики. Например, в ходе президентских выборов 2024 года в газете *The New York Times* в разделе *OPINION* под рубрикой *Guest Essay* публикуется статья известного американского актёра, продюсера Джорджа Клуни под названием *I Love Joe Biden. But We Need a New Nominee* [Clooney, 2024] с призывом к действующему президенту отказаться от участия в президентских выборах.

Таким образом, языковая репрезентация понятийной составляющей типизируемой личности колумниста формирует представление об авторе, который периодически публикует материалы в рамках определённой тематической сферы, выражая в них личную позицию, представляя субъективное видение проблемы, реализуя при этом определённую коммуникативную цель.

Специфика перцептивно-образных признаков лингвокультурного типажа колумниста обусловлена тем, что основой моделирования данного концепта выступают не фикциональные личности, а конкретные представители профессиональной сферы колумнистики, имена которых представлены в англоязычных медиа рубрикой *COLUMNISTS* в тематических разделах с авторским контентом, вербализуемые как *OPINION* (*The Guardian*, *The New York Times*, *The Washington Post*), *VOICE* (*The Independent*), *COMMENT* (*The Times*). Список колумнистов (*regular columnists*) включает не только тех, кто регулярно освещает злободневные вопросы внешней и внутренней политики (*Opinion Columnists*), но и колумнистов, ведущих тематические рубрики *Lifestyle*, *Sport*, *Culture*, *Health and Wellness*, *Film*, *Music*, *Fashion*. Гиперссылки в рамках рубрики *OPINION* на профессиональные достижения, сферу интересов колумнистов свидетельствуют об их особой позиции в издании, ср.: *Jonathan Freedland is a Guardian columnist and the host of the Guardian's Politics Weekly America podcast. He is a past winner of an Orwell prize for journalism*. Персонифицированность автора воплощают элементы паратекста, включающие указание в заголовочном комплексе на авторский характер материала (*byline /columnist's name*). Паратекстом служит информация об образовании, статусе, должности, основных характеристиках профессиональной деятельности автора, о его включенности в редакционный коллектив в качестве колумниста. Имя автора в зависимости от издания может быть набрано курсивом или иным выделяющимся шрифтом над текстом и дублируется под текстом. В газете *The New York Times* предусмотрена опция самопрезентации колумниста, предполагающая указание сферы профессиональных интересов (*What I Cover*), профессионального пути и достижений (*My Background*), принципов журналистской этики (*Journalistic Ethics*). Образный аспект лингвокультурного типажа как обобщённое представление о внешности, возрастных, гендерных характеристиках типизируемой личности колумниста дополняется на основе фотографии, сопровождающей авторскую колонку.

Особое место в структуре типизируемой языковой личности отводится ценностям как наиболее фундаментальным характеристикам культуры.

Именно ценностный компонент признается детерминирующим фактором в формировании содержания лингвокультурного типажа [Дмитриева, 2006; Дмитриева, 2009; Карасик и др., 2005; Карасик, 2019; Карасик, 2021]. Ценностные признаки в структуре лингвокультурного типажа *columnist* неразрывно связаны с ценностным аспектом восприятия человеком информации, с ценностью коммуникативного взаимодействия, с индивидуально-авторской ценностной позицией колумниста. Активная роль человека в восприятии информации проявляется в избирательном подходе к ней, в идентификации информации в категориях «свое» – «чужое» [Барышков, 2005, с. 72]. Информация, полученная от колумниста, может стать для адресата «своей», то есть лично значимой, ценностной. Личность колумниста, ее взгляды, ценностные установки, интерпретация той или иной информации, положения дел могут выступать основой ориентации адресата в информационной среде.

Ценностная составляющая лингвокультурного типажа колумниста реконструируется в виде оценочных суждений, характеризующих ценностные ориентиры данного типажа и его оценку со стороны социума [Дмитриева, 2009]. В нашем исследовании основой оценочной категоризации профессиональных характеристик типизируемой личности колумниста послужили англоязычные тексты, в которых рефлексии подвергается жанр авторской колонки, описываются личностные и профессиональные качества колумниста, выводятся ценностные ориентации [Britannica s.a.; Edson, 1920; Feature..., 2002; Hinkle et al., 1952; Niblock, 1996; Standring, 2007].

Как явствует из текстового материала, авторская колонка признается самым персонифицированным, личностным форматом медийного текста – *Columns are the most personal of all newspaper writing* [Standring, 2007]; *The local column is the most revealingly personal thing in today's newspaper* [Hinkle et al., 1952]; *The successful columnist puts his own personality into his column* [Edson, 1920, p. 126]. *People get ideas about the personality of a columnist from seeing and hearing him* [Hinkle et al., 1952]. Вербализация колумниста и его качеств лексическими единицами *personal, personalized, personality* свидетельствует о релевантных социально значимых характеристиках типизируемой личности колумниста. Актуализация когнитивного признака ‘*personality*’ / ‘личность’ в контекстах выше ставит закономерный вопрос о том, что же представляет собой аксиологический потенциал личности колумниста, какова его социокультурная значимость? Словарные толкования лексемы *personality* концептуализируют личность как образ человека с присущей ему совокупностью индивидуальных качеств, свойств, которые выделяют человека среди других, делают его привлекательным и интересным: *the various aspects of a person's character that combine to make them different from other people* [CIDCE, 1995]; *the qualities of a person's character that make them interesting and attractive individuality* [MEDAL, s.a.]; *the quality of being clearly different from other people and having your own personal character* [LLA, 2002]. В структуре личностных качеств колумниста выделяются потребность и стремление к самовыражению: *The mere thought of starting a column is an*

expression of ego. One must believe he has something to say [Standring, 2007]. Специфика социальной самореализации колумниста заключается в стремлении воплотить в тексте свои ценностные установки, донести до адресата то, что важно, значимо, существенно для него самого. Колумнисту свойственно привлекать многообразие мнений и оценок, что, в свою очередь, привносит элемент непредсказуемости и вызывает интерес читателя, ср.: *So the columnists bring diversity of thought to their columns, which always brings in the element of unpredictability causing constant interest for the reader* [Hinkle et al., 1952]. Неотъемлемым признаком колумниста является индивидуальность и узнаваемость авторского стиля, языкового и стилистического своеобразия, выбор языковых средств для воплощения личностной позиции: *A column is a reflection of the writer's individual tastes and points of view* [Britannica, s.a.].

Признаки 'личность' и 'индивидуальность' являются концептуально и аксиологически значимыми в содержании лингвокультурного типажа колумниста, они формируют социально обусловленные характеристики как ценностные доминанты его профессиональной деятельности. Колумнист должен сформировать себя как чётко определённую личность, способную повести за собой читателей: *It is necessary for the column conductor to create a well-defined personality for himself before people will follow him regularly* [Hinkle et al., 1952]. Колумниста можно любить, ненавидеть, уважать, им можно восхищаться, и именно поэтому читатели воспринимают колумниста как личность, которая стоит за содержанием колонки, ср.: *Its conductor can be loved or hated, respected or disdained, admired or ardently disliked because readers think and talk of the writer as him and not it* [Ibid.]. В текстовом пространстве колумнист проявляет себя как сильная личность, обладающая интеллектуальными и эмоциональными ресурсами, авторитетом, что позволяет осуществлять средствами языка дискурсивную власть, ср.: *A strong personality, projected through a column, implies possession of authority, resources, and prerogatives* [Hinkle et al., 1952]. Колумнист наделён правом позиционировать определённую степень свободы при выражении субъективной оценочности и личностной пристрастности, ср.: *But most editors permit columnists to hold individual opinions in most fields* [Standring, 2007]. Мировоззренческая позиция колумниста позволяет управлять мнением, оценками читателей, формировать их картину мира, о чем свидетельствует оценка колумнистов как творцов общественного мнения, способных увидеть проблему с новой точки зрения, проникнуть в ее суть, предвидеть развитие ситуации: *Columnists are moulders of public opinion. They have perspective. They have insight* [Hinkle et al., 1952]. Вышесказанное свидетельствует о том, что в пространстве массовой коммуникации колумниста «характеризует особая «социальность» [Распопова, 2015, с. 152].

Одним из важных аспектов ценностной составляющей лингвокультурного типажа колумниста является умение выстраивать диалогические отношения с адресатом, проявляя при этом свою индивидуальность: *ability to project a personality that engages with an audience and establishes rapport with it* [Britannica, s.a.]. Словом *rapport* в психологии

обозначают установление контакта, который подразумевает взаимопонимание с человеком или группой людей, установление эмоциональной и интеллектуальной связи [БПС, б.г.]. Адресатность как конституирующий параметр колонки [Пром, 2022] предполагает ориентацию на прогнозируемого адресата в выборе темы, стиля, жанра, языковых средств, ср.: *In the column-writing, a columnist addresses directly to the readers and accomplishes the most desired effects, by attracting the attention of the readers* [Feature..., 2002]. Колумнист как носитель профессиональных ценностей способен формировать преданную читательскую аудиторию, воспринимающую авторские тексты как источник знания, как ключ к пониманию происходящего и как вид увлекательного чтения: *A columnist develops a following because his readers feel they can gain knowledge, insight and entertainment from reading his writings* [Feature..., 2002]. Некоторые колумнисты, выражая индивидуально-личностное отношение к обсуждаемой проблеме, преднамеренно провоцируют читателя на ответную реакцию, диалог, задавая в своих публикациях спорные, полемичные, дискуссионные суждения и оценки, позволяя читателю выработать свою собственную оценочную позицию или согласиться с предложенной позицией автора: *Some columnists deliberately adopt a strong or controversial view to provoke a reaction 33 from the reader* [Niblock, 1996].

К выражениям оценочного характера, помимо явных оценок, относятся стандарты, правила, образцы, ценности, которые выступают в качестве нормы, идеала. Все ценностные суждения «скрывают за собой общее утверждение, т.е. отсылку к некоторому стандарту» [Арутюнова, 1988, с. 52]. В исследовании природы оценки Н. Д. Арутюнова выделяет значимость идеализированной модели мира, которая «не столько познаётся, сколько создаётся» [Там же, с. 58], при этом отношение между миром и его идеализированной моделью окрашено разными модальностями [Там же, с. 59]. Как явствует из анализа эмпирического материала, ценностные признаки личности колумниста в идеализированной информационной картине мира структурируются и выводятся через модусы должного. Языковые единицы с семантикой модальности долженствования и необходимости – модальные глаголы *must, need, have to, should, ought*, прилагательное *necessary* формируют ценностные и нормативные суждения, в которых выражается «отношение к идеальной норме» [Арутюнова, 1988, с. 32]. Как известно, нормативные суждения описывают действительность, «какой она должна быть согласно «норме» [Шатуновский, 1996, с. 236]. Иначе говоря, нормативные утверждения эксплицируют прескриптивы профессиональной деятельности колумниста. В высказываниях с деонтической модальностью объектом оценки являются личные и профессиональные свойства, качества, обладание которыми характеризует колумниста как личность с индивидуальной мировоззренческой позицией.

В нормативных суждениях с модусами должного, структурирующих образ колумниста, инфинитив пропозиционального глагола обозначает ментальные, эмоциональные, коммуникативные действия, осуществление

которых необходимо для воплощения идеализированной модели колумниста. Ценностные характеристики личности колумниста включают уверенность в надёжности своей жизненной философии: *He must have confidence in the soundness of his philosophy of life* [Standring, 2007]. Жизненный опыт, психологическая зрелость необходимы для того, чтобы транслировать индивидуально-личностный взгляд, индивидуальные интенции, установки, мнения и оценки: *Columnists ought to have some maturity and experience in living before they start making over their friends and community* [Niblock, 1996]. Колумнист должен иметь смелость отстаивать свои убеждения: *It is well for a columnist to have the courage of his convictions* [Hinkle et al., 1952]. Уверенность колумниста в правоте своих мнений и суждений закреплена номинацией *opinionated columnist* [Britanica, s.a.]. Колумнист должен уметь объяснять и анализировать значимость и последствия событий и положений дел, осмыслять их в контексте своего мнения, обеспечивая тем самым информационную потребность читателя не в фактах, а в их интерпретации: *The columnist has to explain their significance and consequence by giving the background of an event* [Feature..., 2002]. Результатом интерпретирующей деятельности колумниста является новое знание, связанное с осмыслением, оценкой, выражением личностного отношения к происходящему.

В англоязычном профессиональном сообществе авторская колонка признается самым сложным видом медиатекста в силу того, что ее написание требует активизации мыслительной активности автора в форме размышления, осмысления, рассуждения, оценивания: *Column writing is the hardest type of writing of all because it requires good thinking* [Niblock, 1996]. При этом представленные в колонке авторский взгляд, точка зрения, мнение должны быть осмысленными, понятными, убедительными, а форма их подачи – интересной и увлекательной: *Your opinions must make sense, provide insight and be convincing. And you must do all this in an entertaining way* [Ibid]. Колумнист должен обладать такими ценностными качествами, как умение слушать, быть наблюдательным, иметь хорошую память и чувство юмора: *A columnist should have a sense of humor plus ability to keep it in restraint, He should have an observing eye, a listening ear, a good memory* [Feature..., 2002].

Заключение (Conclusion)

Итак, изучение языковой репрезентации феномена колумниста позволило выявить лингвокультурную специфику типизируемой личности колумниста, определить ее место в классификации лингвокультурных типажей, установить оценочные приоритеты в понимании роли колумниста в пространстве современного англоязычного медиадискурса. Результаты исследования вносят вклад в систематизацию знаний о значимых лингвокультурных типах в британской и американской национальных картинах мира. Перспектива дальнейших изысканий типизируемой личности колумниста видится в анализе и осмыслении проявления в текстах авторской колонки речевого и стилистического своеобразия для воплощения личностной позиции, индивидуальных интенций, мнений и оценок.

Библиографический список

- Аблаева А. Я.* Лингвокультурный типаж американского литературного критика-рецензента: дискурсивные формулы // Языки и культуры: функционально-коммуникативный и прагматический аспекты. Сб. статей по материалам II Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти С. Г. Стерлигова. Н. Новгород, 2021. С. 7-10. EDN VQVZOU.
- Арутюнова Н. Д.* Типы языковых значений: Оценка. Событие. Факт. М.: Наука, 1988. 341 с. EDN YKBSRJ
- Барышков В. П.* Аксиология личностного бытия. М.: Логос, 2005. 192 с. EDN VYHRNR
- БПС* – Большой психологический словарь [Электронный ресурс]. – URL: <https://psychological.slovaronline.com/search?s=%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82> (дата обращения: 20.01.2025).
- Гуляева Е. В.* Лингвокультурный типаж «политик» в современном российском дискурсе // Политическая лингвистика. 2011. № 3(37). С. 184-187. EDN OHIESD.
- Дидковская В. Г.* Лингвокультурный типаж «журналист» в словаре и массовой литературе // Проблемы истории, филологии, культуры. 2014. 3 (45). С.110-112. EDN SPGXTD.
- Дмитриева О. А.* Лингвокультурный типаж с позиции культурных ценностей // Вестник Волгоградского государственного педагогического университета. 2006. №2 (15). С. 29-35. EDN HTMLAP.
- Дмитриева О. А.* Ценностные характеристики в структуре лингвокультурного типажа // Система ценностей современного общества. 2009. №9. С. 55-59. EDN RUCXGL.
- Дубровская Е. М.* Современное состояние теории лингвокультурных типажей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Теории языка, семиотика, семантика. 2024. Т. 15. №2. С. 394-414. DOI 10.22363/2313-2299-2024-15-2-394-414. EDN PFWYGGZ.
- Игнатова И. Б.* Колумнистика в современном публицистическом дискурсе // Наука и школа. 2021. № 1. С. 22-28. DOI 10.31862/1819-463X-2021-1-22-28. EDN FQUZSC.
- Карасик В. И.* Лингвокультурный типаж // Язык. Текст. Дискурс. 2007. № 5. С. 86-89. EDN RUNNFB.
- Карасик В. И.* Лингвокультурный типаж: к определению понятия / В. И. Карасик, О. А. Дмитриева // Аксиологическая лингвистика: лингвокультурные типажи. Сборник научных трудов. Волгоград, 2005. С. 5-25. EDN WLZOJX.
- Карасик В. И.* Политический эксперт как лингвокультурный типаж // Актуальные проблемы стилистики. 2019. №5. С. 87-95. EDN CYWNLK.
- Карасик В. И.* Языковая пластика общения: монография. М.: Гнозис, 2021. 536 с. EDN AIOGMR.
- Карасик В. И.* Языковой круг: личность, концепты, дискурс. Волгоград: Перемена, 2002. 477 с. EDN UGQAMP.
- Куницына Н. В.* Авторская колонка как тип медиатекста // Жанры и типы текста в научном и медийном дискурсе: Межвузовский сборник научных трудов. Орёл: Орловский государственный институт искусств и культуры, ООО «Горизонт», 2016. Вып. 14. С. 99-109. EDN YJNKTI.
- Мурзинова И. А.* Языковые средства реализации стратегий онлайн-коммуникации лингвокультурным типажом «видеоблогер» в англоязычном медийном дискурсе // Известия Волгоградского государственного социально-педагогического университета. Филологические науки. 2023. 4(4). С. 45-55. EDN QNJZOA.
- Нерозник В. П.* Лингвистическая персонология: к определению статуса дисциплины // Язык. Поэтика. Перевод: Сборник научных трудов Московского государственного лингвистического университета. 1996. № 426. С. 112-116.
- Пром Н. А.* Диалогизация дискурса и жанра в медиа // Жанры речи. 2022. Т. 17, № 2 (34). С. 146–155. DOI 10.18500/2311-0740-2022-17-2-34-146-155. EDN EYLJCP.

- Распопова С. С.* Автор как реальный человек и образ автора в медиатексте // Вопросы теории и практики журналистики. 2015. Т. 4, № 2. С. 148-159. DOI 10.17150/2308-6203.2015.4(2).149-158. EDN TOMAFT.
- Рыжикова М. Д.* Понятийно-концептуальная специфика лингвокультурного типажа «литературный рецензент» // Современная филология. Социальная и национальная вариативность языка и культуры. Материалы VII Международного научного конгресса. Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. С. 365-369. EDN TDDYOC.
- Семенова Т. И.* Авторская колонка в англоязычном медиадискурсе: коммуникативно-прагматические аспекты / Т. И. Семенова, А. Н. Дутов // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. №4 (43). С. 140-151.
- Сидоров В. А.* Журналистика как ценность в «цифровой» среде // Вопросы журналистики. 2019. №5. С. 5-16. DOI 10.17223/26188422/5/1. EDN BEPPOA.
- Тепляшина А. Н.* Жанровая модель авторской журналистики // Журналистский ежегодник. 2015. № 4. С. 49-53. DOI 10.17223/23062096/4/11. EDN VPINYD.
- Шатуновский И. Б.* Семантика предложения и нерелевантные слова (значение, коммуникативная перспектива, прагматика). М.: Языки русской культуры, 1996. 400 с.
- Ярцева С. С.* Колумнистика: история возникновения и перспективы развития: специальность 10.01.10 «Журналистика»: автореф. дис. ... канд. филол. наук / С. С. Ярцева, Воронеж. 2011. 22 с. EDN ZOJGUZ.
- Britannica* – Encyclopedia Britannica, 8th ed. // [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.britannica.com/articles/id=2533> (дата обращения: 21.02.2024).
- CIDCE* – Cambridge International Dictionary of Current English. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. 1773 p.
- Clooney G.* I Love Joe Biden. But We Need a New Nominee // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nytimes.com/2024/07/10/opinion/joe-biden-democratic-nominee.html> (дата обращения: 10.07.2024).
- EDEL* – An Etymological Dictionary of the English Language. Oxford: Clarendon Press, 1910. 536 p.
- Edson C. L.* The Gentle Art of Columning: A Treatise On Comic Journalism. New York: Brentano's, 1920. 177 p.
- Feature & Column Writing* // [Электронный ресурс]. – 2002. URL: <https://ia801306.us.archive.org/18/items/IntroductionToMassCommunicationMCM101Handouts/Feature%20%26%20Column%20Writing%20-%20MCM514%20> (дата обращения: 08.09.2024).
- Hinkle O. & Henry J.* How to Write Columns. Ames, IA: Iowa State College Press. 1952. 300 p.
- LDCE* – Longman Dictionary of Contemporary English. Third Edition. Essex: Longman Group Ltd., 1997. 1680 p.
- LLA* – Longman Language Activator. Personal Educated Limited. 2002. 1530 p.
- MEDAL* – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners // [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.macmillandictionary.com/> (дата обращения: 08.10.2024).
- Niblock S.* Inside Journalism. London: Blueprint, 1996. 222 p.
- Standring S.* The Art of Column Writing. Oak Park: Marion Street Press. 2007. 200 p.

References

- Ablaeva A. Ya.* (2021). Linguocultural type of American literary criticism-reviewer: discourse formulas. *Languages and cultures: functional-communicative and pragmatic aspects. Sat. articles based on the materials of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of S. G. Sterligov.* N. Novgorod, 2021. P. 7-10. (In Russian).
- Arutyunova N. D.* (1988). Types of linguistic meanings: Evaluation. Event. Fact. Moscow: Nauka, 1988. 341 p. (In Russian).

- Baryshkov V. P.* (2005). *Axiology of personal existence*. Moscow: Logos, 2005. 192 p. (In Russian).
- BPS* – Large psychological dictionary. Available at: <https://psychological.slovaronline.com/search?s=%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82> (accessed 20 January 2025). (In Russian).
- Britannica* (2009) – *Encyclopaedia Britannica*, 8th ed. Available at: <http://www.britannica.com/articles/id=2533> (accessed 21 February 2024).
- CIDCE* (1995) – *Cambridge International Dictionary of Current English*. Cambridge: *Cambridge Univ. Press*, 1995. 1773 p.
- Clooney G.* I Love Joe Biden. But We Need a New Nominee. Available at: <https://www.nytimes.com/2024/07/10/opinion/joe-biden-democratic-nominee.html> (accessed 10 July 2024).
- Didkovskaya V. G.* (2014). Linguistic-cultural type “journalist” in a dictionary and mass literature. *Problems of history, philology, culture*. 3 (45). P.110-112. (In Russian).
- Dmitrieva O. A.* (2006). Linguocultural type from the perspective of cultural values. *Ivzestia of the Volgograd State Pedagogical University*. 2(15): 29-35. (In Russian).
- Dmitrieva O. A.* (2009). Value characteristics in the structure of a linguocultural type. *The value system of modern society*. 9: 55-59. (In Russian).
- Dubrovskaya E. M.* (2024). The Current State of the Theory of Linguocultural Types. *RUDN Journal of Language Studies, Semiotics and Semantics*. 15 (2): 394-414. (In Russian).
- EDEL* (1910). – *An Etymological Dictionary of the English Language*. Oxford: *Clarendon Press*, 1910. 536 p.
- Edson C. L.* (1920). *The Gentle Art of Columning: A Treatise On Comic Journalism*. New York: Brentano's, 1920. 177 p.
- Feature & Column Writing* (2002). Available at: <https://ia801306.us.archive.org/18/items/IntroductionToMassCommunicationMCM101Handouts/Feature%20%26%20Column%20Writing%20-%20MCM514%20> (accessed 08 September 2024).
- Gulyaeva E. V.* (2011). Lingo-cultural type “russian politician”. *Political Linguistics*. 3 (37): 184-187. (In Russian).
- Hinkle O. & Henry J.* (1952). *How to Write Columns*. Ames, IA: *Iowa State College Press*, 1952. 300 p.
- Ignatova I. B.* (2021). Columnism in modern journalistic discourse. *Science and School*. 1: 22-28. (In Russian).
- Jarceva S. S.* (2011). Columnism: history of origin and development prospects. Autoref. diss. ...cand. philol. sciences: 10.01.10. Voronezh, 2011. 22 p. (In Russian).
- Karasik V. I.* (2002). *Language circle: personality, concepts, discourse*. Volgograd: *Peremena*, 2002. 477 p. (In Russian).
- Karasik V. I.* (2007). Linguocultural type. *Language. Text. Discourse*. 5: 86-89. (In Russian).
- Karasik V. I.* (2019). Political expert as a linguocultural type. *Actual Problems of Stylistics*. 5: 87-95. (In Russian).
- Karasik V. I.* (2021). *Linguistic plasticity of communication: monograph*. Moscow: *Gnozis*, 2021. 536 p. (In Russian).
- Karasik V. I., Dmitrieva O. A.* (2005). Linguocultural type: to the definition of the concept. *Axiological linguistics: linguocultural types. Collection of scientific works*. Volgograd, 2005. P. 5-25. (In Russian).
- Kunicyna N. V.* (2016). Author's column as a type of media text. *Genres and types of text in scientific and media discourse*. 14: 99-109. (In Russian).
- LDCE* (1997) – *Longman Dictionary of Contemporary English*. Third Edition. Essex: *Longman Group Ltd.*, 1997. 1680 p.
- LLA* (2002). – *Longman Language Activator*. Personal Educated Limited. 2002. 1530 p.

- MEDAL* – Macmillan English Dictionary for Advanced Learners. Available at: <http://www.macmillandictionary.com/> (accessed 08 October 2024).
- Murzinova I. A. (2023). The linguistic means of the implementation of the strategies of the online communication by the linguocultural character type “vlogger” in the English media discourse. *Bulletin of the Volgograd state sociopedagogical university. Philology*. 4 (4): 45-55. (In Russian).
- Neroznak V. P. (1996). Linguistic personology: towards determining the status of the discipline. *Language. Poetics. Translation: Collection of scientific works of Moscow State Linguistic University*. 426: 112-116. (In Russian).
- Niblock S. (1996). *Inside Journalism*. London: *Blueprint*, 1996. 222 p.
- Prom N. A. (2022). Dialogization of discourse and genre in media. *Speech Genres*. 17-2(34): 146–155. (In Russian).
- Raspopova S. S. (2015). Author as a real man and the author’s image in the media texts. *Theoretical and practical issues of journalism*. 4(2): 148-159. (In Russian).
- Ryzhikova M. D. (2022). Conceptual specificity of the linguocultural type “literary reviewer”. *Modern philology. Social and national variability of language and culture. Proceedings of the VII International Scientific Congress*. Simferopol', 2022. P. 365- 369. (In Russian).
- Semenova T. I., Dutov A. N. (2024). Column writing in English media discourse: communicative and pragmatic aspects. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 4 (43): 140-151. (In Russian).
- Shatunovskiy I. B. (1996). Sentence semantics and non-referential words (meaning, communicative perspective, pragmatics). Moscow: *Languages of Russian culture*, 1996. 400 p. (In Russian).
- Sidorov V. A. (2019). Journalism as a Value in a Digital Environment. *Russian Journal of Media Studies* 5: 5-16.
- Standring S. (2007). *The Art of Column Writing*. Oak Park: *Marion Street Press*. 2007. 200 p.
- Tepljashina A. N. (2015). Genre model of author journalism. *Journalist Yearbook*. 4: 49-53. (In Russian).

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПТА «ЛИМИТА» В ПЕСЕННОМ ДИСКУРСЕ

*Вера Павловна Новикова,
orcid.org/0000-0002-1004-8097,
кандидат филологических наук, доцент
Московский государственный университет
технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ),
ул. Земляной Вал, д. 73
Москва, 109004, Россия
e-mail: veranovik@mail.ru*

*Юлия Петровна Ткачук,
orcid.org/0009-0006-9739-5361,
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
ул. Мясницкая, д. 20
Москва, 101000, Россия
e-mail: juliatkachuk00@gmail.com*

Аннотация. В статье проводится анализ модификаций концепта «лимита» в контексте песенного дискурса. Для решения данной задачи были использованы метод анализа словарных дефиниций и индуктивное выделение фреймов, дискурсивно-стилистический анализ, концептуальный анализ, описание когнитивной метафоры, контекстуальная интерпретация. Исследование выявляет расширение концепта через несколько ключевых фреймов, включая социальный, экономический, эмоциональный, исторический и фрейм «миграция». Каждый фрейм позволяет рассмотреть концепт «лимита» с разных точек зрения, раскрывая его социальные, экономические, эмоциональные, исторические и миграционные аспекты. Анализ концепта «лимита» служит примером того, как песенный дискурс может отражать и формировать общественные стереотипы. Исследование показывает, что песенный дискурс не только развлекает, но и выполняет важную социальную функцию, способствуя формированию общественного мнения и идентичности.

Ключевые слова: концепт, антиконцепт, фрейм, песенный дискурс, лингвокультурология, когнитивная лингвистика, функции дискурса.

«LIMITA» CONCEPT EVOLUTION IN SONG DISCOURSE

*Vera P. Novikova,
orcid.org/0000-0002-1004-8097,
candidate of Philological Sciences, Associate Professor
K.G. Razumovsky Moscow State University
of Technologies and Management (the First Cossack University),
73, Zemlyanoy Val street
Moscow, 109004, Russia
E-mail: veranovik@mail.ru*

*Iuliia P. Tkachuk,
orcid.org/0009-0006-9739-5361,
Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya str.
Moscow, 101000 Russia
E-mail: juliatkachuk00@gmail.com*

Abstract. The article analyses the modifications of the concept «limita» in the context of song discourse. To solve this problem, the method of analysis of dictionary definitions and inductive frame allocation, discursive and stylistic analysis, conceptual analysis, description of cognitive metaphor, and contextual interpretation were used. The study reveals the expansion of the concept through several key frames, including social, economic, emotional, historical and «migration» ones. Considering the given concept from different points of view, the frame analysis reveals its social, economic, emotional, historical and migration aspects. The analysis of the concept «limita» serves as an example of how song discourse can reflect and shape social stereotypes. The study shows that song discourse not only entertains, but also performs an important social function, contributing to the formation of public opinion and identity.

Keywords: concept, anti-concept, frame, song discourse, linguoculturology, cognitive linguistics, functions of discourse.

Введение

Понятие «песенный дискурс» появилось относительно недавно, оно предполагает «особый вид коммуникации как процесс языковой деятельности посредством вокальных произведений» [Саяхова, 2016, с. 75]. Песенный дискурс представляет собой «многоаспектное комплексное явление», все стороны которого невозможно «описать с позиции только одного подхода» [Янченко, 2019, с. 4], поскольку это «сложное единство вербального и невербального компонентов», единство «лингвистической и экстралингвистической составляющих» [Дунышева, 2015, с. 192]. А.И. Михайлова определяет песенный дискурс как «сложный развлекательно-идеологический продукт современной массовой культуры», который близок к медиадискурсу, поскольку он тоже включает в себя музыкальные и визуальные компоненты, обладает высоким уровнем изменчивости и «может участвовать в формировании картины мира индивида», но при этом «сам является отражением некоторых социальных процессов» [Михайлова, 2021, с. 84].

В песенном дискурсе доминируют монолог и разговорно-обиходный стиль языка, черты бытового общения [Михайлова, 2021; Пашкова, 2018; Радченко, 2020; Nicholls, 2007]. М.А. Потапчук пишет о том, что подобный вид коммуникации носит «созидающе-преобразующий и эмоциональный характер», связан со «смыслообразованием» и исходит опосредованно от автора и непосредственно от исполнителя. При этом «смысл, который вербализуется в песне, всегда подлежит интерпретации», поскольку «он выводится адресатом исходя из ситуации имеющихся у него общекультурных знаний», в то время как каждый песенный жанр задает свои установки, поскольку «в качестве базовых характеристик песенного дискурса рассматриваются коммуникативная ситуация, ее жанровое воплощение и типичные концептуальные структуры» [Потапчук, 2013].

Песенный дискурс обладает уникальными свойствами, которые

позволяют ему воздействовать на слушателей различными способами. Слова песен, наряду с музыкальными аранжировками, передают оценку автора (субъективная модальность) и заставляют слушателей переживать сильные эмоции. Следовательно, одной из ключевых функций песенного дискурса является *эмотивная* функция. В работах зарубежных исследователей последних лет большое внимание уделяется анализу того, как музыкальные и текстовые элементы взаимодействуют, создавая уникальные художественные значения и эмоциональные отклики у слушателей [Hennion, 2021; Meyer, 2022]. *Конативная* функция музыки заключается в ее способности воздействовать на слушателя, побуждая его не только к эмоциональным, но и поведенческим реакциям. *Коммуникативная* (референтная) функция песенного дискурса заключается в передаче сообщений и идей. Тексты песен могут содержать различные сюжеты и размышления, обсуждать социальные проблемы и личные истории. Иными словами, песни являются формой коммуникации, позволяющей передавать сложные идеи в доступной и запоминающейся форме. *Прагматическая* функция песенного дискурса связана с практическими аспектами влияния песен на язык и поведение людей. Она подразумевает способность музыки формировать у слушателей определенные моральные и этические убеждения, а также влиять на социальные отношения и культурные контексты [Frith, 2019; Kahn, 2020]. В связи с этим Терри Иглтон рассматривает песенный дискурс как важный инструмент для анализа культурных и исторических процессов, отражающих ценности и проблемы общества [Иглтон, 2010]. *Фатическая* функция песенного дискурса связана с социальными и межличностными аспектами коммуникации, поскольку песни способны создавать ощущение единства среди слушателей, а также укреплять отношения в общественных группах и сообществах посредством диалога [Tagg, 2018]. Благодаря стилистическим приемам песни воплощают яркие образы, обогащая культурное и художественное наследие, в чем выражается их *поэтическая* функция [Ambrosch, 2017; Дуняшева, 2015].

Песенный дискурс «не только может транслировать культурные ценности по отношению к слушателю, но и в некоторых случаях способен навязывать *антиценности*, а прослушивание определенных композиций формирует у слушателя отдельную концептосферу» [Янченко, 2019, с. 4-5]. В песенных текстах лингвисты имеют возможность выделить определенные *фреймы* – когнитивные модели, которые создаются на основе стереотипов музыкальных жанров и стилей. Жанр определяется не только характером мелодии и словами, но и прагматической значимостью и социальным контекстом песни [Морозова и др., 2022]. Тем не менее, определение жанра является достаточно трудной задачей в песенном дискурсе, поскольку процесс его восприятия индивидуален и субъективен, как и процесс создания самой песни. Базовое деление песенного дискурса на жанры подразумевает три категории: рэп, рок и поп. Тематическое своеобразие каждого из жанров выступает средством актуализации функций песенного дискурса [Шевченко, 2009].

Многие исследователи подтверждают, что «мелодический компонент песенного дискурса преобладает над вербальным», тем не менее, песенный дискурс не может быть представлен в отрыве от его вербального компонента, поскольку именно песенный текст является объектом исследования лингвистики [Радченко, 2020, с. 294]. Н.С. Найденова и А.А. Мурадян в своей статье обращают внимание на то, что для изучения песенного дискурса должен быть использован именно дискурс-анализ (иными словами, метод анализа связной речи) [Найденова и др., 2013]. В своей работе, посвященной англоязычному молодежному песенному дискурсу, Шевченко О.В. доказывает, что он «реализуется сложной лингвосомиотической системой, включающей вербальные, невербальные и знаки смешанного типа, последние совмещают акциональный и вербальный компоненты (ритуал – концерт)» [Шевченко, 2009, с. 5].

Понятия «концепт» и «дискурс» как ключевые понятия современной полипарадигмальной лингвистики находятся в отношениях взаимосвязи и взаимообусловленности [Потапчук, 2014, с. 30]. С одной стороны, конкретный тип дискурса предопределяет особенности языковой объективации концепта, полноту экспликации заключенных в нем знаний об объектах окружающего мира, их связях и отношениях. С другой стороны, некоторые концепты выступают основой формирования дискурса, являются дискурсообразующими [Прибылова, 2011, с. 5]. Концепт – это «означенный в языке национальный образ, идея, символ, осложненный признаками индивидуального представления». Неотъемлемой составляющей концепта является его образность [Пименова, 2013]. По мнению С.Г. Воркачева, концепт в лингвокультурологических текстах стоит рассматривать как вербализованный культурный смысл, который, в свою очередь, является лингвоконцептом – семантической единицей «языка культуры» [Воркачев, 2009].

Концептуальный корпус языка имеет в своем составе не только положительно, но и отрицательно маркированные ментальные единицы – *антиконцепты*, которые являют собой лингво-психо-социокультурные феномены, объективированные языковыми средствами и отражающие определенную антиценность наднационального, национального или индивидуально-авторского порядка. Типологически – в зависимости от наличия/отсутствия, эксплицитности/имплицитности, степени выраженности положительного противочлена, а также от своей включенности/невключенности в мезоконцепт (вышестоящую инстанцию, обобщающую идею) – антиконцепты могут быть партонимическими, стигматическими и эссенциальными [Приходько, 2012, с. 44]. Крайним случаем стигматического использования лингвокультурного кода являются обценные антиконцепты, объективируемые своеобразными стилистически маркированными (вплоть до невхождения в словарь) лексическими единицами, связанными с нарушением табу [Левин, 1998]. В определенном смысле стигматический антиконцепт актуализируется там, где возникают определенные противоположности в антропосфере – например, применительно к людям с иными свойствами, взглядами, убеждениями,

вкусами, т. е. с отклонениями от усредненного эталона. В стигматическом пространстве лингвокультуры обценные единицы бытуют устойчиво и прочно, что обусловлено преемственностью определенных социальных конвенций [Приходько, 2012, с. 45].

Материал и методы исследования

Цель исследования заключается в установлении модификаций, которым подвергается содержательный объем концепта «лимита» в песенном дискурсе. Для решения задачи были использованы метод анализа словарных дефиниций и индуктивное выделение фреймов, дискурсивно-стилистический анализ, концептуальный анализ, описание когнитивной метафоры и контекстуальная интерпретация. В качестве материала для исследования были взяты тексты песен русскоязычных исполнителей, временной отрезок – период с конца 80-х годов прошлого столетия по сегодняшний день. Выбор композиций производился преимущественно с опорой на номинативно-контекстуальный критерий, учитывалось наличие в тексте упоминаний непосредственных лексем-вербализаторов рассматриваемого концепта – «лимита», «лимитчики». Во время поиска релевантных для исследования текстов композиций были использованы такие интернет-ресурсы с поиском по ключевым словам, как «Text-You.ru»²³ и «Genius.com»²⁴. Таким образом, в ходе исследования были проанализированы следующие произведения в хронологическом порядке:

1. «Воробьи» (А. Новиков, 1996).
1. «Лимита» (группа «Пилот», 2002 год).
2. «Небо в алмазах» (группа «312», 2005 год).
3. «Лимита» (группа «Шумные и угрожающие выходки», 2018 год).
4. «Лимита» (группа «Молодость внутри», 2020 год).

Результаты исследования и обсуждение

Приступая к анализу стигматического концепта «лимита», мы должны выявить понятийные признаки на основе метода анализа словарных дефиниций (в нашем случае анализу подвергаются все возможные толковые словари). Среди словарных дефиниций концепта «лимита» можно отметить повсеместно встречающиеся пометы «собир.», «прост.», «разг.-сниж.». В «Толковом словаре русской разговорной речи» под редакцией Л. Крысина²⁵ впервые появляется помета «пренебр.», а в «Толковом словаре русского общего жаргона» под редакцией Л. Розиной²⁶ – помета «презр.» и комментарий о том, что слово образовано по аналогии с существительными «наркота» и «беднота». Не менее важны для нас коннотации, указанные в этом словаре:

1. «Бесправие, бедность, нищета, грязь, враждебное отношение окружающих»;

²³Text-You.ru // [Электронный ресурс]. – URL: <https://text-you.ru> (дата обращения: 12.07.2024).

²⁴Genius // [Электронный ресурс]. – URL: <https://genius.com> (дата обращения: 12.07.2024).

²⁵Толковый словарь русской разговорной речи. Вып. 2: К – О / Руководитель авторского коллектива: Л. Крысин. М.: Издательский дом ЯСК, 2017. 864 с.

²⁶Слова, с которыми мы все встречались: Толковый словарь русского общего жаргона / О. П. Ермакова, Е. А. Земская, Р. И. Розина; под общ. рук. Р. И. Розиной. М.: Азбуковник, 1999. 273 с.

1. «Богатство и успех, добытые нечестным путем, роскошь и безвкусица: из грязи в князи».

Приведенные коннотации выражают субъективную отрицательную оценку по отношению к называемому субъекту, что является основным признаком пейоративной лексики.

В Национальном корпусе русского языка зафиксировано 36 случаев²⁷ употребления слова «лимита», анализируя которые, мы можем прийти к выводу, что слово используется не просто для выражения пренебрежения, а в качестве оскорбления, несет яркую негативную окраску и не имеет случаев употребления в положительном или нейтральном контексте, поэтому мы можем условно добавить к уже имеющимся словарным пометам новую – «уничиж.».

Исследование этимологии слова-репрезентанта концепта – важнейший этап в изучении актуальности его признаков для языковой картины мира. Говоря об историческом происхождении слова и вновь обращаясь к «Толковому словарю русского общего жаргона» под редакцией Л. Розиной, важно отметить, что слово «лимита» происходит от понятия «лимит прописки» (форма привлечения рабочей силы на промышленные предприятия в крупных городах с предоставлением прописки), которое связано с политикой СССР в 1950-80-х годах. Предпосылки к формированию негативных коннотаций сложились в связи с тем, что из-за нехватки низкоквалифицированных рабочих (москвичи отказывались заниматься тяжелым физическим трудом) лимитчикам прощались грубые нарушения общественного порядка, такие как драки и пьянство, чтобы руководителям предприятий не пришлось выселять приезжих из общежитий и терять рабочую силу, в острой нехватке которой находились московские заводы. Тем не менее, первый случай употребления слова, зафиксированный в Национальном корпусе русского языка, датируется 1987 годом, а в качестве «пики» использования слова в исследуемом нами значении мы можем отметить 1996 и 2010 года, когда политики лимита прописки уже не существовало. Из этого мы также можем сделать вывод о том, что слово «лимита» изначально не несло негативной оценки и использовалось как разговорный вариант слова «лимитчики», но со временем, уже после распада СССР, резко начало приобретать отрицательные коннотации, а ближе к 2016 стало уходить в пассивный запас лексики русского языка, сменяясь другими синонимами («понаехавшие», «гастарбайтеры» и т. д.). Для определения других коннотаций, формирующих стереотипы, проведем анализ семантического окружения концепта.

Семантическое окружение концепта «лимита» (на основе примеров из Национального корпуса русского языка) состоит из таких прилагательных, как *разнесчастная, типичная, интеллектуальная, безымянная, деревенская, городская, печально знаменитая, московская, английская, еврейская; местоимений: какая-то, всякая, другая, своя; глаголов: вылезла фиг знает*

²⁷ Национальный корпус русского языка (по состоянию на 30.12.2023) [Электронный ресурс]. – URL: <https://ruscorpora.ru> (дата обращения: 30.12.2023)

откуда, едет за перспективами, мотается на электричках, дышать от лимиты нечем, запретить лимиту, знаем вас, вы у нас еще попляшете. Помимо этого, встречаются существительные, используемые в контекстах в качестве синонимов к слову «лимита»: *девчонка из провинции, безвестные лузеры, гопари, эвфемизм бескультурья, аферистка, другая форма урбанизации.*

Исследуемые контексты демонстрируют жесткую социальную категоризацию, построенную на стереотипах и предрассудках. Оппозиция «я»/«они» или «свой»/«чужой», являющаяся центральной для языка вражды, с использованием лейбла «лимита» трансформируется в дихотомию «москвичи»/«лимита», несмотря на то, что изначально работа по лимиту прописки подразумевала переезд в любой из крупных городов. При этом ни «москвичи», ни «лимита» в этом противопоставлении не относятся к конкретному этносу, а говорящим подразумевается, что все участники речевого конфликта являются жителями России, но во внимание не берется их принадлежность к какому-либо народу, ключевым признаком исключения является город рождения и город прописки, поэтому слово «лимита» не может быть отнесено непосредственно к этническим пейоративам. А.В. Гладилин относит слово «лимита» к дерогативам и этнофолизмам, но отмечает, что речь идет не о «выходцах из Таджикистана и Узбекистана», а о жителях «Нечерноземья, Поволжья, Урала, Сибири и т. п., и большинство из них составляли русские» [Гладилин, 2013, с. 22].

Подводя итоги, из контекстов Национального корпуса русского языка мы можем выделить следующие коннотации (дифференциальные и потенциальные семы) слова «лимита»:

- тяжелая и низкооплачиваемая работа;
- пьянство;
- драки;
- окраина города;
- общежитие;
- надежда на московскую прописку;
- фиктивный брак ради прописки;
- замещение местного населения;
- борьба населения с лимитой.

Рассмотрим, какие символические и ценностно-оценочные признаки концепта «лимита» остаются актуальными и в рамках каких фреймов происходит ассоциативно-смысловое развертывание этого концепта в песенном дискурсе.

Как уже было отмечено, пик использования слова приходится на 80-ые и 90-ые годы. Вышедшая в 1996 году песня Александра Новикова «Воробьи» стала хитом в эпоху экономических и политических реформ. Женщины легкого поведения («проститутки на Тверской») здесь представлены двояко: с одной стороны, они изображаются как «замерзшие воробьи», что символизирует уязвимость, незащищенность и страдания, а с другой – как охотницы за легкими деньгами («Где бы выловить, чтоб денег три мешка? // Поделили, всем хватило

бы расцвеств»). Фраза «И красива, и собой не лимита» указывает на то, что женщина легкого поведения обладает определенным социальным статусом, отличающим ее от маргинализированной группы «лимитчиц», а упоминание о том, что «с артистами могла бы покутить», подчеркивает, что, несмотря на свою профессию, проститутка могла иметь потенциал для более успешной жизни, если бы обстоятельства сложились иначе. «Лимита» же в этом контексте обозначает тех, кто не имеет таких возможностей и остается в рамках низкооплачиваемой и маргинализированной работы. Критика столичной жизни также играет значительную роль в формировании концепта «лимита». Лирический герой иронично описывает «столичную презлую суету», что указывает на разочарование жизнью в Москве. Это разочарование подчеркивает, что «лимита» – это не только социальный ярлык, но и символ утраты надежд и мечтаний, связанных с переездом в столицу. Автор пытается иронизировать над тем, что, перестав быть внешне «лимитой», героиня, тем не менее, оказалась в еще более низком социальном положении, став проституткой. Это подчеркивает парадокс: несмотря на то, что героиня избавилась от стереотипов, связанных с «лимитчицами», ее новая жизнь оказывается не менее маргинализированной и даже более уничижительной. Таким образом, в песне Александра Новикова «Воробьи» концепт «лимита» разворачивается в рамках фреймов социальной уязвимости, маргинализации и утраты надежд.

Песня «Лимита» группы «Пилот» была выпущена в 2002 году в рамках альбома «Наше небо». В тексте песни концепт «лимита» выступает как символ социальной маргинализации, олицетворяя людей, находящихся на периферии общества, мигрантов или рабочих, которые не вписываются в традиционные социальные нормы. Фраза «у таких, как мы, защита одна» подчеркивает общность и солидарность среди тех, кто сталкивается с предвзятостью и дискриминацией. Упоминание «сказочных стран» и «чудес совпадения» («Спят, уткнувшись носом в хвосты // Подоконников сторожа // Им буду петь я про сказочные страны // Про чужие берега») указывает на то, что люди, находящиеся в сложных условиях, часто прибегают к фантазиям как к способу справиться с действительностью, а образ весны, которая «обогреет и накормит», символизирует надежду на лучшее будущее, что может быть интерпретировано как стремление к переменам и улучшению жизни, несмотря на трудности, с которыми сталкивается «лимита». Повторение слова «лимита» в рефрене делает этот концепт не только ярлыком, но и символом единства и общей судьбы, создавая чувство принадлежности к конкретной группе («У таких как мы защита одна // Обогреет и накормит весна – лимита»). Таким образом, концепт «лимита» становится не только символом маргинализации, но и символом общей судьбы в рамках эмоционального фрейма стремления к лучшему будущему.

В песне группы «312» «Небо в алмазах» (2006) концепт «лимита» символизирует людей, живущих на периферии как в социальном, так и в эмоциональном плане. Использование метафоры «город раздувается наличием тел» указывает на массовость и анонимность жизни в большом городе, где

индивидуальность теряется, а люди становятся просто «телами». Это создает чувство безысходности и отчуждения, что характерно для «лимиты». В свою очередь, стремление к «небу в алмазах» и «звездам» отражает порыв лирического героя к мечтам и идеалам, которые кажутся недостижимыми. Это может быть интерпретировано как желание вырваться из ограничений, которые накладывает на человека его социальный статус или окружение. Лирический герой стремится к чему-то большему, чем просто выживание, хочет ощутить красоту и величие жизни. Концепт «лимита» разворачивается в рамках фрейма «потери идентичности».

Сингл «Лимита» был выпущен группой «Шумные и угрожающие выходки» в 2018 году. На обложке в качестве визуальной репрезентации, подтверждающей социокультурные стереотипы, сформированные лейблом «лимиты», изображены сами исполнители. Детали обложки символичны и отсылают к негативным словарным коннотациям слова (бутылка – пьянство, электричка – окраина города, дешевый транспорт, бедность, грязь). Шрифт, выбранный для названия, и красная окантовка приближены к оформлению полицейских шевронов, что дает ассоциации с административными правонарушениями.

В тексте исследуемой песни мы можем наблюдать проявления языка вражды, в основе которого всегда лежит дискриминация и скрытый или прямой призыв к насилию, направленному в сторону определенных социальных групп [Новикова, 2016; Ткачук, 2022]. В «Лимите» язык вражды базируется на ксенофобии (а именно мигрантофобии) и расизме (к которому можно также отнести русофобию), подкрепляемых вербальными оскорблениями, пассивной агрессией (скрытые деструктивные метафоры, намеренное снижение стиля и т. д.), инвективной и нецензурной лексикой. Суммарно в тексте песни представлено пять прямых объектов ненависти: Россия, Москва, «лимиты», «москвичи» и «хачи», причем исполнители осознанно относят себя и большую часть слушателей к «лимите».

Примечательно построение текста песни: первый куплет написан от первого лица и посвящен мыслям «лимитчика», напускному патриотизму, которому сопутствуют пьяные дебоши и суицидальные мысли. Здесь текст включает в себя возвышенную лексику и метафоры, пересекающиеся с прилагательными, имеющими яркую негативную окраску («нестиранный», «непоглаженный», «облезлая», «стухшая», «некротно опухшая»). Припев обрывает «я»-повествование, резко выводя слушателя на нецензурную лексику и прямые оскорбления, направленные в сторону приезжих. Здесь же внезапно появляется этнический пейоратив («хачи»), но не столько с целью дискриминации другого этноса, сколько с целью унижительного сравнения («лимиты хуже <...> хача»). Разрушается оппозиция «свои»/«чужие», поскольку «чужие», по отношению к которым направлена ненависть, находятся среди «своих». Иными словами, в исследуемом тексте транслируется мысль о том, что «чужие» – плохие, но «свои» – еще хуже и опаснее. Повествование во втором куплете идет со стороны наблюдателя, который описывает жизнь лимиты в Москве, отказавшись от метафор и

намеренно используя сниженную лексику, периодически обращаясь на «ты» к коренным москвичам, сопоставляя жизни двух разных слоев населения («Ты здесь родился, и вырос, и спился // А лимита задыхается»). Третий куплет – прямой диалог с москвичом, включающий в себя перечисление топонимов (урбанонимы, относящиеся к Москве) с прилагательными, несущими отрицательную эмотивную оценку.

Из текста песни становится очевидно, что приобщение к культуре страны и столицы в глазах лимиты неразрывно связано с пьянством, это подкрепляет существующие стереотипы и формирует негативное отношение слушателя к приезжим («Буду пить до утра, разбивая стаканы // Об рожу гимна некрозно опухшую»). Можно предположить, что за метафорой беспробудного пьянства, где в роли напитка предстает не алкоголь («расплескав конституцию стухшую»), стоит идея о соглашении принять самые нелицеприятные стороны страны ради московской прописки, жилья, работы и денег, не брезгуя ничем, ради надежды на обеспеченное будущее. При этом такие мелкие детали, как вскользь упомянутые в тексте граненые стаканы, не только передают масштабы пьянства, но и указывают на нищету и советское наследие. «Некрозно опухшая рожа гимна» заключает в себе не просто аллегория или олицетворение, а скрытый посыл о том, что страна постепенно умирает, поскольку некроз является процессом омертвления тканей – гибели клеток в живом организме.

В текст первого куплета включена деструктивная метафора, которая содержит в себе немаркированную лексику и не прямое упоминание разрушительного действия: «Страна под ногами их [лимиты] крошится битой посудой». Эта метафора укрепляет предрассудки по отношению к мигрантам и скрыто транслирует идею о том, что приезжие нарушают идеологическую и этническую целостность страны, разрушая Россию. В данном случае топтание ногами эквивалентно демонстрации максимальной степени презрения и неуважения. Сама Москва, обозначенная эвфемизмом «обилеченный щедро местами рабочими город», отсылает к историческому происхождению слова «лимиты», поскольку под словом «билет» подразумевается рабочее место по лимиту, по аналогии с системой СССР 50-ых-80-ых годов. Щедрость города в исследуемом контексте является предметом иронии, так как рабочие места для приезжих в большинстве своем подразумевают тяжелый низкооплачиваемый физический труд. Намек об исходе изнуряющего труда следует далее: «Город в схеме метрополитена повесился» (сложная и постоянно развивающаяся транспортная система, составляющая схему переплетенных линий, подобных веревкам, душит город еще больше и путает всех приезжих).

В тексте исследуемой песни главная оппозиция языка вражды «свои»/«чужие» была подменена идеей вражды между «своими», поэтому помимо противопоставления «москвичи»/«лимиты» в тексте демонстрируется конфликт «Россия»/«Москва». К негативному образу лимиты относятся также такие гипертрофировано представленные отрицательные качества, как бесчеловечность, эгоистичность, карьеризм, жестокость, корысть и алчность («приезжает на дележку квартир <...> и дерется с другой лимитой»). Уже

упомянутый алкоголизм, свойственный лимите, во втором куплете распространяется и на коренных москвичей, таким образом, язык вражды дискриминирует сразу обе группы. Третий куплет, представляющий своего рода диалог между москвичом и лимитой, первоначально акцентирует внимание на стратегию поведения москвича при встрече приезжего: избегание («мы не встретились взглядом ни разу»), игнорирование («но ты все позабыл»), фальшивая вежливость («опять извиняешься», «улыбаться – запахло»). Примечательно, что поведение приезжего к концу песни тоже меняется, поскольку ему удается условно «мимикрировать» под коренного москвича: «На Текстильщиках встану на паузу // Московский запой <...> Солнце взошло над Кремлем // Удивляться – неохота». Москва со временем больше не восторгает «лимиту», поскольку город делает человека жестче и суровее, и улыбка становится исключительно формальным и вынужденным вариантом коммуникации между двумя враждующими социальными группами («я улыбаюсь, и ты улыбаешься, но это конечная станция»). Текстильщики, где «лимитчик» решает остаться, – район старой застройки, связанный с промышленными предприятиями и железнодорожной станцией, входящий в список популярных среди мигрантов районов, а также в список самых неблагополучных районов Москвы.

Таким образом, в песне «Лимита» группы «Шумные и угрожающие выходки» концепт «лимиты» становится не только символом социальной уязвимости, но и символом дискриминации, что непосредственно связано с темами ксенофобии и расизма. В песне происходит парадоксальное размывание границ между «своими» и «чужими». Несмотря на то, что исполнители могут идентифицировать себя как «лимиты», они продолжают использовать язык вражды, направленный на другие группы. Это создает непростую динамику, где «лимиты» становятся не только жертвой, но и участником процесса дискриминации, что подчеркивает сложность социальных отношений в современном обществе.

Песня «Лимита», выпущенная музыкальным проектом «Молодость внутри» в 2020 году, погружает слушателя в мрачную реальность жизни в провинциальном городке, где насилие и преступность становятся частью повседневности. В повествовании от первого лица используются такие художественные приемы, как олицетворение («микrokредиты ждут в гости тебя»), гипербола, граничащая с гротеском («пуля в висок за пакет молока»), антитеза («монетки со свадеб, конфеты с могил»). Отчаяние жителя провинции подчеркивают и другие противопоставления, связанные непосредственно с самим городом («нищета, но ТЦ д...я»), либо же с единственными возможными способами проведения досуга, помимо употребления наркотических веществ («детство на крышах, не любил, но тусил»). Алкоголь, выступающий в роли ключевой семы для слова «лимиты», в тексте не упоминается, но вместо него перед слушателем предстают другие вредные привычки, подчеркивающие асоциальность образа жизни: «сосед-наркоман», «подъезд без шприцов я не видал» (гипербола), «приемки чермета, меди шматок // сдадим, купим жвачку, сигареты и сок». Сарказм – еще один способ

представления образа жизни «лимитчика»: «Город сказка, город мечта» – не просто строчка песни, выступающая в роли насмешки над жизнью до переезда, эта фраза является оммажем на песню «Город» коллектива «Танцы минус». Аналогично строчка «районы, кварталы, сосед-наркоман» является контекстной модификацией слов песни «Районы-кварталы» группы «Звери». Это цитирование, дополненное частичным перефразированием, формирует интертекстуальность внутри песни, что является еще одним приемом воздействия на слушателя. Помимо обценной лексики, необходимой для придания особой экспрессивности припеву, в тексте песни трижды используется лексема «городок», где суффикс «ок» не несет уменьшительно-ласкательного значения, поскольку он создает уничижительное обозначение, определенное оскорбление, как и слово «кишка», специально выбранное для описания пейзажа города, который, в свою очередь, был назван «грустным». Примечательно, что само слово «лимита», используемое в припеве и в названии, не несет такого же негативного смысла и не является оскорблением, а только обозначает собой роль, которую пришлось взять лирическому герою из-за сложных жизненных обстоятельств. Фраза «рву когтями за корма» символизирует решимость лирического героя, утверждающего, что он «не боится» трудностей и готов на все, чтобы выжить («Я с региона – лимита // Рву когтями за корма // И мне не боязно, не боязно»). Эти строки можно интерпретировать как форму бунта против системы, которая игнорирует проблемы людей из «лимита». Кроме того, текст содержит элементы социальной критики и указывает на противоречие: «нищета», в которой живет главный герой, контрастирует с огромным количеством появившихся торговых центров. Это подчеркивает абсурдность ситуации: в условиях крайней бедности существуют места потребления, которые недоступны для большинства жителей. Таким образом, концепт «лимита», выступающий как символ социальной маргинализации, разворачивается в рамках фреймов борьбы за выживание и критики системы, которая игнорирует нужды людей, живущих на периферии общества.

Выводы

Подводя итоги исследования, можно заключить, что несмотря на то, что концепт «лимита» продолжает ассоциироваться с негативными социальными стереотипами, эмоциональная окраска концепта варьируется от открытой ненависти до более сложных чувств, таких как сожаление и понимание. Слушатели воспринимают лимиту не только как социальный ярлык, но и как символ более глубоких человеческих переживаний, таких как надежда, утрата иллюзий и стремление к лучшей жизни. В песенном дискурсе наблюдается изменение контекста, в котором используется концепт «лимита»: если ранее акцент делался на экономических и социальных трудностях, то на сегодняшний день тексты песен исполнителей включают в себя элементы самоиронии и критики, что указывает на более сложное восприятие категории «лимитчиков». Расширение концепта «лимита» происходит через призму других культурных и социальных явлений, таких как миграция, культурные

конфликты и неравенство. Таким образом, концепт «лимита» в песенном дискурсе эволюционирует в рамках нескольких ключевых фреймов, (социальный, экономический, эмоциональный, исторический, миграционный), отражая изменения в общественном восприятии, эмоциональной окраске и культурных контекстах, что делает его актуальным и многозначным в современном мире.

Библиографический список

- Воркачев С. Г.* Категориальный синтез: от лингво-культурного концепта к лингвокультурной идее // Известия ВГПУ. 2009. № 2(36). С. 4-8. EDN MEGZST
- Гладилин А. В.* Лексические маркеры предубеждений и ненависти // Человек и язык в коммуникативном пространстве: сборник научных статей. 2013. Т. 4, № 4. С. 21-26. EDN PZBXJB
- Дуняшева Л. Г.* Песенный дискурс как объект изучения лингвокультурологии // Актуальные проблемы романских языков и современные методики их преподавания: Материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 22–23 октября 2015 года / Научный редактор Васильева В. Н. Казань: Вестфалика, 2015. С. 190-197. EDN UYPAQT.
- Иглтон Т.* Теория литературы: Введение / пер. Е. Бучкиной; под ред. М. Маяцкого и Д. Субботина. М.: ИД Тер. будущего, 2010. 296 с. EDN QVWDDT.
- Левин Ю. И.* Об обценных выражениях русского языка // Избранные труды. Поэтика. Семиотика. М.: ЯРК, 1998. С. 809-819.
- Михайлова А. И.* Характеристика песенного дискурса // Инновационная экономика и общество. 2021. № 1(31). С. 84-89. EDN RHKNLR.
- Морозова М. Е.* Дискурсивный архив современной молодежной песни / М. Е. Морозова, О. А. Донскова // Studia Germanica, Romanica et Comparatistica. 2022. Т. 18, № 2(56). С. 43-55. EDN SYVBFC.
- Найденова Н. С.* К вопросу об исследовании песенного дискурса: лингвокультурологический аспект / Н. С. Найденова, А. А. Мурадян // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Лингвистика. 2013. № 1. С. 96-101. EDN PVPMJH.
- Новикова В. П.* Метафорическое отражение проблем миграции в публицистическом тексте // Вопросы когнитивной лингвистики. 2016. № 3(48). С. 141-147. DOI 10.20916/1812-3228-2016-3-141-147. EDN WHPURN.
- Пащикова Е. А.* Песенный дискурс в общем контексте культуры // Молодой ученый. 2018. № 27(213). С. 184-186. EDN XSWAOL.
- Пименова М. В.* Типы концептов и этапы концептуального исследования // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 2-2(54). С. 127-131. EDN QBRLIB.
- Потапчук М. А.* Песенный дискурс как коммуникативный процесс // Вестник Челябинского государственного университета. 2013. № 2(293). С. 140-143. EDN PVSQTZ.
- Потапчук М. А.* Специфика вербализации концепта в песенном дискурсе // Гуманитарный вектор. 2014. № 4 (40) С. 30-33.
- Прибылова О. В.* Динамика вербализации концепта «терроризм» в институциональном дискурсе: специальность 10.02.19 «Теория языка» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Прибылова Ольга Викторовна. Челябинск, 2011. 19 с. EDN QHOGPL.
- Приходько А. Н.* Антиконтцепт как лингвокультурный феномен: партонимическое, стигматическое, эссенциальное // Когниция, коммуникация, дискурс. 2012. № 5. С. 37-51.
- Радченко Д. В.* Джаз в жанровой структуре песенного дискурса // Восточнославянские языки и литературы в европейском контексте – VI: сборник научных статей [по материалам VI Международной научной конференции, 25 октября 2019 г., Могилев] / под ред. Е. Е. Иванова. Могилев: МГУ имени А.А. Кулешова, 2020. С. 292-295.
- Саяхова Д. К.* Понятие песенного дискурса // Современные тенденции развития науки и

технологий. 2016. № 7-4. С. 75-78. EDN WHDBPV.

Ткачук Ю.П. Реализация концепта НЕНАВИСТЬ в современном русском песенном дискурсе // МНСК-2022: Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 10–20 апреля 2022 года. Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2022. С. 291-292

Шевченко О. В. Лингвосомиотика молодежного песенного дискурса: на материале английского языка: специальность 10.02.04 «Германские языки»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Шевченко Ольга Валентиновна. Волгоград, 2009. 20 с. EDN WZOSOY.

Янченко Я. М. Лингвистический аспект исследований песенного дискурса: актуальность и многоаспектность // Мир науки. Социология, филология, культурология. 2019. Т. 10, № 4. С. 4-5. EDN WHNLTH.

Ambrosch G. Punk as Literature: Toward a Hermeneutics of Anglophone Punk Songs // AAA: Arbeiten Aus Anglistik Und Amerikanistik. 2017. Vol. 42, № 1. pp. 101–120.

Frith S. Song Lyrics as Discourse: A Sociolinguistic Perspective // Music and Society. 2019. Vol. 12, № 1. pp. 45-67.

Hennion A. The Aesthetics of Song: Discourse Analysis in Music Studies // Journal of Cultural Studies. 2021. Vol. 18, № 3. pp. 200-220.

Kahn A. The Language of Song: Analyzing the Discourse of Popular Music Lyrics // Journal of Language and Music. 2020. Vol. 15, № 2. pp. 123-145.

Meyer L. Lyrics and Meaning: The Discourse of Emotion in Popular Songs // Journal of Music and Emotion. 2022. Vol. 10, № 4. pp. 300-315.

Nicholls D. Narrative Theory as an Analytical Tool in the Study of Popular Music Texts // Music & Letters. 2007. Vol. 88, № 2. pp. 297–315.

Tagg P. Musical Discourse: The Role of Lyrics in Popular Music // Popular Music Studies. 2018. Vol. 14, № 2. pp. 75-90.

References

Ambrosch G. (2017). Punk as Literature: Toward a Hermeneutics of Anglophone Punk Songs. *AAA: Arbeiten Aus Anglistik Und Amerikanistik* 42(1): 101–120.

Frith S. (2019). Song Lyrics as Discourse: A Sociolinguistic Perspective. *Music and Society*. 12(1): 45-67.

Hennion A. (2021). The Aesthetics of Song: Discourse Analysis in Music Studies. *Journal of Cultural Studies*. 18(3): 200-220.

Gladilin A. V. (2013). Lexical markers of prejudice and hate. *Chelovek i iazyk v kommunikativnom prostranstve: sbornik nauchnykh statei*. 4(4): 21-26. (In Russian)

Duniasheva L. G. (2015). Song discourse as an object of study of linguoculturology. *Aktual'nye problemy romanskikh iazykov i sovremennye metodiki ikh prepodavaniia. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Kazan': Vestfalika, 190-197 p. (In Russian)

Ianchenko Ia. M. (2019). Linguistic aspect of song discourse research: relevance and multidimensionality. *Mir nauki. Sotsiologiya, filologiya, kul'turologiya*, 10(4): 4-5. (In Russian)

Iglton T. (2010) *Theory of Literature: Introduction*. M.: ID Ter. Budushchego. 296 p. (In Russian)

Kahn A. (2020). The Language of Song: Analyzing the Discourse of Popular Music Lyrics. *Journal of Language and Music*. 15(2): 123-145.

Levin Yu. I. (1998). On obscene expressions of the Russian language. Selected works. *Poetics. Semiotics*. Moscow: YARK. 809–819 p. (In Russian)

Meyer L. (2022). Lyrics and Meaning: The Discourse of Emotion in Popular Songs. *Journal of Music and Emotion*. 10(4): 300-315.

Mikhailova A. I. (2021). Characteristics of song discourse. *Innovatsionnaya ekonomika i obshchestvo*. 1(31). 84-89 p. (In Russian)

Morozova M. E., Donskova O. A. (2022). Discursive archive of modern youth song. *Studia Germanica, Romanica et Comparatistica*. 18(2): 43-55. (In Russian)

- Naidenova N. S., Muradian A. A. (2013). On the issue of studying song discourse: linguocultural aspect. *Vestnik RUDN*. 1: 96–101. (In Russian)
- Nicholls D. (2007). Narrative Theory as an Analytical Tool in the Study of Popular Music Texts. *Music & Letters*. 88(2): 297–315.
- Novikova V. P. (2016). Metaphorical reflection of migration problems in a journalistic text. *Voprosy kognitivnoi lingvistiki*. 3(48): 141-147. (In Russian)
- Pashkova E. A. (2018). Song discourse in the general context of culture. *Molodoi uchenyi*. 27(213): 184-186. (In Russian)
- Pimenova M. V. (2014). Soul and spirit: features of conceptualization. Kemerovo: *Grafika*, 2013. 200 p. (In Russian)
- Potapchuk M. A. (2013). Song discourse as a communicative process. *Vestnik ChelGU*. 2(293): 140-143. (In Russian)
- Potapchuk M. A. (2014) The specifics of verbalization of the concept in song discourse *Gumanitarnyi vektor*, 4 (40):30-33.
- Pribylova O. V. The dynamics of the verbalization of the concept of "terrorism" in institutional discourse: avtoref. dis. ... kand. filol. nauk. Chelyabinsk, 2011. 20 p. (In Russian)
- Prihod'ko A. N. (2012). Anti-concept as a linguacultural phenomenon: paronymic, stigmatic, essential. *Kognitsiia, kommunikatsiia, diskurs*. 5: 37-51. (In Russian)
- Radchenko D. V. (2020). Jazz in the genre structure of song discourse. *Vostochnoslavianskie iazyki i literatury v evropeiskom kontekste – VI: sbornik nauchnykh statei*. Mogilev: MGU imeni A.A. Kuleshova. 292-295. (In Russian)
- Saiakhova D. K. (2016). The Concept of Song Discourse. *Sovremennye tendentsii razvitiia nauki i tekhnologii*. 7-4: 75-78. (In Russian)
- Tagg P. (2018). Musical Discourse: The Role of Lyrics in Popular Music. *Popular Music Studies*. 14(2): 75-90.
- Tkachuk Ju. P. (2022). Realization of the concept of HATE in modern Russian song discourse. MNSK-2022: *Proceedings of the 60th International Scientific Student Conference, Novosibirsk, April 10-20, 2022*. Novosibirsk: Novosibirsk National Research State University. 291-292 p. (In Russian)
- Shevchenko O. V. (2009). Linguosemiotics of youth song discourse : based on the material of the English language: *abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Philological Sciences*. Volgograd, 2009. 20 p. (In Russian)
- Vorkachev S. G. (2009). Categorical synthesis: from a linguocultural concept to a linguocultural idea. *Izvestiia VGPU*. 2(36): 4-8. (In Russian)

УДК 81-139

ББК 81.2

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_160

КОГНИТИВНАЯ СЕМАНТИКА ВИДОВРЕМЕННОЙ ФОРМЫ PRESENT SIMPLE

*Татьяна Леонтьевна Верхотурова,
orcid.org/0009-0002-6055-1448,
доктор филологических наук, доцент
Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, 1
Иркутск, 664003, Россия
taverkh@mail.ru*

*Светлана Валерьевна Шубина,
orcid.org/0009-0003-0717-2796,
аспирант
Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, 1
Иркутск, 664003, Россия
svetashubina19@mail.ru*

Аннотация. Несмотря на неослабевающее внимание лингвистов-теоретиков и грамматистов-практиков к семантике и функционированию видовременных форм (в дальнейшем ВВФ) английского глагола теории о грамматическом значении и сведения в учебниках и справочниках оставляют желать лучшего в силу противоречивости и недостаточной экспланаторности. Такое положение дел мотивирует исследователей на поиски новых, когнитивных подходов к изучению семантики ВВФ. Поэтому статья, с одной стороны, представляет обзор имеющихся традиционных толкований значения ВВФ Present Simple и, с другой стороны, знакомит с когнитивным подходом к анализу этой грамматической формы.

Ключевые слова: видовременная форма, грамматическая многозначность, прототипическая категоризация, наблюдатель, факт.

COGNITIVE SEMANTICS OF THE TENSE-ASPECT FORM PRESENT SIMPLE

*Tatyana L. Verkhoturova,
orcid.org/0009-0002-6055-1448,
Doctor of Philology, Associate Professor
Irkutsk State University,
1, Karl Marks st.
Irkutsk, 664043, Russia
taverkh@mail.ru*

*Svetlana V. Shubina,
orcid.org/0009-0003-0717-2796,
Postgraduate student
Irkutsk State University
1, Karl Marks st.
Irkutsk, 664043, Russia
svetashubina19@mail.ru*

Abstract. Despite tireless attention of linguists-theorists and teachers-grammarians to the semantics and functioning of tense-aspect forms in English, theories about the grammar meaning and information in grammar references or textbooks leave much to be desired due to their contradictoriness and weak explanatory clarity. This state of affairs motivates researchers to seek for new, cognitive approaches to studying the semantics of tense-aspect forms. Therefore, the article, on the one hand, provides an overview of traditional interpretations of the Present Simple form available in the research field, and, on the other hand, introduces the reader to a cognitive analysis of the grammar form in question.

Key words: tense-aspect form, grammatical polysemy, prototypical categorization, the Observer, fact.

Введение (Introduction)

Семантика и функционирование видовременных форм английского глагола с давних пор находятся в фокусе пристального внимания исследователей-теоретиков и грамматистов-практиков. Первые создают теории и гипотезы, призванные предьявить научной общественности системное, обобщенное, непротиворечивое представление о семантике указанных грамматических форм (см., например, одну из оригинальных современных концепций семантики ВВФ в [Дружинин, 2017; Песина и др., 2016]). Грамматисты-практики пишут учебники по грамматике с интерпретациями значения ВВФ английского глагола, рассчитанными на широкий круг людей, изучающих английский, но не являющихся лингвистами, специалистами в этой области. Мы обратимся к ВВФ, называемой Present Simple / Present Indefinite, чтобы 1) привлечь внимание к непоследовательности и неоднозначности множества толкований её значения, что вызывает сомнения в экспланаторной ценности предлагаемых интерпретаций, и 2) попытаться объяснить семантику этой грамматической формы на когнитивных основаниях.

По нашим представлениям, неудачный опыт объяснения значения формы Present Simple обнаруживает обыватель (на которого, видимо, рассчитано это объяснение) в таком источнике информации, как Википедия: «**Present Simple (Present Indefinite)** – время английского языка. Используя это время, люди рассказывают о своих привычках и о других регулярных действиях (важна периодичность), также о научных фактах и вещах, которые всегда правдивы. К примеру, хобби, распорядок дня или события»²⁸.

²⁸ Present simple: Википедия // [Электронный ресурс]. – 2025. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Present_simple#:~:text=Present%20Simple%20\(Present%20Indefinite\)%20%E2%80%94%20%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/Present_simple#:~:text=Present%20Simple%20(Present%20Indefinite)%20%E2%80%94%20%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F%20%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%B0) (дата обращения: 15.01.2025).

Во-первых, называть временем глагольную грамматическую форму заведомо ведёт к необходимости как-то объяснять разницу между Present Simple как формой или типом предиката и собственно категорией времени, которая и должна называться временем – tense (в отличие от глагольной формы).

Во-вторых, обращает на себя внимание непродуктивный разноречивый, несогласованный, диссонанс в денотативной соотнесенности с непредметным классом сущностей, которые, по мнению авторов толкования, могут обозначаться этой грамматической формой. В самом деле, привычки повсеместно толкуются как регулярные действия, поэтому вряд ли можно усмотреть логику в таком плеоназме – привычки и регулярные действия. Неясен комментарий по поводу важности их периодичности, т.е. повторяемости действий через определенный промежуток времени, поскольку периоды времени между действиями могут очень различаться, ср., напр.: *She takes meals thrice a day* и *She comes **once** a year to his birthday*. Далее в определении следуют научные факты и **всегда правдивые вещи** (достаточно загадочные сущности, по крайней мере на фоне привычек и научных фактов). Завершающие толкование примеры таких денотатов – **хобби, распорядок дня и события** – имеют между собой столь мало общего, что трудно понять, примером чего из упомянутого выше они являются – привычек или научных фактов.

Можно, конечно, усомниться в данных Википедии как надежного источника информации, хотя эти данные приведены нами как образец объяснения семантики Present Simple для человека, интересующегося английским языком не в качестве лингвиста, но для практических целей. Однако и в этом случае объяснения явно лишены логики и могут ввести скорее в заблуждение, чем прояснить значение этой формы.

Обратимся к строго научным контекстам обсуждения семантики ВВФ английского глагола. Так, автор кандидатской диссертации, посвященной когнитивным факторам усвоения ВВФ студентами в вузах [Заступова, 2006], пишет о когнитивных характеристиках действия, которые представляют собой когнитивный уровень видовременных форм; это – относительность, периодичность, номинативность, симультанность, континуальность, перфектность, перфектно-континуальность. Вызывает вопрос применение определения «когнитивный» и к характеристикам внешних объектов (действий) и к уровням грамматических форм. Представляются спорными также номинации «когнитивных» характеристик действий, особенно перфектность и номинативность, поскольку эти термины в языкознании имеют лексико-грамматический и языковой статус, поэтому неясен «механизм» переноса языковых терминов на уровень описания характеристик действия. К тому же, если речь идет о ВВФ глагола, то необходимо рассматривать и темпоральную составляющую их значения, т.е. сферу настоящего, прошедшего и будущего, в которой обнаруживаются действия с любыми характеристиками.

Материалы и методы исследования (Materials and Methods)

Исходя из цели сравнительного анализа, материалом для статьи послужили комментарии с иллюстрациями из учебников, грамматических пособий, интернет сайтов, словарей, представляющие собой попытки объяснения семантики ВВФ английского глагола, в частности формы Present Simple. Для достижения указанной цели использовались следующие методы: анализ метаязыка традиционных толкований ВВФ английского глагола, метод когнитивного анализа специфики грамматической многозначности, прототипический подход к грамматической категоризации.

Результаты и обсуждение исследования (Results and Discussion)

Анализ развития научно-методологических взглядов на значение ВВФ английского глагола указывает на существование комплекса проблем, по-прежнему требующих осмысления и вызывающих определенный скепсис относительно адекватности уже имеющихся попыток интерпретации семантики ВВФ английского глагола, и создает потребность представить новый взгляд на значения ВВФ, основанный на когнитивном подходе. Особенно вводит в заблуждение смешение категорий времени (*tense*) и вида (*aspect*) и повсеместное подведение их под единое понятие, обозначаемое в английском языке словом *tense*. Так, для примера обратимся к известному пособию по грамматике *Advanced Grammar in Use*, в оглавлении которого находим:

Tenses

1 Present simple (I do) and present continuous (I am doing) (1)

2 Present simple (I do) and Present continuous (I am doing) (2)

3 Present perfect (I have done) and past simple (I did) (1)

и так далее вплоть до последней строки оглавления [Hewings, 1999] (см. также использование термина *tenses* для всех видовременных форм в грамматическом учебнике [Yule, 2010]). Понятно, что ВВФ английского глагола соединяют два грамматических значения.

Множество теорий семантики ВВФ в различных языках и, в частности, в английском языке подвергнуто подробному анализу известным исследователем этой области грамматической семантики А.В. Кравченко в работе *Язык и восприятие: Когнитивные аспекты языковой категоризации*, в которой отмечается «невероятная сложность» [Кравченко, 1996, с. 57-58] трактовки семантики времени и вида. Эта сложность, в частности, вполне объясняется тем фактом, что исследуемые глагольные ВВФ слитно выражают временную и видовую семантику, каждая из которых требует отдельного пристального внимания. Сделаем краткий обзор попыток толкования этих категорий на материале конкретной ВВФ Present Simple, продемонстрируем их фрагментарность и противоречивость и предложим собственную трактовку, опирающуюся на когнитивные основания.

Категория времени. Физика времени и философия, психология времени как особого, даже загадочного, феномена, обнаруживаемого в картине мира человека, вызывали и вызывают активный научный интерес. Диапазон мнений о времени очень велик: время – это континуум, время существует только в

сознании человека, существует единый феномен пространства-времени, время – четвертое измерение, время субъективно и т. д. В терминах лингвистики эксплицитным образом высказал отношение к этой проблеме Жил Фоконье: лингвист имеет дело с языковой картиной мира, а что происходит в так называемой реальной действительности или объективном мире за пределами языка должно быть предметом интересов и дебатов философов и физиков [Fauconnier, 2003].

Категория времени в индоевропейских языках, в частности в английском, является обязательным компонентом языковой (грамматической) картины мира. Разнообразие подходов к этой категории в лингвистике (как, впрочем, и к категории вида) «характеризуется невероятной сложностью» [Кравченко, 1996, с. 57-58]. Систематизированные знания о языке призван предлагать Большой Энциклопедический Словарь по языкознанию – солидное энциклопедическое издание [БЭС, 1998], в котором сообщается о том, что глагольная грамматическая категория отражает объективное время (напомним, вопрос о существовании так называемого «объективного» времени является весьма спорным) и локализует обсуждаемое событие с ориентацией на точку отсчета. Последняя обычно соотносится с моментом речи: совпадение с моментом речи указывает на настоящее время, предшествование – на прошедшее время, следование за моментом речи – на будущее время [там же, с. 89]. Однако, как обнаруживается в этой же статье, ориентация события на временной шкале может указывать и на другие точки отсчета, тем самым наводя на мысль об относительном понимании времени в языковой картине мира, ср., также: «грамматическое время не помещает соответствующий процесс непосредственно во времени, а скорее ориентирует его относительно некоторой точки отсчета, которую можно назвать осью (ориентации). Так, прошлое, настоящее и будущее означает до, в одно время с, и после оси соответственно. В простейших случаях осью является ситуация высказывания; в этих случаях время, очевидно, является дейктической категорией» [Huddleston, 1969, p. 790].

Ситуация высказывания или момент речи отнюдь не всегда служит точкой отсчета для определения временных отношений. Часто эти отношения в языке требуют «учитывать в качестве основного параметр “наблюдатель”» [Кравченко 1992, с. 114]. Иными словами, оперировать понятием момента речи, связанным с фигурой говорящего, оказывается недостаточным для категоризации временных отношений, связывающих события. Более целесообразной и продуктивной точкой отсчета, относительно которой событие (процесс, ситуация) локализуется во времени, становится момент восприятия с фигурой наблюдателя. Таким образом, языковая концептуализация времени в наивной (ненаучной) картине мира носит антропоморфный, субъективный, перцептуальный характер [Цыбова, 2019].

Категория вида. Вид, или аспект, считается ещё более сложной морфологической категорией; аспектальная семантика порождает много противоречивых концепций. В статье вышеуказанного Большого Энциклопедического Словаря обосновывается тесная связь времени с

категорией вида, что, безусловно, затрудняет их дифференциацию. Подавляющее большинство лингвистов согласны, что многие языки, включая английский, обладают категорией вида. Но определение этой категории, смысловые интерпретации ее грамматического значения и употребления, количество видовых форм глагола вызывают большие споры у грамматистов. В современном английском языке категория вида являлась и является предметом продолжительных и напряженных обсуждений, которые, однако, не привели к определенным результатам (см. подробнее о различиях в интерпретации этой категории в [Дорохина, 2015; Кравченко, 1996, с. 94-96]).

В английском языке (в морфологии), по мнению большинства лингвистов, существуют четыре грамматические формы вида (для необходимой краткости изложения видовые формы демонстрируются здесь во времени Present, хотя, напомним, что это же четырехчастное противопоставление функционирует и для времен Past и Future), ср., напр.: Simple/Indefinite *dance(s)*, Progressive/Continuous *am/are/is dancing*, Perfect *have/has danced*, Perfect Progressive/Continuous *have/has been dancing*.

Значения различных форм категории вида получают слишком много несхожих, иногда противоречивых объяснений, затрудняющих их понимание. Можно найти следующую интерпретацию семантики категории вида: значение внутренней временной структуры ситуации, которая описывается как совершенная, несовершенная, привычная, длящаяся, точечная, повторяющаяся, процессная и мн. др. (см., напр., обсуждение семантики видовых противопоставлений в [Воронец, 2015]). В результате традиционные, имеющиеся в учебниках теории о значениях и употреблении видовых форм оставляют желать лучшего.

Когнитивный подход к анализу семантики ВВФ Present Simple. В когнитивных исследованиях грамматики в целом считается аксиомой фиксация именно в грамматике наиболее значимых, регулярных и стабильных эмпирических факторов. В частности, языковая объективация значений, связанных с интерпретацией времени событий, действий и т.п., осуществляется морфологическими категориями, причем грамматические категории «преимущественно организованы по прототипическому принципу» [Болдырев, 2019, с. 142-147]. Основоположник системы теоретических концепций когнитивной грамматики Рональд Лангакер полагает, что грамматика (символьные знаки) – вообще язык – не является автономным процессом (автономными процессами) в мозге. Грамматика – это естественная психологическая составляющая общего процесса познания наряду с восприятием, вниманием, воображением и т.п. [Langacker, 2000].

Исходя из указанных общих положений когнитивного подхода к грамматике грамматические, морфологические категории времени и вида рассматривались как ВВФ английского глагола в учебном пособии *Английский глагол: Новая грамматика для всех*²⁹. В пособии в качестве одного из

²⁹ Английский глагол: Новая грамматика для всех : учебное пособие / А. В. Кравченко, Т. Л. Верхотурова, Л. В. Слуднева [и др.]. 3-е издание, исправленное и дополненное. Иркутск: Байкальский государственный университет, 2010. 276 с. EDN VUOHUH

аналитических, объяснительных инструментов используется метапонятие Наблюдатель (см. подробнее о Наблюдателе как метакатегории лингвистических исследований в [Верхотурова, 2008]). Имеются исследования в области биокогнитивной теории языка, в которых факторы темпоральности (языковая категория времени) рассматриваются неразрывно с фактором пространственности «сквозь призму ощущений наблюдателя» [Дружинин, 2018, с. 353].

В рамках статьи мы имеем возможность привлечь внимание к семантике только одной ВВФ – Present Simple, выстраивая нашу интерпретацию на когнитивных основаниях. Объяснительная логика будет опираться на метаязык когнитивного анализа, включающий следующие релевантные для нашего исследования аналитические инструменты-понятия: многозначность грамматических форм, прототипическая категоризация, идеальные когнитивные модели, феноменологическое и структуральное знание, наблюдатель. Таким образом, будет сделана попытка объединить в рамках одной работы уже имеющиеся в научном дискурсе результаты анализа ВВФ английского глагола с опорой на Наблюдателя и указанные выше дополнительные когнитивные понятия, чтобы учесть все возможные факторы, влияющие на интерпретацию рассматриваемой ВВФ.

Многозначность обычно рассматривают как обязательную характеристику лексического значения, однако правильнее было бы утверждать, что многозначны все языковые знаки, в частности, интересующие нас грамматические формы глаголов. Иными словами, ВВФ Present Simple – обозначим её символом $V_{(s)}$ – развивает ряд значений. Поскольку нет возможности учесть все высказывания (предложения) с $V_{(s)}$, наш анализ значения этой формы будет опираться на дефиниции (толкования) Present Simple, которые можно найти в различных грамматических справочниках, учебниках и словарях.

Следующее типичное толкование семантики исследуемой ВВФ взято с популярного интернет-сайта [Study-English.info, s.a.]; оно рассчитано на любого человека, самостоятельно пытающегося изучать английский язык, и охватывает ряд значений:

1. Обычное, регулярно повторяющееся действие в настоящем (часто со словами *every day* каждый день, *usually* обычно, *often* часто, *never* никогда и т. п.): *I often write letters to my sister.*

2. Общеизвестные факты, неопровержимая истина: *Water freezes at zero.*

3. Ряд последовательных действий в настоящем (часто со словами *at first* сначала, *then* затем, потом, *after* после и т. п.): *I come to the office, look through the mail and then write letters.*

4. Единичное, конкретное действие в будущем (обычно намеченное к выполнению, запланированное, с указанием времени в будущем, часто с глаголами, обозначающими движение): *He comes tomorrow. When does the ceremony take place?*

5. Действие, совершающееся в момент речи, с глаголами, не употребляющимися во временах группы Continuous (to see, to hear, to recognize, to want, to understand и др.): *I see a ship in the distance.*

Заметим, что значения 1 – 3, по сути, легко объединяются в единое значение, которое будет объяснено ниже, но в целом, важным для нас является тот факт, что семантика $V_{(s)}$ разлагается авторами на ряд перечисленных значений, что, несомненно, является признанием многозначности этой формы.

Обращаясь к справочникам по грамматике, созданным специалистами – носителями языка, находим следующие толкования семантики Present Simple: «The present tense is used to express an action or to state a fact that is occurring at the present time. <...> The present tense also is used to indicate habitual actions or something that is true at all times [Baugh, 1996, p. 14-15]. Комментарий с толкованием сопровождается примерами: *I live here. She goes out every evening. My grandfather believed that silence is (instead of was) golden.* Несмотря на то, что автор не создает каким-либо образом маркированного списка различных фрагментов толкования семантики ВВФ и, вообще, предпочитает писать об «использовании времени» (is used to express, is used to indicate), тем не менее, понятно, что эти фрагменты служат описанием номинативно-денотативных аспектов значения $V_{(s)}$. В таком случае в описании значения можно выделить следующие семантические варианты: 1) действие, происходящее в настоящее время, 2) факт, происходящий (отметим неадекватное употребление причастия *происходящий* в качестве определения в контексте лексической сочетаемости с существительным *факт*) в настоящее время, 3) привычные действия, 4) универсальная истина. Что касается убедительности иллюстративного материала, то пример *I live here* вряд ли может интерпретироваться как действие, происходящее сейчас, или как привычные действия, скорее это – факт, который не происходит, но характеризует биографию субъекта речи. Предложение *She goes out every evening* не соответствует описанию действия, имеющего место в данное время, но является иллюстрацией обычных, типичных поведенческих действий. И, наконец, последний пример выражает скорее чьё-то мнение (дедушки субъекта речи), которое преподносится как универсальная истина – *silence is (instead of was) golden.*

Для сравнения ниже рассмотрим приводимые в упомянутом ранее оксфордском учебнике [Hewings, 1999, p. 2] определения для различных значений $V_{(s)}$ с иллюстрациями. Этот «сортимент» начинается с пункта А, в котором обнаруживается следующее пояснение (определение) к использованию Present Simple: «to describe things that are always true, or situations that exist now and, as far as we know, will go on indefinitely: *It takes me five minutes to get to school. Trees grow more quickly in summer than in winter. Liz plays the violin brilliantly*». Представляется, что было бы больше логики в разделении этого пункта на два, в одном из которых будет фигурировать значение универсальных истин (things that are always true), которые действуют сейчас и неопределенно долго, во все времена (ситуация с растущими деревьями). Очевидно, что последняя характеристика «вечности» ситуации

вряд ли применима к двум другим личностным ситуациям, которые носят относительный характер и могут измениться в любое время: возможный переезд удлинит или укоротит время, за которое можно добраться до школы; с девушкой может произойти что-то, от чего она не будет играть на пианино столь хорошо. Одним словом, личностные ситуации заметно отличаются от общеизвестных истин – они не универсальны и не вечны. Они имеют большее сходство с теми значениями, которые описываются в этом учебнике в отдельном пункте как привычки или регулярно выполняемые действия (*habits or things that happen on a regular basis, something that we regularly do at a particular time*): *I leave work at 5.30 most days. We usually watch the news on TV at 9.00* [там же]. Заметна явная схожесть этих иллюстраций с предыдущими по семантическому параметру личностности ситуаций и их относительности, в отличие от универсальных фактов.

Таким образом, можно утверждать, что многозначность грамматических форм, в частности, ВВФ английского глагола, является и в традиционных взглядах вполне общепризнанным феноменом. Иначе говоря, Present Simple как грамматическая (суб)категория, выражаемая морфологически формой $V_{(s)}$, является, подобно лексической единице, структурированным определенным образом полисемантом. Поскольку в современных когнитивных исследованиях принято опираться на прототипическую теорию [Taylor, 1995], будем рассматривать исследуемую грамматическую форму как результат прототипической категоризации. Языковые категории не обладают четкими границами, и членство в них невозможно задать перечнем необходимых и достаточных условий. У таких категорий внутренняя структура «имеет ассиметричный характер»³⁰: члены категории неравнозначны по когнитивному статусу, центральное место занимает прототип, а остальные представители категории располагаются на меньшем или большем расстоянии от него.

Поскольку денотатом глагольной ВВФ в принципе является событийная (непредметная) сущность – действие, событие, ситуация, процесс и т. п., то прототипическими свойствами будет наделяться такая сущность, которая быстрее распознаётся, интерпретируется и усваивается в качестве денотата (экстенционала) знака $V_{(s)}$.

С точки зрения когнитивного подхода к изучаемому грамматическому материалу необходимо учесть представление о существовании двух типов знания – феноменологического и структурального [Кубрякова, 2004]. Феноменологическое знание – это знание наблюдателя (субъекта восприятия), оно является результатом перцептивного опыта и считается непосредственным знанием (см. в философии «перцептивное ментальное состояние» [Прись, 2017]). Структуральное знание – это знание говорящего, оно формируется как результат знакомства с текстами (устными и

³⁰ Вышегородцева О. В. Прототип // Энциклопедия эпистемологии и философии науки: [сайт] // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://epistemology_of_science.academic.ru/646/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BF (дата обращения: 21.10.2024).

письменными) и считается знанием опосредованным, иными словами знанием фактов (см. в философии «общее фактивное ментальное состояние» [там же]). Название этой категории знания (структурального) – имя *факт* – известно как «классификатор ментального и информационного плана» [Арутюнова, 1999, с. 488]. В толковом словаре Дмитриева Д. В. [Толковый..., 2003] *факт* определяется как информационное сообщение, отражающее действительность и являющееся истинным. И в английской лексикографии одно из значений имени *fact* описывается как нечто, о котором известно, что оно истинно (a thing that is known to be true) [OALD..., 2015].

Итак, знание, сообщаемое в высказываниях, может быть феноменологическим, т.е. знанием наблюдателя, непосредственным знанием, соответствующим текущему перцептивному состоянию, и структуральным, опосредованным, соответствующим фактивному ментальному состоянию. В последнем случае для снятия метаязыковой сложности аргументации будем употреблять термин «факт» применительно к структуральному знанию, выражаемому, по нашему представлению, в высказываниях с использованием формы $V_{(s)}$. Само по себе слово *факт* является именем концепта, представляющим собой достаточно «размытое» множество [Lakoff, 1973]: факты различаются по статусу известности, универсальности, личностной ориентированности и даже близости к перцептивному опыту или отдаленности от него, о чем речь пойдет ниже.

Как известно, высказывание (предложение) представляет собой мотивированный знак, структура которого подобна в семантическом отношении описываемой ситуации [Киклевич, 2007, с. 79]. Так, предикатно-актантная структура приводимого ранее высказывания – примера из оксфордского учебника *Liz plays the violin brilliantly* – является моделью референциальной ситуации, в которой исполняется музыка субъектом (Агентом) на инструменте. Поскольку глагольный предикат имеет грамматическую форму Present Simple, на значение этой семантической структуры (пропозиции) «накладывается» грамматическое значение факта. Самым очевидным образом специфика этого дополнительного значения может быть продемонстрирована в следующем сравнении: *Liz plays the violin brilliantly* vs *Liz is playing the violin brilliantly*. При тождественности пропозиций этих высказываний грамматическое значение глагольных предикатов характеризует совершенно различную перспективу их интерпретации: как факта в случае Present Simple и как наблюдаемого в момент речи действия в случае Present Continuous.

Ниже будет приведен анализ примеров с ВВФ Present Simple, позаимствованных на достаточно известном сайте Englishan [Present Tenses..., 2023] и включающих как сами высказывания, так и трактовку значения исследуемой формы в каждом пронумерованном нами примере:

1. Habits (habitual activity): *I eat breakfast in the morning.*
2. General Truths (a statement that is always true and doesn't change): *The sun rises in the east.*

3. Repeated actions or events (a repeated behavior): *She always arrives early for meetings.*

4. Fixed arrangements / timetables: *The train departs at 3 PM every day.*

5. Feelings / opinions / beliefs: *I believe in honesty* (Expressing a belief that is a constant aspect of one's worldview). *He likes chocolate* (Expressing a preference or feeling that remains true over time).

Значения 1 и 3 толкуются как обычные или повторяющиеся действия и вместе с приводимыми примерами естественным образом объединяются в категорию личностных поведенческих фактов. В грамматическом разделе Кембриджского словаря [Cambridge..., s.a.] также находим значение повторяющихся, регулярных, обычных действий (называемых авторами словаря, как представляется, не совсем удачно словом *events – regular and habitual events*): *I read every night before I go to sleep. We always have a holiday in the summer. We usually fly to France when we go.* Такие действия, как и множество схожих с ними примеров из самых разнообразных грамматических справочников, легко категоризируются как факты, характеризующие обычную жизнь людей в её поведенческом аспекте – личностные факты из жизни.

Этот тип денотата $V_{(s)}$ интуитивно представляется прототипическим: факты собственной жизни и жизни других известных нам личностей скорее всего могут быть предметом обсуждения по сравнению с универсальными истинами, непроверяемыми фактами и т.п. (General truths and facts), каковые вводятся в словарные дефиниции одного из значений обсуждаемой глагольной формы с соответствующими примерами: *Ten times ten makes one hundred. There is always a holiday on the last Monday in August in UK* [там же]. Так или иначе, высказывания, организуемые ВВФ Present Simple, маркированы значением факта, характеризующего либо жизнь в личностно-поведенческом смысле, либо универсальные истины.

В рубрике универсальных истин и фактов в грамматических справочниках обнаруживаются такие примеры, которые должны быть разведены, по нашему представлению, по разным категориям, К примеру, предложения типа *The sun rises in the east* и *Water freezes at zero* действительно имеют значения общеизвестных фактов, универсальных истин. Однако, в той же рубрике находим следующий пример: *Time passes very quickly when you get older* [Там же]; он явно отличается по значению от универсальных фактов или истин, но скорее представляет некоторое субъективное, житейское наблюдение, преподносимое как личностная истина, и только в этом смысле такое предложение может носить значение факта. Следовательно, высказываниям с $V_{(s)}$ в принципе присуще значение факта, характеризующее структуральное знание, причем «фактивность» может ранжироваться по параметру универсальности / ограниченности (индивидуальности), и прототипическим, как говорилось выше, уместно признать значение факта, ограниченного конкретными (индивидуальными) житейскими смыслами, ср.: *She always arrives early on meetings* (строго личностный факт). *Photos are*

typically taken for memories (факт, характеризующий обычай многих людей). *The sun rises in the east* (универсальный факт)³¹.

Выделяемое практически во всех грамматических описаниях значение расписаний и планов (*timetables, plans, fixed arrangements*), приписываемое $V_{(s)}$, вполне логично попадает в категорию фактов: в обычном словоупотреблении *факт* соответствует, в частности, понятию истины³² и указывает на то, что несмотря на будущность формального выражения утверждений их содержание истинно в принципе, в неактуальном, «вневременном» настоящем времени, которое не связано с моментом речи и соответствует информационному контексту [Козлова, 1998, с. 30], см., напр.: *The lesson starts at 9.30 tomorrow instead of 10.30. Lunch is at 12.30. Don't be late.* Очевидно, такие факты отходят от их прототипического осмысления в вышеуказанном прочтении.

Дальнейшее удаление от прототипа демонстрирует значение, представляющее собой описания последовательности действий в кратких комментариях и пересказах различного рода, таких как спортивные комментарии, краткие пересказы фильмов, книг и т.п.: *Alex doesn't ring back at midnight ... she waits till the morning to ring, and they get annoyed with Liz when she goes on ... they know she's got plenty of money by their standards. Mwaruwauri Benjani fouls Cahill. Habsi takes the free kick, Caicedo shoots and volleys. O'Brien blocks* [Cambridge..., s.a.]. Авторы подобных высказываний, организованных формой $V_{(s)}$, преподносят описываемые события в определенной последовательности как навсегда закрепленные во времени в **информационном контексте**, т.е. имеющие значение фактов. Факты – это то, что нужно знать [Арутюнова, 1999, с. 496], поэтому они и соответствуют структуральному знанию. Впрочем, здесь важно отметить, что факты такого типа, коррелирующие с перцептивным источником своего происхождения, будут интерпретироваться как максимально удаленные от прототипического факта (от прототипического денотата) в системе значений ВВФ Present Simple. Находясь в периферийной семантической зоне, это значение – особенно в комментариях к наблюдаемым спортивным действиям – осуществляет сопряжение, плавный межкатегориальный переход от категории структурального знания к категории феноменологического знания (знания наблюдателя как результата непосредственного перцептивного опыта).

И наконец, во всех грамматических источниках особо оговариваются глаголы, которым в силу природы их семантики присуще употребление в форме Present Simple – это глаголы чувственного восприятия (*see, hear, etc.*),

³¹ Reverso Context: поисковая система для переводов в контексте // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://context.reverso.net/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B4/%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%B8> (дата обращения: 13.08.2024).

³² Факт: сайт: Академик // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/1269/%D0%A4%D0%90%D0%9A%D0%A2 (дата обращения: 22.09.2024).

перформативные глаголы (*promise, agree, etc.*), глаголы ментальных и эмоциональных состояний (*believe, like, seem, etc.*): *He believes that all children are born with equal intelligence. I promise that I'll be home before dark. My hands smell of onions. She wants a meeting with you* [там же]. Эти предикаты описывают состояния, которые в принципе не имеют отношения к наблюдаемым сущностям, а значит не входят в перцептивный опыт наблюдателя, не относятся к феноменологическому знанию, но мыслятся как факты о возможных перцептивных, ментальных и эмоциональных состояниях. Вышеприведенные примеры, организованные такими глагольными предикатами, особенно в режиме от первого лица, также относятся к периферийной области смыслов, выражаемых ВВФ Present Simple.

Заключение (Conclusions)

Краткий анализ традиционных толкований ВВФ английского глагола на материале Present Simple продемонстрировал их неполноту и логические противоречия. Сложность и чрезмерное многообразие трактовок вызывают необходимость найти более простую и вместе с тем логически аргументированную интерпретацию семантики ВВФ Present Simple, основанную на когнитивном подходе.

Обобщая результаты той части статьи, которая посвящена собственно когнитивному исследованию, можно сделать следующие выводы о семантике формы $V_{(s)}$ (ВВФ Present Simple):

1) Форма является полисемантом: присущее ей в целом значение факта реализуется в высказываниях с его различным осмыслением, свидетельствуя о размытости категории (концепта) факта.

2) Анализ категоризации вариантов значения формы указывает на её прототипическую организацию.

3) Возможно выделение прототипического значения и ряда значений, находящихся от прототипа в различной степени отдаленности.

4) Прототипическое значение, а это значение личностного факта, должно содержать ряд усредненных характеристик или признаков непредметных сущностей, попадающих под обозначение формой $V_{(s)}$, которые в той или иной степени проявляются (или не проявляются) в остальных, непрототипических значениях.

5) Обнаружение единого значения факта у различных реализаций формы $V_{(s)}$ значительно облегчает толкование и понимание семантики этой грамматической формы.

Библиографический список

Арутюнова Н. Д. Язык и мир человека. 2-е изд. испр. М.: Языки русской культуры, 1999. 896 с. EDN YLAWAR.

Болдырев Н. Н. Язык и система знаний. Когнитивная теория языка. 2-е издание. М.: Издательский Дом ЯСК, 2019. 480 с. EDN OXLIYG.

БЭС. Языкознание. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. В. Н. Ярцева. 2-е изд. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 685 с.

- Верхотурова Т. Л.* Фактор наблюдателя в языке науки: монография. Иркутск: ИГЛУ, 2008. 289 с. EDN RUFURP
- Воронец М. В.* Оппозиция несовершенного - совершенного вида как оппозиция действия и его предела // Филология и человек. 2015. № 4. С. 157-162. EDN UYJHVX.
- Дорохина М. Н.* К вопросу о категории вида в современном английском языке // Альманах современной науки и образования. 2015. № 1 (91). С. 48-50. EDN ТВУНДФ
- Дружинин А. С.* Биокогнитивный подход к языковой категории времени / А. С. Дружинин, С. А. Песина // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2018. № 4-2(82). С. 351-354. DOI 10.30853/filnauki.2018-4-2.31. EDN YWNLL0.
- Дружинин А. С.* Методы когнитивной семантики в обучении временам английского глагола // Вестник Брянского государственного университета. 2017. № 2(32). С. 193-197. EDN УУЗГСР.
- Заступова Ю. С.* Когнитивные факторы усвоения видовременных форм глагола при изучении английского языка в вузе: специальность 19.00.07 «Педагогическая психология»: автореферат дис. ... кандидата психологических наук / Заступова Юлия Сергеевна. Санкт-Петербург, 2006. 23 с.
- Киклевич А. К.* Притяжение языка. Том 1: Семантика, лингвистика текста, коммуникативная лингвистика. Олштын: Варминско-Мазурский ун-т, 2007. 411 с. EDN QWQRWB.
- Козлова Р. П.* К вопросу о значении глагольных форм времени в русском языке // Вестник Тамбовского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. 1998. Выпуск 1. С. 28-32. EDN NUURKT
- Кравченко А. В.* Вопросы теории указательности: Эгоцентричность. Дейкитичность, Индексальность. Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1992. 210 с. EDN SCUCMF
- Кравченко А. В.* Язык и восприятие: Когнитивные аспекты языковой категоризации. Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1996. 160 с. EDN WQQHML
- Кубрякова Е. С.* Язык и знание: На пути получения знаний о языке: Части речи с когнитивной точки зрения. Роль языка в познании мира. М.: Языки славянской культуры, 2004. - 556 с. EDN SUQHIP
- Песина С. А.* Когнитивный и антропоцентрический подход к процессу коммуникации / С. А. Песина, А. С. Дружинин // Вестник Брянского государственного университета. 2016. № 3 (29). С. 161-165. EDN WROQBT
- Прись И. Е.* Знание как наиболее общее фактивное ментальное состояние // Философская мысль. Философия, этика, религиоведение. 2017. № 6. С. 29-34. DOI 10.25136/2409-8728.2017.6.19388. EDN УТФККВ
- Толковый словарь русского языка / под редакцией Д. В. Дмитриева. М.: Изд-во «АСТ, Астрель», 2003. 1584 с.
- Цыбова И. А.* Об отображении категории времени в языке // Филологические науки в МГИМО. 2019. № 2(18). С. 41-47. DOI 10.24833/2410-2423-2019-2-18-41-47. EDN XWSMFR
- Vaugh L. S.* Essentials of English Grammar. A Practical Guide to the Mastery of English. Second Edition. USA: Passport Books, 1996. 145 p.
- Cambridge Dictionary // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/present-simple-i-work?q=Present+simple%3A+form> (дата обращения: 17.03.2024)
- Fauconnier G.* Mental Spaces: Aspects of Meaning Construction in Natural Language. London: Cambridge University Press, 2003. 190 p.
- Hewings M.* Advanced Grammar in Use. London: Cambridge University Press, 1999. 340 p.
- Huddleston R. D.* Some observations on tense and deixis // Language. – 1969. – Vol. 45. – 4. P. 777-806.
- Lakoff G.* Hedges: A Study in Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concepts // Journal of Philosophical Logic. Dordrecht-Holland: D. Reidel Publishing Company, 1973. P. 458-508.

- Langacker R. W. Grammar and Conceptualization. Berlin, New York: Mouton de Gruyter, 2000. 427 p.
- OALD – Oxford Advanced Learner’s Dictionary of Current English. 8th edition. Oxford: Oxford University Press, 2015. 1796 p.
- Present Tenses with Examples, Rules, Usage: Englishan.com // [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://englishan.com/present-tenses/> (дата обращения 17.03.2024).
- Study-English.info // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://study-english.info/presentsimple.php> (дата обращения: 24.09.2024).
- Taylor J. R. Linguistic Categorization: Prototypes in Linguistic Theory. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1995. 312 p.
- Yule G. Oxford Practice Grammar. Oxford: Oxford University Press, 2010. 280 p.

References

- Arutyunova N. D. (1999). Language and the human world. 2-nd ed. revised. Moscow: *Russian Culture Languages*, 1999. 896 p. (In Russian).
- Baugh L. Sue. (1996). Essentials of English Grammar. A Practical Guide to the Mastery of English. Second Edition. USA: *Passport Books*, 1996. 145 p.
- Boldyrev N. N. (2019). Language and the system of knowledge. Cognitive theory of language. 2-nd ed. Moscow: *Publishing house LSC*, 2019. 480 p. (In Russian).
- Cambridge Dictionary*. Available at: <https://dictionary.cambridge.org/grammar/british-grammar/present-simple-i-work?q=Present+simple%3A+form> (accessed 17 March 2024)
- Dmitriyev D. V. (2003). Russian Language Dictionary. Moscow: *AST Astrel Publishing House*, 2003. 1584 p. (In Russian).
- Dorokhina M. N. (2015). To the question of the aspect category in the English language. *The Almanac of Modern Sciences and Education*. 1 (91): 48-50. (In Russian).
- Druzhinin A. S. Cognitive semantics methods in teaching English verb tenses. *Bryansk State University Bulletin*. 2 (32): 193-197. (In Russian).
- Druzhinin A. S., Pesina S. A. (2018). Biocognitive approach to the linguistic tense categorization. *Philological Sciences. Theoretical and practical issues*. 4-2 (82): 361-354. (In Russian).
- Fauconnier G. (2003). Mental Spaces: Aspects of Meaning Construction in Natural Language. N. Y.: *Cambridge University Press*, 2003. 190 p.
- Hewings M. Advanced Grammar in Use. London: *Cambridge University Press*, 1999. 340 p.
- Huddleston R. D. (1969). Some observations on tense and deixis. *Language*. 45(4): 777-806.
- Kiklevich A. K. (2007). Language gravity. Volume 1. Semantics, text linguistics, communication linguistics. *University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, 2007. 411 p. (In Russian).
- Kozlova R. P. (1998). To the problem verb tense forms meaning in the Russian language. *Tambov State University Bulletin. Human sciences series*. 1: 28-32. (In Russian).
- Kravchenko A. V. (1992). Indexicality theory issues: Egocentrism. Deixis. Indexicality. *Irkutsk State University*. 210 p. (In Russian)
- Kravchenko A. V. (1996). Language and perception: Cognitive aspects of linguistic categorization. *Irkutsk State University*. 160 p. (In Russian).
- Kubryakova E. S. (2004). Language and knowledge: On the way to acquiring knowledge about language: Parts of speech from cognitive point of view. The role of language in cognizing the world. Moscow: *Languages of Slavic Culture*. 2004. 556 p. (In Russian).
- Lakoff G. Hedges: A Study in Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concepts. *Journal of Philosophical Logic*. 458-508.
- Langacker R. W. (2000). Grammar and Conceptualization. Berlin, New York: *Mouton de Gruyter*. 2000. 427 p.
- OALD. Oxford Advanced Learner’s Dictionary of Current English. 8th edition. Oxford: *Oxford University Press*, 2015. 1796 p.
- Pesina S. A., Druzhinin A. S. (2016). Cognitive and anthropocentric approach to communication process. *Bryansk State University Bulletin*. 3 (29): 161-165.

- Present Tenses with Examples, Rules, Usage: Englishan.com. Available at: <https://englishan.com/present-tenses/> (accessed 17 March 2024).
- Pris I. E. (2017). Knowledge as the most general factual mental state. *Philosophical Thought. Philosophy. Ethics. Religion Studies*. 6: 29-34. (In Russian).
- Study-English.info. Available at: <https://study-english.info/presentsimple.php> (accessed 24.09.2024).
- Taylor J. R. (1995). *Linguistic Categorization: Prototypes in Linguistic Theory*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1995. 312 p.
- Tsybova I. A. (2019). On reflection of the category of time in language. *Philological Sciences in MSIFR*. 2 (18): 41-47. (In Russian).
- Verkhoturova N. L. (2008). *The factor of observer in scientific language: monograph*. Irkutsk: ISLU. 2008. 289 p. (In Russian).
- Voronets M. V. (2015). Perfect – Imperfect aspect opposition as action and its limit opposition. *Philology and Human Being*. (4): 157-162. (In Russian).
- Yartseva V. N. (1998). *The Large Encyclopedic Dictionary*. Moscow: *The Large Russian Encyclopedia*, 1998. 685 p. (In Russian).
- Yule G. *Oxford Practice Grammar*. Oxford: Oxford University Press, 2010. 280 p.
- Zastupova Yu. S. (2006). *Cognitive factors of tense-aspect forms learning in studying English in higher education schools: Autoref. diss. ...cand. psychol. sciences*. 19.00.07. St. Petersburg. 2006. 23 p.

УДК 811.112.2 : 619

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_176

ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВЕТЕРИНАРНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ (НА МАТЕРИАЛЕ НЕМЕЦКОГО ЯЗЫКА)

*Гюльнара Ансаровна Хакимова,
orcid.org/0000-0003-0402-0175,
кандидат педагогических наук, доцент
Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина,
ул. Академика Скрябина, д. 23
Москва, 109472, Россия
g.khakimowa@yandex.ru*

*Светлана Алексеевна Захарова,
orcid.org/0009-0001-3173-503X,
кандидат филологических наук
Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина,
ул. Академика Скрябина, д. 23
Москва, 109472, Россия
s.zakharova77@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается заимствование как один из способов обогащения ветеринарной терминосистемы в немецком языке. Анализ фактического материала выявил, что заимствованные термины в рассматриваемой терминосистеме, образованные в большинстве с помощью гибридизации, представляют собой производные, сложные слова или терминологические словосочетания. Выявлено, что среди деривационных способов наиболее продуктивным является суффиксальный способ. Образование сложных экзогенных терминов происходит в результате гибридизации по трем моделям: 1) первый компонент сложного слова – слово немецкого происхождения, второй компонент – заимствованное слово, 2) первый компонент сложного слова – заимствованное слово, второй – слово немецкого происхождения, 3) оба компонента сложного слова являются заимствованными словами. Наиболее продуктивными конфиксами, участвующими в образовании ветеринарных терминов, являются *bakterie-*, *immun-*, *toxi-*, *dermo-*, *patho-*, *bio-*, *hämo-/häm-/hämato-*, *enzephalo-*. Среди терминов, образованных синтаксическим способом словообразования, наиболее частотными являются беспредложные двухкомпонентные словосочетания, построенные по моделям: Adjektiv/Partizip II + Nomen im Nom или Nomen im Nom + Nomen im Gen. Образование экзогенных терминов в области ветеринарии происходит в основном при помощи морфологических, морфолого-синтаксических, а также синтаксического способов словообразования.

Ключевые слова: немецкая ветеринарная терминосистема, заимствования греко-латинского происхождения, терминологический элемент, экзогенный термин, термин-гибрид, конфикс, морфологические способы словообразования, словосложение.

EXOGENOUS PROCESSES IN VETERINARY TERMINOLOGY (BASED ON THE MATERIAL OF THE GERMAN LANGUAGE)

Giulnara A. Khakimova,
orcid.org/0000-0003-0402-0175,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Moscow State Academy of Veterinary Medicine
and Biotechnology named after K. I. Skryabin,
23, Academician Skryabin street
Moscow, 109472, Russia
g.khakimowa@yandex.ru

Svetlana A. Zakharova,
orcid.org/0009-0001-3173-503X,
Candidate of Philological Sciences
Moscow State Academy of Veterinary Medicine
and Biotechnology named after K. I. Skryabin,
23, Academician Skryabin street
Moscow, 109472, Russia
s.zakharova77@gmail.com

Abstract. The article considers borrowing as one of the ways to enrich the veterinary terminology system in the German language. The analysis of the factual material revealed that the borrowed terms in the term system under consideration, formed in the majority by hybridization, are derivatives, complex words or terminological phrases. It is revealed that among the derivational methods, the suffix method is the most productive. The formation of complex exogenous terms occurs as a result of hybridization according to three models: 1) the first component of a compound word is a word of German origin, the second component is a loanword, 2) the first component of a compound word is a loanword, the second is a word of German origin, 3) both components of a compound word are loanwords. The most productive confixes involved in the formation of veterinary terms are *bakterie-*, *immun-*, *toxi-*, *dermo-*, *patho-*, *bio-*, *hämo-/häm-/hämato-*, *enzephalo-*. Among the terms formed by the syntactic method of word formation, the most frequent are uncomplicated two-component phrases constructed according to the models: Adjektiv/Partizip II + Nomen im Nom or Nomen im Nom + Nomen im Gen. The formation of exogenous terms in the field of veterinary medicine occurs mainly with the help of morphological, morphological-syntactic, as well as syntactic methods of word formation.

Keywords: German veterinary terminological system, borrowings of Greek-Latin origin, term element, exogenous term, hybrid term, confix, morphological methods of word formation, word composition.

Введение (Introduction)

Проблеме влияния классических языков на национальные терминосистемы посвящено много работ по терминоведению [Виноградов, 1999; Даниленко, 1977; Крысин, 2004; Лейчик, 2009; Лотте, 1982; Суперанская, 2012; Татаринov, 2006]. Заимствования (латинизмы, грецизмы, англицизмы и галлицизмы) и их роль в процессе формирования немецкого языка неоднократно становились предметом исследований зарубежных ученых [Eisenberg, 2011; Блумфилд, 1968; Пауль, 1960; Хауген, 1972]. Много исследований посвящено роли классических языков в формировании терминосистем в области медицины в английском или немецком языках [Величкова и др., 2012; Коннова и др., 2021; Русакова, 2012; Рылкина, 2013;

Трофимова, 2015; Федина, 2011; Швецова, 2006]. Процессы заимствования, словообразования и семантической деривации, а также образование иноязычной лексики в современном немецком языке в аспекте культурной интеграции стали предметом изучения в трудах Л. А. Нефёдовой [Нефёдова, 2018; Нефёдова, 2021]; образованию новых слов при помощи экзогенных словообразовательных элементов в современном немецком языке посвящены работы О. А. Никитиной и С. А. Жилюка [Жилюк, 2014; Никитина, 2011]. В трудах ряда авторов дается анализ тенденций развития терминологии ветеринарной медицины: А. В. Котова анализирует заимствования из современных языков в латинской ветеринарной терминологии [Котова, 2021]; Е. А. Абросимова и С. И. Маджаева систематизируют результаты научных исследований ряда ученых за последнее десятилетие, посвященных типологическим особенностям ветеринарного дискурса и терминологии подъязыка ветеринарии [Абросимова и др., 2022]; вопросам классификации ветеринарных терминов в современном английском языке посвящены работы Ю. Ю. Тимкиной [Тимкина, 2017], Л. В. Ягевича [Ягевич, 2020].

Материалы и методы (Materials and methods)

Целью нашей работы является выявление путей обогащения ветеринарной терминосистемы в немецком языке экзогенными терминами, т. е. терминами-заимствованиями из классических и современных языков. В нашей работе мы использовали метод сплошной выборки немецких ветеринарных терминов, количественный, описательный, словообразовательный и компонентный методы. Объектом нашего исследования стали термины иноязычного происхождения в области ветеринарии и смежных наук в немецком языке. Предметом изучения являются экзогенные процессы в ветеринарной терминосистеме немецкого языка. Анализ осуществлялся на базе немецко-русского ветеринарного словаря [Бесхлебнов, 1996] и ветеринарного лексикона на немецком языке [Wiesner u. a., 2000].

Дискуссия (Discussion)

О. С. Ахманова понимает под заимствованием «обращение к лексическому фонду других языков для выражения новых понятий, дальнейшей дифференциации уже имеющихся и обозначения неизвестных прежде предметов», а также «слова, словообразовательные аффиксы и конструкции, вошедшие в данный язык в результате заимствования» [Ахманова, 1966, с. 145].

Д. С. Лотте выделяет в своей классификации иноязычных заимствований 4 типа: оригинальное заимствование (т. е. буквальное или трансформируемое); заимствования, состоящие из заимствуемых или уже заимствованных элементов; термины-кальки, переводные заимствования (кальки) и трансформируемые переводные заимствования; смешанные заимствования («термины-гибриды») [Лотте, 1982, с. 10-14].

Л. П. Крысин называет заимствованием «процесс перемещения различных элементов из одного языка в другой. Под различными элементами понимаются единицы различных уровней структуры языка – фонологии, морфологии, синтаксиса, лексики, семантики» [Крысин, 2004, с. 24]. Исследователь подразделяет иноязычные слова на заимствованные слова, экзотическую лексику и иноязычные вкрапления [Крысин, 2004, с. 57].

Г. Пауль пишет о двух разновидностях иноязычного влияния на язык: 1) язык заимствует иноязычный материал, 2) язык использует только свой собственный языковой материал, при этом комбинирование его элементов и их приспособление к содержанию соответствующего понятия производятся по чужеземному образцу [Пауль, 1960, с. 461-462].

Э. Хауген причисляет заимствование к одному из типов интерференции контактирующих языков, где интерференция – это «случаи отклонения от норм данного языка, появляющиеся в речи двуязычных носителей в результате их знакомства с двумя или несколькими языками» [Хауген, 1972а, с. 62]. Ученый различает заимствованные слова с частичным или полным переносом иностранной морфемы, заимствования-сдвиги и расширения [Хауген, 1972б, с. 354].

Л. Блумфилд называет языковым заимствованием «усвоение различных явлений, которые отличаются от явлений, существующих в силу основной традиции», и подразделяет заимствования на «диалектные, когда заимствованные явления приходят из того же самого языкового ареала, и заимствования из области культуры (cultural borrowing), когда заимствованные явления приходят из другого языка» [Блумфилд, 1968, с. 487-488].

С. В. Гринёв-Гриневиц подразделяет заимствования на материальное заимствование, а именно, лексическое, формальное и морфологическое; словообразовательное, фразеологическое или семантическое калькирование и смешанное заимствование, состоящее из гибридного заимствования и полужаимствования³³. В отношении иноязычной терминологической лексики ученый считает, что она заимствована из других языков полностью или отдельными аспектами, такими как форма, содержание или структура³⁴.

В научном дискурсе присутствует мнение, что заимствованные термины «засоряют» научную лексику национального языка. Вместе с тем, признавая неизбежность процесса заимствования и в целях исключения ненужных ассоциаций употребления отвлеченных от общеупотребительной лексики лексических форм в принимающем языке, ученые видят его определенные преимущества по сравнению с другими способами словообразования³⁵ [Лотте, 1968, с. 12].

³³ Гринёв-Гриневиц С. В. Терминоведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Издательский центр «Академия». 2008. С. 155-156.

³⁴ Гринёв-Гриневиц С. В. Терминоведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Издательский центр «Академия». 2008. С. 60-61.

³⁵ Гринёв-Гриневиц С. В. Терминоведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Издательский центр «Академия». 2008. С. 150, 160.

Результаты (Results)

Из общего массива исследованных ветеринарных терминологических единиц (24999 ЛЕ) в немецком языке был выявлен **12801** экзогенный ветеринарный термин, что составило **51%** от общей доли языкового материала. Языками-донорами для ветеринарной терминологии в немецком языке были изначально латинский и греческий, позже французский. Несмотря на то, что в настоящее время, как считают многие исследователи, заимствования в немецком языке появляются в основном из английского языка [Лотте, 1982, с. 91; Нефёдова, 2021, с. 154], что можно наблюдать и в ветеринарной терминологии в немецком языке [Хакимова, 2018, с. 187], всё же использование греко-латинских корней и аффиксов остается по-прежнему одним из самых активных способов образования терминов в подязыке ветеринарии. Ученые указывают на большую роль латыни как передаточного языка в пополнении ветеринарной терминологии в немецком языке, поскольку благодаря ей ветеринарная терминосистема обогатилась греческими заимствованиями и греко-латинскими терминологическими элементами, удобными тем, что они обладают, по С. В. Гринёв-Гриневичу, смысловой доступностью, точностью, краткостью и легкостью образования³⁶. На важную роль терминологических элементов при образовании терминов указывает В. П. Даниленко, говоря, что «минимальной структурной единицей в терминологии необходимо считать терминологический элемент, подразумевая под ним широкое понятие, включающее в себя на равных основаниях производящую основу, словообразующую морфему (аффиксы), слово в составе сложных слов и словосочетаний, символы в составе особого типа символа-слов» [Даниленко, 1977, с. 37].

Согласно И. Барц предметом словообразования с использованием заимствованных элементов являются слова, образованные только из заимствованных элементов, и слова, состоящие из заимствованных и нативных, т. е. исконно немецких элементов [Barz, 2005, S. 690]. Словообразование из заимствованных элементов исследователи называют экзогенным словообразованием [Жилюк, 2014].

Анализ языкового материала позволил нам выявить, что образование новых экзогенных терминов в области ветеринарии происходит при помощи следующих словообразовательных способов:

1) Морфологические способы словообразования, к которым относятся деривация и конверсия. В процессах деривации могут участвовать основы слов, корневые морфемы, аффиксы (суффиксы и префиксы). Среди деривационных способов наиболее продуктивным в рассматриваемой терминосистеме является суффиксальный способ, например, *die Abomasitis* – абомазит, *die Lipidose* – липидоз, *die Sekretion* – секреция, *die Bionik* – бионика, *die Zyste* – киста, *die Hypoxie* – гипоксия.

³⁶ Гринёв-Гриневич С. В. Терминоведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Издательский центр «Академия». 2008. С. 162.

Наиболее частотными суффиксами греко-латинского происхождения, при помощи которых образуются ветеринарные термины в немецком языке, являются следующие. Суффикс **-ie** обозначает отклонение от нормы, процесс, заболевание, болезненное состояние, а также область ветеринарных наук. Выявлено **1403** ЛЕ, образованные при помощи данного суффикса, что составило **11%** от общего массива языкового материала, например, *die Endemie* (энзоотия), *die Galaktämie* (галактоземия), *die Hernie* (грыжа). Следующим по продуктивности является суффикс **-tion**, придает термину значение действия, явления, состояния как результат действия. Выявлено **1372** ЛЕ, что составило **10,7%** от общего массива терминов, например, *die Egestion* (опорожнение (напр. кишечника)), *die Malignisation* (малигнизация, злокачественное перерождение), *die Ovulation* (овуляция). Далее по убыванию следует суффикс **-ose**, обозначающий болезнь невоспалительного характера. В языковом материале обнаружено **1089** ЛЕ (**8,5%**) с данным суффиксом, например, *die Avitellinose* (авителлиноз), *die Brugiose* (бругиоз), *die Keratose* (кератоз). Далее по убыванию следует суффикс **-itis**, использующийся в клинической терминологии и представленный **494** лексическими единицами (**3,9%**). Термины с данным суффиксом обозначают заболевание, болезненное состояние организма, воспалительный процесс, например, *die Enzephalitis* (энцефалит), *die Ovaritis* (воспаление яичника, оварит), *die Parotitis* (паротит).

Достаточно продуктивными в ветеринарной терминосистеме немецкого языка являются также следующие суффиксы. Суффикс **-tät/-ität** указывает на свойство, явление, состояние (259 ЛЕ): *die Heredität* (наследственность), *die Adaptabilität* (адаптационная способность), *die Kontagiosität* (контагиозность). Суффикс **-ismus** обозначает болезнь или свойство патологического характера (92 ЛЕ): *der Akrotismus* (акротизм), *der Kronismus* (кронизм), *der Ptyalismus* (птиализм). Суффикс **-ar/-är** (164 ЛЕ), при помощи которого образуются имена прилагательные, обозначает признак предмета или явления: *stationär* (стационарный), *segmentär* (сегментарный), *solitär* (одиночный, единичный, солитарный). Следующий по частотности суффикс **-osis** обозначает биологический процесс, патологическое состояние, заболевание невоспалительного характера (88 ЛЕ): *die Helkosis* (изъязвление; нагноение), *die Tylosis* (тилома), *die Apteriosis* (аптериоз). Суффикс **-iasis** обозначает заболевание невоспалительного характера и его развитие (33 ЛЕ): *die Filariasis* (филяриоз), *die Amöbiasis* (амебиаз); *die Helminthiasis* (гельминтоз).

К менее продуктивным суффиксам греко-латинского происхождения, которые встречаются в ветеринарной терминосистеме в немецком языке, относятся суффиксы, при помощи которых образуются имена существительные: **-arium/-erium/-orium** (*das Vivarium* – виварий), **-ase** (*die Hämostase* – гемостаз), **-enz** (*die Inappetenz* – отсутствие аппетита), **-ese** (*die Abiogenese* – абиогенез), **-id** (*der Proglottid* – проглоттида), **-ik** (*die Alloplastik* – аллопластика), **-ikum** (*das Emetikum* – рвотное средство), **-ion** (*das Chorion* – хорион), **-ment/-ement** (*das Ferment* – фермент), **-or/-tor/-ator** (*der Inseminator* – 1. техник-осеменатор; 2. шприц-катетер для искусственного осеменения), **-ur/-tur/-atur** (*die Statur* – телосложение, экстерьер), **-us/-ius** (*der Unguis* –

1. коготь, ноготь; 2. копыто), **-um/-ium** (*das Synzytium* – синцитий), **-in** (*das Zootoxin* – зоотоксин), **-om** (*das Syndrom* – синдром), а также суффиксы, участвующие в образовании имен прилагательных: **-al**, (*polylezithal* – полилецитальный), **-ant/-ent/-ient** (*fulminant* – молниеносный, скоротечный), **-ell/-iell/-uell** (*interstitiell* – интерстициальный), **-iv** (*exsudativ* – экссудативный), **-oid** (*lipoid* – липоидный).

Следующим по продуктивности способом терминообразования является префиксально-суффиксальный. В образовании ветеринарных терминов в немецком языке используются следующие префиксы греко-латинского происхождения. Префикс **anti-** со значением «против, напротив» выражает противоположность, противоборство, противодействие (114 ЛЕ): *das Antiseptikum* (антисептик), *die Antiperistaltik* (антиперистальтика). Префикс **para-** указывает на расположение рядом с органом (112 ЛЕ): *die Paratrophie* (паратрофия, дистрофия), *die Parabursitis* (парабурсит). Префикс **peri-** обозначает наружную оболочку в сочетании с названием органа (97 ЛЕ): *die Perispermatitis* (перисперматит), *die Peritendinitis* (перитендинит). Префикс **hyper-** обозначает превышение нормы, меры, указывает на усиление болезненного состояния (66 ЛЕ): *die Hypersekretion* (гиперсекреция), *die Hypertrichosis* (гипертрихоз, волосатость). Префикс **hypo-** имеет значение уменьшения признака, свойства, состояния, ослабления заболевания (58 ЛЕ): *die Hypochlorämie* (гипохлоремия), *der Hypogonadismus* (гипогонадизм). Префикс **intra-** обозначает расположение внутри тканей органа, используется в большей части для образования имен прилагательных (59 ЛЕ): *intranatal* (перинатальный, окологородовой), *intraovulär* (интраовулярный). Отметим, что префикс **endo-** является синонимичным ему, который также обозначает расположение внутри полости органа (53 ЛЕ): *die Endomykose* (эндомикоз), *die Endosporen* (эндоспоры). Префикс **mikro-** служит для образования существительных и прилагательных, придает терминам значение понятий, связанных с малыми величинами (58 ЛЕ): *die Mikroläsion* (микротравма), *die Mikrohallidose* (микрофаллидоз). Префикс **sub-** указывает на расположение под анатомическим образованием, в русском языке аналогами ему выступают «суб-» и «под-» (51 ЛЕ): *die Submineralisation* (недостаток минеральных солей в организме), *die Subkutis* (субкутис). Префикс **poly-** обозначает множественность, разнообразие состава чего-либо (49 ЛЕ): *die Polydaktylie* (полидактилия), *die Polyglobulie* (полиглобулия). Префикс **dys-** придает терминам в области ветеринарии значение «нарушение, расстройство, затруднение» (45 ЛЕ): *die Dysgenese* (дисгенезия), *die Dyszephalie* (дисцефалия). Префикс **pseudo-** обозначает нечто ложное (36 ЛЕ): *die Pseudomelanosis* (псевдомеланоз, ложный меланоз), *die Pseudotuberkulose* (ложный туберкулёз, псевдотуберкулёз).

Помимо выше названных префиксов в ветеринарной терминологии употребляются и другие префиксы греко-латинского происхождения: **a-/an-** (*die Aphonie* – афония, глухость), **ab-/abs-** (*die Abnormalität* – аномальность), **ad-/ac-/ag-/an-/ar-** (*die Analgesie* – анальгезия), **aero-** (*die Aeromonose*), **allo-/all-** (*die Allotopie* – аллтопия), **ana-** (*die Anaphylaxie* – анафилаксия), **auto-** (*die*

Autoaggression – 1. самопогрызание, самоповреждение, аутоагрессия (в звероводстве); 2. аутоиммунизация, аутосенсибилизация), **bi-** (*bisexuell* – бисексуальный, двуполой), **de-/des-** (*die Dekontamination* – деконтаминация, обеззараживание), **di-** (*die Dignathie* – дигнатия), **dia-** (*die Diabrosis* – разъедание), **dis-** (*die Disposition* – диспозиция; предрасположение, восприимчивость), **ek-** (*die Ektopie* – эктопия, смещение (органа)), **epi-** (*die Epidermis* – эпидермис), **ex-** (*die Exartikulation* – экзартикуляция (операция вычленения кости конечности или хвоста)), **exo-** (*die Exostose* – экзостоз), **hemi-** (*die Hemiataxie* – гемиатаксия), **hetero-** (*die Heterophyose* – гетерофиоз), **homo-** (*die Homologie* – гомология), **in-/il/ im-/ir-** (*die Inaktivität* – отсутствие активности), **inter-** (*die Intermission* – период ремиссии), **iso-** (*die Isosporie* – изоспория), **kon-/ko-/kor-/kol-/kom-** (con-/co-/cor-/col-/com-) (*konnatal* – врожденный, конгенитальный), **syn-/sym-** (*die Synarthrose* – синартроз), **meso-** (*die Mesozestoidose* – мезоцестозидоз), **meta-** (*die Metaplasie* – метаплазия), **mikro-/mikr-** (*die Mikroflora* – микрофлора), **mono-** (*die Monomelie* – мономелия), **multi-** (*multibiotisch* – мультибиотический), **neo-** (*die Neoplasie* – неоплазия), **ob-/of-/op-** (*die Obstipation* – запор), **post-** (*postpartal* – послеродовой), **prä-** (prae-) (*die Prämedikation* – премедикация), **retro-** (*die Retroviren* – ретровирусы), **pro-/prod-** (*die Probiotika* – пробиотики), **prot-/proto-** (*der Prototroph* – прототроф), **re-/red-** (*die Reaktivität* – реактивность), **semi-** (*die Semikastration* – частичная кастрация), **supr-/supra-** (*suprapleural* – надплевральный), **super-** (*die Supersekretion* – гиперсекреция) и др. Несмотря на большое количество префиксов греко-латинского происхождения, использующихся в образовании немецких ветеринарных терминов, префиксальный способ в рассматриваемой терминосистеме является менее продуктивным по сравнению с суффиксальным и префиксально-суффиксальными способами словообразования.

2) К морфолого-синтаксическому способу терминообразования относятся словосложение, аббревиация и эллипсис. Здесь используются простые слова, формально-структурные морфемы (*Fugenelemente*) для соединения частей сложных слов, а также конфиксы. Обратим внимание, что термин «конфикс» был предложен Г. Д. Шмидтом в 1987 г. и понимался им как вид комбинем – частотных элементов, не употребляющихся в качестве отдельной лексемы [Цит. по: Жилюк, 2014, с. 64]. По мнению немецких ученых, конфиксы представляют собой продуктивные словообразовательные элементы, которые обладают способностью выступать в качестве основ в процессах словопроизводства и словосложения, но не способны самостоятельно без участия других словообразовательных формантов образовывать отдельные слова [Donalies, 2005, s. 195].

Структурно-морфологический анализ языкового материала позволил выявить большую продуктивность экзогенных элементов в плане сочетаемости в рамках характерных для ветеринарной терминосистемы словообразовательных моделей, а также высокую вариативность в структурном и графическом отношении. В ветеринарной терминосистеме были выявлены *графические* варианты, например, *der Acinus = der Azinus*

(ацинус (функциональная единица органа)), *das Gänsekücken* = *das Gänseküken* (гусенок), *das Glucagon* = *das Glukagon* (глюкагон); фонетико-графические, например, *die Anöstrie* – *der Anöstrus* (анэструс, отсутствие течки); морфологические, например, *die Infektion* (инфекция – сущ.) – *infektiös* (инфекционный – прил.), словообразовательные, например, *die Autoimmunisation* – *die Autoimmunisierung* (аутоиммунизация); синтаксические, например, *tympanum acutum* – *die akute Tympanie* (острая тимпания), морфолого-синтаксические: композитные, например, *hypoplasia uterina* – *die Uterushypoplasie* (гипоплазия матки).

Особо следует обратить внимание на то, что конфиксы греко-латинского происхождения могут занимать в терминах препозицию и постпозицию, поскольку образование сложных экзогенных терминов в структурном отношении происходит согласно немецким ученым В. Фляйшеру и И. Барц по следующим моделям:

1) конфикс + конфикс, где оба компонента являются экзогенными элементами, например, *der Blastozyt* (бластоцит);

2) конфикс + эндогенная основа, в результате чего мы имеем дело с гибридным словообразованием, по Л. А. Нефёдовой, с «особым смешанным экзогенно-эндогенным процессом» [Нефёдова, 2021, с. 154], в котором задействованы заимствованный компонент (конфикс), являющийся экзогенным элементом, и эндогенная основа немецкого происхождения, например, *die Ketosäure* (кетокислота);

3) конфикс + экзогенная основа, например, *die Blepharoplastik* (блефаропластика), *die Chelodermatitis* (хелодерматит) [Fleischer u.a., 2012, S. 110; Fleischer u.a., 2012, S. 172-174].

На данном этапе исследования в языковом материале выявлено 146 конфиксов. Наиболее продуктивными конфиксами являются: **bakterie-** (*bacteri-*) (бактерия) (158 ЛЕ): *der Bakterienantagonismus* (бактериальный антагонизм), *die Bakteriengenetik* (генетика бактерий); **immun-** (свободный, нетронутый, чистый) (117 ЛЕ): *die Immunhämolys* (иммунный гемолиз), *die Immunbiologie* (иммунобиология); **toxi-** (яд, ядовитый, токсический) (112 ЛЕ): *die Allergotoxikose* (аллерготоксикоз), *die Autointoxikation* (аутоинтоксикация); **dermo-, dermato-, -derma** (кожа) (110 ЛЕ): *das Dermonekrotoxin* (дермонекротоксин), *die Dermomykose* (дерматомикоз); **pathia, patho-, path-** (заболевание, настроение, чувство, переживание; страдание, болезнь) (99 ЛЕ): *die Pathobiologie* (патобиология), *das Pathogen* (патогенный (болезнетворный) микроорганизм); **bio-** (явления, процессы, отрасли знаний, связанные с живыми организмами и с жизнью человека) (96 ЛЕ): *die Anaerobiosis* (анаэробноз), *die Biogenetik* (биогенетика); **hämo-/häm-/hämato-** (*haemo-*) (кровь) (80 ЛЕ): *die Hämoпротеоз* (гемопротеоз), *die Hämatochylurie* (гематохилурия); **enzephalo-** (*encephalo-*) (головной мозг) (79 ЛЕ): *das Elektroenzephalogramm* (электроэнцефалограмма), *die Enzephalographie* (энцефалография); **nekr(o)-** (некро-, омертвление; относящийся к трупу) (67 ЛЕ): *die Nekrobiose* (некробиоз), *die Nekrotomie* (некротомия); **chol-/ chole** (желчь) (65 ЛЕ): *der Cholelith* (жёлчный камень), *die Cholepathie* (заболевание

жёлчных протоков); **entero-** (кишечник, кишка, тонкая кишка) (63 ЛЕ): *die Enteroanastomose* (энтероанастомоз), *die Enterostenose* (стеноз кишечника); **myelo-, -myelia** (костный мозг; спинной мозг) (60 ЛЕ): *die Enzephalomyelitis* (энцефаломиелит), *die Hydromyelozele* (гидромиелоцеле); **leuko-** (*leuco-*) (белый, относящийся к лейкоцитам) (50 ЛЕ): *das Leukoderma* (лейкодерма), *die Hautleukose der Hühner* (болезнь Марека (нейролимфоматоз) птиц).

Выявлены также и другие конфиксы, участвующие в образовании ветеринарных терминов: **neuro-, neuro-** (нерв, нервная система) (48 ЛЕ): *die Neurodermatose* (нейродерматоз); **lymph(o)-** (лимфа) – (46 ЛЕ): *die Lympholeukose* (лимфолейкоз); **gastro-, -gastria, -gastrium** (желудок) (45 ЛЕ): *die Gasterophilose* (гастрофилез, полосчатая экзема); **philo-, -philia** (любовь, предрасположенность, склонность к чему-либо) (37 ЛЕ): *die Hämphilose* (гемофилез); **epithelio-** (эпителий) (36 ЛЕ): *das Darmepithel* (эпителий кишечника); **adeno-** (железа, лимфоузел) (32 ЛЕ): *das Adenolymphom* (аденолимфома); **hepato-** (печень) (32 ЛЕ): *die toxische Ferkelhepatodystrophie* (токсическая гепатодистрофия поросят); **hämorrhagi-** (*haemorrhagi-*) (относящийся к крови) (23 ЛЕ): *die hämorrhagische Mastitis* (геморрагический мастит); **pyo-** (гной) (23 ЛЕ): *die Fohlenpyoseptikämie* (пиосептицемия (актинобациллёз, «ранняя хромота») жеребят); **blasto-** (зачаток, бласт – зародышевая клетка) (22 ЛЕ): *die Blastomykose* (бластомикоз); **zephalo-** (*cephalo-/kephalo-* (голова)) (21 ЛЕ): *die Akanthozephalen* (скребни, акантоцефалы); **lepto-** (тонкий) (17 ЛЕ): *die Geflügelleptospirose* (лептоспироз птиц); **chromo-** (цвет, окраска; относящийся к хрому) (16 ЛЕ): *die Chromobakterien* (хромобактерии); **daktylo-** (*dactylo-, -dactylia*) (палец) (16 ЛЕ): *die Brachydaktylie* (брахидактилия, короткопалость); **tricho-** (волосы) (13 ЛЕ): *die Kaninchentrichophytie* (трихофития кроликов); **histo-** (ткань) (12 ЛЕ): *die Histochemie* (гистохимия); **stomato-** (рот) (10 ЛЕ): *die Stomatomykosis* (кандидомикоз, кандидоз), *die Paramphistomatose* (парамфистоматоз); **spiro-** (относящийся к дыханию) (10 ЛЕ): *die Adiaspiromykose* (адиаспиромикоз грызунов); **-mycosis** (грибковое заболевание) (10 ЛЕ): *die Mukormykose* (мукоормикоз, фикоормикоз, мукоормоз) и др. [Хакимова, 2023, с. 3581]. Как видно из языкового материала, присутствие огромного количества латинизмов и грецизмов в ветеринарной терминосистеме немецкого языка объясняется их высокой деривационной способностью. Греко-латинские терминологические элементы активно участвуют в образовании терминов-сложных слов, а словосложение является одним из самых продуктивных способов словообразования в немецком языке.

Сложные экзогенные термины-гибриды, образованные в результате гибридизации, под которой понимается процесс создания сложных или производных слов из компонентов, относящихся к разным языкам [Нефёдова, 2018; Barz, 2005], представлены в фактическом материале в основном словами со сложным определительным компонентом: *das Antikörpermangel/syndrom* (синдром дефицита антител), а также словами со сложным определяемым компонентом, состоящим из конфикса и экзогенной основы: *das Bärenrobber/lymphosarkom* (лимфосаркома у морских котиков).

Гибридные термины представлены следующими моделями: 1) первый (определяющий) компонент сложного слова – слово немецкого происхождения, а второй (определяемый) компонент – заимствованное, например, *der Abkalbe/termin* (срок отела), *der Sicherheits/maskulator* (щипцы для компрессионной кастрации), *das Stoffwechsellhormon* (соматотропин); 2) первый компонент сложного слова – экзогенное слово, а второй – эндогенное, например, *die Abort/seuche* (инфекционный аборт), *die Mykotoxin/vergiftung* (микотоксикоз), *die Simultan/impfung* (симультанная прививка); 3) оба компонента сложного слова являются заимствованными словами, например, *das Adaptations/syndrom* (адаптационный синдром), *die Helmintho/ovoskopie* (гельминтоовоскопия), *der Kopulations/reflex* (половой рефлекс). Следует отметить, что сложные термины-гибриды, которые состоят из компонентов эндогенного и греко-латинского происхождения, являются синонимичными дублетами по отношению к терминам, составными компонентами которых являются слова эндогенного происхождения, например, *die Leberdistomatose = der Leberegelbefall* и *die Leberegelkrankheit* (фасциолёз печени), *die Adsorbatvakzine = der Adsorbatimpfstoff* (адсорбат-вакцина), *die Amöbendysenterie = die Amöbenruhr* (амебная дизентерия). Как видно из примеров, экзогенные терминологические единицы чаще выступают первым или вторым компонентом сложного ветеринарного термина в сочетании с эндогенной или с другой экзогенной основой. Наибольшим образом в нашем языковом материале представлены детерминативные сложные термины-гибриды, в которых основное слово «детерминировано» определяющим словом. В морфологическом отношении анализируемый материал состоит в основном из сложных слов, составными компонентами которых являются имена существительные, в незначительном объеме – прилагательные или глаголы.

В ветеринарной терминосистеме встречаются также сложные экзогенные термины-гибриды, определяющим компонентом которых выступают эпонимы иностранного происхождения, чаще заимствованные из английского языка или других европейских языков, например, *die Donald-Duck-Schnabenmißbildung* (врожденная аномалия клюва «Дональд Дак»), *die Degnala-Krankheit* (болезнь Денгала, фузариотоксикоз крупного рогатого скота и буйволов), *das Chikungunya-Virus* (вирус Чикунгунья), *die Arizona-Infektion* (Аризонская инфекция, аризоноз).

Анализ языкового материала показал, что ветеринарной терминосистеме в немецком языке характерно также наличие аббревиатур, значительная часть которых в этимологическом отношении имеет иноязычное происхождение, греко-латинское или английское. Объем выборки фактологического материала составил **723** ЛЕ, из них **335** аббревиатур имеют греко-латинское происхождение (**46,3%**) и **240** аббревиатур (**33,2%**) позаимствованы из английского языка, что объясняется его ведущей ролью в мировом сообществе как языка науки. Остальные **148** аббревиатур (**20,5%**) имеют немецкое происхождение.

Среди инициальных аббревиатур иноязычного происхождения наиболее распространенными являются трехбуквенные аббревиатуры (47,8%), например, *CPD* – *Chronik pulmonary disease* (хроническое заболевание легких), *ALL* – *die akute lymphatische Leukomie* (острая лимфатическая лейкемия); вторую позицию занимают двухбуквенные аббревиатуры (19,7%), например, *CT* – *die Computertomographie* (компьютерная томография), *HC* – *die hämorrhagische Colitis* (геморрагический колит); далее по убыванию следуют четырехбуквенные аббревиатуры (9%), например, *CCVD* – *Channel catfish virus disease* (вирусная болезнь канального сома), *EHN* – *der Epizootische-Hämotoxose-Nekrose-Virus* (вирус эпизоотического гемопоэза-некроза); на последнем месте стоят однобуквенные (3,5%), например, *M* – *der Muskel* (мышца), *P* – *die Pasteurella* (пастерелла). Пятибуквенные инициальные аббревиатуры представлены единичными примерами, например, *ETEEC* – *die Enterotoxämische E. coli* (энтеротоксемическая кишечная палочка).

Помимо инициальных аббревиатур в рассматриваемой терминосистеме встречаются частично сокращенные слова, состоящие из инициальной аббревиатуры греко-латинского или английского происхождения и полнозначного слова немецкого происхождения: *β-Strahlen* (бета-лучи), *der ADI-Wert* (величина допустимой суточной дозы); усечения в виде апокопы: *Br.* – *Brucella* (бруцелла), сложные усечения, т. е. инициально-слоговые акронимы: *die HYPP* – *die hyperkaliämische periodische Paralyse* (гиперкалиемический периодический паралич), образованные также при помощи греко-латинского фонда и эндогенного языкового материала. Таким образом, большая часть аббревиатур в ветеринарной терминосистеме имеет иноязычное происхождение. Среди инициальных аббревиатур трехбуквенные являются наиболее продуктивными видами аббревиатур. Аббревиация как один из способов образования терминологической лексики занимает определенный пласт в ветеринарной терминосистеме немецкого языка, поскольку употребление аббревиатур служит закону языковой экономии и содействует разумной минимизации языковых усилий.

3) Синтаксический способ терминообразования, при котором происходит образование словосочетаний-терминов. В рассматриваемой терминосистеме представлены двух-, трёх- и многокомпонентные терминологические словосочетания, из которых наиболее продуктивными являются беспредложные двухкомпонентные словосочетания. Они построены по следующим моделям:

а) AN (Adjektiv + Nomen im Nom) – данная модель включает в себя имя существительное, выполняющее роль основного элемента, и определение, выраженное именем прилагательным, например, *die physiologische Euterläsion* (физиологический отек вымени). Данная модель является самой продуктивной в рассматриваемой терминосистеме;

б) PN (Partizip II + Nomen im Nom) – в данной модели в качестве определения выступает причастие II, например, *die fischinduzierte Anämie* (анемия, вызванная скармливанием сырой рыбы);

в) NN (Nomen im Nom + Nomen im Gen), данная конструкция состоит из двух имен существительных, второе стоящее в родительном падеже, например, *die Agranulozytose der Katzen* (панлейкопения кошек), *die Aeromonose der Karpfen* (краснуха карпов). Вторые компоненты, в большинстве своем названия животных, уточняют принадлежность заболевания тому или иному виду животных.

Разновидностью двухкомпонентных словосочетаний являются также предложные двухкомпонентные термины-словосочетания, которые образованы по модели NPrepN (Nomen im Nom + Preposition + Nomen). Первым словом является существительное в именительном падеже, а вторым – имя существительное с предлогом, стоящее либо в дательном, либо винительном падежах, например, *die Allergie vom Arthustyp* (аллергия Артюса). Второй компонент подобных терминов-словосочетаний также уточняет, конкретизирует первый. Данная модель является менее продуктивной.

В ветеринарной терминосистеме встречаются также трехкомпонентные терминологические словосочетания, однако, не являющиеся частотными. Они построены по следующим моделям:

а) ANN (Adjektiv + Nomen im Nom + Nomen im Gen), в данной модели ядерным элементом является имя существительное в именительном падеже, в препозиции стоит имя прилагательное в роли определения и в постпозиции стоит второе имя существительное, дополняющее стержневое слово, например, *enzootischer Abort der Rinder* (бруцеллез крупного рогатого скота), *infektiöse Anämie der Einhufer* (инфекционная анемия однокопытных);

б) NNN (Nomen im Nom + Nomen im Gen + Nomen im Gen), в данной модели стержневым словом является первое, уточняемое и дополняемое последующими двумя, стоящими в постпозиции, например, *die Adenopapillome der Riechschleimhaut der Schafe* (аденопапилломатоз слизистой оболочки обонятельной области овец);

в) APN (Adjektiv + Partizip I + Nomen im Nom), в данной модели стержневое слово стоит на последнем месте, поясняемое именем прилагательным и причастием I, выступающими определениями, например, *infektiöses krankheitsserregendes Agens* (инфекционный агент, патогенный возбудитель). Как видно из примеров, трехкомпонентные терминологические словосочетания являются беспредложными терминологическими словосочетаниями.

Четырехкомпонентные терминологические словосочетания встречаются в исследуемом материале единичными случаями и образованы по модели ANNN (Adjektiv + Nomen + Nomen + Nomen), например, *die ansteckende Agalaktie der Ziegen und Schafe* (инфекционная агалактия коз и овец).

Синтаксический способ терминообразования в немецком языке проявляется зачастую в трансформации латинских словосочетаний в сложные слова, например, от латинского терминословосочетания *infectio focalis* образовано в немецком языке сложное слово-термин *die Fokalinfektion* (фокальная инфекция). Приведем другие примеры: от латинского

словосочетания *abscessus apicalis* произошло немецкое слово-термин *der Apikalabszess* (апикальный абсцесс), от латинского словосочетания *abortus cervicalis* образовалось слово-термин *der Zervikalabort* (цервикальный аборт).

Заключение (Conclusion)

Подытоживая, хотелось бы подчеркнуть, что удельный вес интернационального, прежде всего греко-латинского, словообразовательного фонда в подязыке ветеринарии в немецком языке значителен и со временем будет только расширяться благодаря мировой узнаваемости. Кроме того, «лишенные условий развития греко-латинские языковые элементы стандартизуются и моносемируются» [Даниленко, 1977, с. 35], что также весьма важно для процессов обогащения терминологии. Анализ языкового материала показал, что ветеринарная терминосистема в немецком языке по своей природе является гетерогенной лексикой, в которой преобладает в большей степени терминологическая лексика, восходящая к классическим языкам вследствие интернациональности звукового оформления и семантики терминологических элементов, действия закона языковой экономии, а также их высокой способности сочетаться с любыми основами национального языка. Словообразованию ветеринарных терминов в немецком языке с участием заимствованных элементов присущ процесс гибридизации. В ветеринарной терминосистеме в большом количестве представлены производные и сложные термины-гибриды, образованные на основе сочетания заимствованной основы/конфикса греко-латинского происхождения с немецким аффиксом или немецкой основы с заимствованным аффиксом, а также сложные термины, состоящие полностью из иноязычных элементов или в сочетании с немецкими основами. Обогащение ветеринарной терминологии происходит в большей степени при помощи морфологических, морфолого-синтаксических и синтаксических способов терминообразования. Перспективой дальнейшего исследования нам представляется более глубокое изучение всей парадигмы конфиксов греко-латинского происхождения, используемых в образовании ветеринарных терминов в немецком языке.

Библиографический список

- Абросимова Е. А.* Ветеринарный дискурс в зеркале современных научных исследований: систематический обзор / Е. А. Абросимова, С. И. Маджаева // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2022. Т. 15, № 3. С. 751–758. DOI 10.30853/phil20220140. EDN TTRSUX.
- Ахманова О. С.* Словарь лингвистических терминов. М.: Советская Энциклопедия, 1966. 608 с.
- Бесхлебнов В. А.* Немецко-русский ветеринарный словарь (с указателем русских терминов) : Ок. 25000 терминов / Под ред. канд. биол. наук В.А. Бесхлебнова. М.: РУССО. 1996. 464 с.
- Блумфилд Л.* Язык. Пер. с англ. под ред. и с предисл. М. М. Гухман. М.: Прогресс. 1968. 608 с.
- Величкова С. М.* Структурно-семантические особенности медицинской терминологической лексики (на материале немецкого языка) / С. М. Величкова, Е. Н. Таранова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. 2012. №18(137). Выпуск 15. С. 47–54. EDN RMTZND.

- Виноградов В. В.* История слов: около 1500 слов и выражений и более 5000 слов, с ними связанных / В. В. Виноградов ; РАН, Отд-ние лит. и яз.: Науч. совет «Русский язык» ; Ин-т рус. яз. им. В. В. Виноградова ; [отв. ред. Н. Ю. Шведова]. М.: [б. и.], 1999. 1138 с.
- Даниленко В. П.* Русская терминология: опыт лингвистического описания. М.: Наука. 1977. 246 с.
- Жилюк С. А.* Экзогенное словообразование как особая система словообразования в немецком языке // Вестник Волгоградского гос. ун-та. Сер. 2. Языкознание. 2014. № 2 (21). С. 60-69. DOI 10.15688/jvolsu2.2014.2.8. EDN SPGCZX.
- Коннова О. В.* Функции заимствований в медицинской терминологии / О. В. Коннова, Ю. И. Хабарова, А. Н. Саулебаева // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №12-5 (114). С. 40–42. DOI 10.23670/IRJ.2021.114.12.161. EDN HRAWFV.
- Котова А. В.* Заимствования из современных языков в латинской ветеринарной терминологии // Актуальные вопросы аграрной науки : Материалы Национальной научно-практической конференции, Ульяновск, 20–21 октября 2021 года. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2021. С. 518-520. EDN JCXJWX.
- Крысин Л. П.* Русское слово, свое и чужое: Исследования по современному русскому языку и социолингвистике. М.: Языки славянской культуры, 2004. 888 с. (Studia philologica).
- Лейчик В. М.* Терминоведение: предмет, методы, структура. М.: Либроком, 2009. 256 с.
- Лотте Д. С.* Вопросы заимствования и упорядочения иноязычных терминов и терминологических элементов. М.: 1982. С. 7-112.
- Лотте Д. С.* Как работать над терминологией. Основы и методы. М.: Изд-во «Наука», 1968. 76 с.
- Нефёдова Л. А.* Активные процессы в лексике немецкого языка 2020-2021 гг. // Crede Exerto: транспорт, общество, образование, язык. 2021. № 3. С. 151-166. DOI 10.51955/2312-1327_2021_3_151. EDN PUOFWT.
- Нефёдова Л. А.* Иноязычная лексика современного немецкого языка (аспекты культурной интеграции): монография. М.: МПГУ. 2018. 184 с. EDN DPLHSZ.
- Никитина О. А.* Образование новых слов с участием экзогенных словообразовательных элементов в современном немецком языке // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. 2011. № 1. С. 568-577. EDN OWCBOW.
- Пауль Г.* Принципы истории языка. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 500 с.
- Русакова М. М.* Динамика развития медицинской терминологии на современном этапе (на примере медицинской и стоматологической терминологии) // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2012. № 11. С. 300-307. EDN PMGGFZ.
- Рылкина О. М.* Взаимодействие универсального и специфического в медицинских терминологических подсистемах (на материале русскоязычной терминологии детской кардиологии) // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 4-2. С. 324–327. EDN RUBWXB.
- Суперанская А. В.* Общая терминология: Вопросы теории / А. В. Суперанская, Н. В. Подольская, Н. В. Васильева / Отв. ред. Т. Л. Канделаки. Изд. 6-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 248 с.
- Татаринов В. А.* Общее терминоведение: энциклопедич. словарь. М.: Московский лицей, 2006. 528 с.
- Тимкина Ю. Ю.* Классификация ветеринарной терминологии в английском языке // Филологические науки. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2017. № 6-1(72). С. 156–158. EDN YNGOLV.
- Трофимова Н. А.* Семантическое освоение латинизмов и неологизмов национальными языками (на материале медицинской терминосистемы) // Современное языковое образование: инновации, проблемы, решения : Сборник научных трудов / Отв. редактор О. А. Чекун. Том Выпуск 2. М.: Московский государственный гуманитарный университет им. М. А. Шолохова, 2015. С. 128-134. EDN UALHIN.

- Федина Е. А. Заимствования как источник синонимии в медицинской терминологии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 4(51). С. 282-286. EDN MHGAMW.
- Хакимова Г. А. Способы словообразования ветеринарной терминологии в немецком языке // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2018. № 10-1(88). С. 183-192. DOI 10.30853/filnauki.2018-10-1.38. EDN VAJDKJ.
- Хауген Э. Языковой контакт // Новое в лингвистике. М.: Прогресс, 1972. Вып. VI. С. 61–80.
- Хауген Э. Процесс заимствования // Новое в лингвистике. М.: Прогресс. 1972. Вып. VI. С. 344–382.
- Швецова С. В. Современные офтальмологические термины в английском языке: способы их образования: монография. Восточно-Сибирский научный центр Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. Иркутск : Восточно-Сибирский научный центр Сибирского отделения Российской академии медицинских наук, 2006. 118 с. EDN KUTQQX.
- Ягевич Л. В. К вопросу о классификации терминологии ветеринарной медицины в современном английском языке // Преподаватель: XXI век, 2020. № 1-2. С. 342–351. DOI 10.31862/2073-9613-2020-1-342-351. EDN QUTZTT.
- Barz, I. Fremdwortbildung. Duden. Band 4. Die Grammatik. 7. völlig neu erarbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim, 2005. S. 690-695.
- Donalies, E. Das Konfix. Zur Definition einer zentralen Einheit der deutschen Wortbildung. Müller P. O. (Hg.). Fremdwortbildung: Theorie und Praxis in Geschichte und Gegenwart. 1. Aufl. Frankfurt am Main [u. a.]: Peter Lang, 2005. S. 179-198.
- Eisenberg, P. Das Fremdwort im Deutschen. Berlin : de Gruyter, 2011. 440 S.
- Fleischer, W., Barz, I. Wortbildung der deutschen Gegenwartssprache. 4., völlig neu bearb. Aufl. Tübingen: Walter de Gruyter, 2012. 484 S.
- Wiesner, E., Ribbeck, R. Lexikon der Veterinärmedizin. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, 4., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart 2000. 1630 S.

References

- Abrosimova E. A., Majaeva S. I. (2022). Veterinary discourse in the mirror of modern scientific research: a systematic review. *Philological Sciences. Questions of theory and practice*. Tambov: Diploma. 15(3): 751-758. DOI 10.30853/phil20220140. (In Russian).
- Akhmanova O. S. (1966). Dictionary of linguistic terms. Moscow: *Soviet Encyclopedia*. 608 p. (In Russian).
- Barz, I. (2005). Foreign word formation. Duden. Volume 4. The Grammar. 7. completely revised and expanded edition. Mannheim: 690-695. (In German).
- Beskhlebnov V. A. (1996). German Russian veterinary dictionary (with an index of Russian terms), Approx. 25,000 terms. Edited by kand. biol. nauk V. A. Beskhlebnov. Moscow: *RUSSO*. 464 p.
- Bloomfield L. (1968). Language. Translated from English. Edited by and with a preface by M. M. Gukhman. Moscow: *Progress*. 608 p. (In Russian).
- Danilenko V. P. (1977). Russian terminology: the experience of linguistic description. Moscow: *Nauka*. 246 p. (In Russian).
- Donalies E. (2005). Das Konfix. To define a central unit of German word formation. Müller P. O. (Ed.). Foreign word formation: theory and practice in history and the present. 1st Ed. Frankfurt am Main [u. a.]: Peter Lang: 179-198. (In German).
- Eisenberg P. (2011). The foreign word in German. Berlin : *de Gruyter*. 440 p. (In German).
- Fedina E. A. (2011). Borrowings as a source of synonymy in medical terminology. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 4(51): 282-286. (In Russian).
- Fleischer W., Barz I. (2012). Word formation of the German contemporary language. 4th, completely re-edited. Dissolution. Tübingen: *Walter de Gruyter*. 484 p. (In German).
- Haugen E. (1972). Linguistic contact. New in linguistics. Moscow: *Progress*. VI: 61-80. (In Russian).

- Haugen E. (1972). The process of borrowing. *New in linguistics*. Moscow: *Progress*. VI: 344-382. (In Russian).
- Khakimova G. A. (2018). Ways of word formation of veterinary terminology in the German language. *Philological Sciences. Questions of theory and practice*. 10-1(88): 183-192. – DOI 10.30853/filnauki.2018-10-1.38. EDN VAJDKJ. (In Russian).
- Konnova O. V., Khabarova Y. I., Saulebaeva A. N. (2021). Functions of borrowings in medical terminology. *International Scientific Research Journal*. 12-5(114): 40-42. DOI 10.23670/IRJ.2021.114.12.161 (In Russian).
- Kotova A. V. (2021). Borrowings from modern languages in Latin veterinary terminology. *Actual issues of agricultural science : Proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Ulyanovsk, October 20-21, 2021*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin: 518-520. (In Russian).
- Krysin L. P. (2004). The Russian word, one's own and another's: Research on the modern Russian language and sociolinguistics. Moscow: *Languages of Slavic Culture*. 888 p. (Studia philologica). (In Russian).
- Leychik V. M. (2009). Terminology: subject, methods, structure. Moscow: *Librocom*. 256 p. (In Russian).
- Lotte D. S. (1968). How to work on terminology. Fundamentals and methods. Moscow: *Nauka Publishing House*. 76 p. (In Russian).
- Lotte D. S. (1982). Issues of borrowing and ordering of foreign language terms and term elements. Moscow: 7-112. (In Russian).
- Nefedova L. A. (2018). Foreign language vocabulary of modern German (aspects of cultural integration): monograph. Moscow: *Moscow State University*, 2018. 184 p. (In Russian).
- Nefedova L. A. (2021). Active processes in the vocabulary of the German language 2020-2021. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3: 151-166. DOI 10.51955/2312-1327_2021_3_151. (In Russian).
- Nikitina O. A. (2011). The formation of new words with the participation of exogenous word-forming elements in modern German. *Proceedings of Tula State University. Humanities*. 1: 568-577. (In Russian).
- Paul G. (1960). Principles of the history of language. Moscow: *Publishing House of Foreign literature*. 500 p. (In Russian).
- Rusakova M. M. (2012). Dynamics of medical terminology development at the present stage (on the example of medical and dental terminology). *Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University*. 11: 300-307. (In Russian).
- Rylkina O. M. (2013). Interaction of universal and specific in medical terminological subsystems (based on the material of Russian-language terminology of pediatric cardiology). *Bulletin of Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky*. 4-2: 324-327. (In Russian).
- Shvetsova S. V. (2006). Modern ophthalmological terms in English: ways of their formation: monograph. East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. Irkutsk : *East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 118 p. (In Russian).
- Superanskaya A. V., Podolskaya N. V., Vasilyeva N. V. (2012). General terminology: Questions of theory. Edited by T. L. Kandelaki. Ed. 6-E. M.: *Book house «LIBROCOM»*. 248 p. (In Russian).
- Tatarinov V. A. (2006). General terminology: an encyclopedic dictionary. Moscow: *Moscow Lyceum*. 528 p. (In Russian).
- Timkina Yu. Y. (2017). Classification of veterinary terminology in English. *Philological Sciences. Questions of theory and practice*. Tambov: Gramota. 6-1(72): 156-158. (In Russian).
- Trofimova N. A. (2015). Semantic assimilation of Latinisms and neologisms by national languages (based on the medical terminology system). *Modern language education: innovations, problems, solutions : A collection of scientific papers*. Editor O. A. Chekun. 2. Moscow : *M. A. Sholokhov Moscow State University for the Humanities*: 128-134. (In Russian).

- Velichkova S. M., Taranova E. N. (2012). Structural and semantic features of medical terminological vocabulary (based on the material of the German language). *Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Humanities*. 18(137). 15: 47-54. (In Russian).
- Vinogradov V. V. (1999). The history of words: about 1,500 words and expressions and more than 5,000 words related to them; RAS, Ed. lit. and yaz.: Scientific. the Council «Russian Language» ; V. V. Vinogradov Institute of Russian Language ; [Edited by N. Y. Shvedov]. Moscow: [B. I.]. 1138 p.
- Wiesner, E., Ribbeck, R. (2000). Lexikon der Veterinärmedizin. *Enke im Hippokrates Verlag GmbH*, 4th, completely re-edited. Dissolution. Stuttgart. 1630 P. (In German).
- Yagevich L. V. (2020). On the classification of veterinary medicine terminology in modern English. *Teacher: XXI century*. 1-2: 342-351. DOI 10.31862/2073-9613-2020-1-342-351. (In Russian).
- Zhilyuk S. A. (2014). Exogenous word formation as a special system of word formation in the German language. *Bulletin of the Volgograd State University. Series 2. Linguistics*. 2(21): 60-69. DOI: 10.15688/jvolsu2.2014.2.8 (In Russian).

УДК 81'37

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_194

О ТЕМАТИЧЕСКОМ КОРПУСЕ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

*Людмила Михайловна Бузинова,
orcid.org/0000-0002-2721-3482,
доктор филологических наук, доцент
Московский международный университет,
Ленинградский проспект, 17
Москва, 125040, Россия
rluda@mail.ru*

*Алексей Евгеньевич Смирнов,
orcid.org/0009-0009-9644-4653,
аспирант
Московский международный университет,
Ленинградский проспект, 17
Москва, 125040, Россия
falcehorst@rambler.ru*

Аннотация. Лексика, связанная с вопросами добычи и переработки полезных ископаемых, представляет собой особый сегмент профессионального языка. Как сама горнодобывающая деятельность, испытывающая существенные изменения в ходе технологического прогресса, так и отражающий это развитие язык находятся в состоянии постоянной трансформации. Данная статья посвящена изучению тематического корпуса немецкой лексики шахтного подъема, являющегося узким сегментом горной терминологии, оставаясь при этом неотъемлемой ее частью. Предметом исследования являются терминологические единицы, используемые в научной области шахтного подъема и отобранные в результате практической переводческой деятельности из профильной технической документации, технологических описаний и инструкций. Целью исследования является изучение тематических групп, входящих в немецкую лексику шахтного подъема, с использованием теории лексико-семантического поля. Ранее такой метод анализа данной профессиональной лексики не использовался. Таким образом, актуальность работы определяется недостаточной изученностью тематического корпуса терминов, функционирующих в лексике шахтного подъема. В ходе исследования выявлены релевантные лексико-семантические группы, определено их место в структуре поля и установлены взаимосвязи данной терминосистемы в языке.

Ключевые слова: профессиональный язык, лексика шахтного подъема, термин, терминология, лексико-семантические группы, лексико-семантическое поле, немецкий язык.

ABOUT THEMATIC CORPUS OF MINE HOISTING TERMINOLOGY SYSTEM

Lyudmila M. Buzinova,
orcid.org/0000-0002-2721-3482,
Doctor of Philological Sciences, Associate Professor
Moscow International University,
17, Leningradskii Avenue
Moscow, 125040, Russia
rluda@mail.ru
Alexey E. Smirnov,
orcid.org/0009-0009-9644-4653,
PhD Student
Moscow International University,
17, Leningradskii Avenue
Moscow, 125040, Russia
falcenhorst@rambler.ru

Abstract. The lexicon related to mining and mineral processing is a special segment of the professional language. Both the mining activity itself, which experiences significant changes in the course of technological progress, and the language reflecting this development are in a state of constant transformation. This article is devoted to the study of the thematic corpus of the German mine hoisting vocabulary, which is a narrow segment of mining terminology, while remaining an integral part of it. The subject of the study are terminological units used in the scientific field of mine hoisting and selected as a result of practical translation activity from specialized technical documentation, technological descriptions and guides. The study aims to investigate thematic groups of the German mine hoisting lexicon by using the lexico-semantic field theory. Such a method of analysis has not been used for the investigated professional lexicon before. Thus, the relevance of the study is determined by the insufficient research of thematic corpus of terms functioning in the lexicon of mine hoisting. The study revealed relevant lexico-semantic groups, determined their place in the field structure and elucidated interrelations of the term system in the language.

Key words: professional language, mine hoisting vocabulary, term, terminology, lexico-semantic groups, lexico-semantic field, German.

Введение (Introduction)

Среди многообразия профессиональной лексики немецкого языка особое место занимает горная лексика, с одной стороны, имеющая глубокие исторические корни – первые упоминания о языке горняков восходят к XIII веку [Stedje et al., 2007], а, с другой стороны, непрерывно трансформирующаяся вместе с развитием своей отрасли, производства и технологий. Горная терминология – «совокупность слов и словосочетаний, обозначающих понятия в области освоения недр Земли; выполняет функцию наименований предметов (вещей, явлений, процессов), отраженных в этих понятиях» [Горная энциклопедия, б.г.]. Горная терминология включает лексику, обозначающую «предметы и их комплексы: природного (естественного) происхождения (руды, минералы, тела полезных ископаемых и т. п.) и искусственно созданные (горные машины, инструменты, приборы, сооружения); природные явления и процессы (рудообразование, миграция нефти и др.), искусственно вызванные природные явления (например,

внезапный выброс угля в шахтах), искусственные процессы (бурение, крепление, взрывание и др.)» [Горная энциклопедия, б.г.]. При этом идентичное понятие в немецкой лингвокультуре отсутствует, характерным же является сочетание «Bergmannssprache» в значении Fachsprache der Bergleute (профессиональный жаргон горняков) [Wörterbuch..., о. J.].

В этих рамочных условиях сформировалась терминосистема шахтного подъема, т. е. добычи полезных ископаемых из-под земли на поверхность посредством вертикальных или наклонных стволов. В связи с перманентным развитием терминосистемы целесообразным является изучение ее тематического корпуса. Это обуславливает теоретическую значимость настоящей работы, способствуя упорядочению исследуемой терминологии и определению основных тенденций.

Материалы и методы (Materials and methods)

Целью настоящей работы является исследование закономерностей и выявление принципов системной организации понятий шахтного подъема в немецком языке на основе лингвистических и логических критериев.

Для достижения поставленной цели было необходимо решение следующих задач:

- 1) определение корпуса немецких терминов шахтного подъема;
- 2) представление тематической организации немецкоязычной терминологии шахтного подъема;
- 3) проведение анализа структуры лексико-семантического поля (далее – ЛСП) терминосистемы «шахтный подъем» в немецком языке и выделение в составе поля релевантных лексико-семантических групп (далее – ЛСГ).

Для реализации поставленных задач был использован метод анализа лексико-семантического поля.

Практическая ценность проведенного исследования заключается в систематизации тематического корпуса за счет уточнения взаимосвязей между понятиями и, следовательно, в упорядочении терминосистемы. Накопленный практический материал может быть использован в профессиональной межкультурной коммуникации и учебной деятельности, в том числе для создания тематических терминологических словарей и разработки учебных пособий для специалистов.

Источниками материала исследования послужили немецкие термины, отобранные в результате практической переводческой деятельности в период с 2018 по 2024 год из технической и коммерческой документации компании-производителя шахтной подъемной техники.

Дискуссия (Discussion)

Первые попытки лексической организации языковой системы были предприняты в начале XX века. В 1910 г. немецкий ученый Р. Мейер дает типологию семантических полей, которые по природе обозначаемых вещей делятся на естественные, искусственные и полуискусственные [Meyer, 1910]. Термин «поле» первыми ввели Г. Ипсен, предложивший понятие

Bedeutungsfeld [Ipsen, 1924], и Й. Трир, использовавший определение Begriffsfeld [Trier, 1931]. Й. Трир полагал, что язык является устойчивой и относительно замкнутой системой, в которой слова наделены смыслами не изолированно, но в совокупности с другими, а языковая система складывается из соотносящихся друг с другом понятийных и словесных полей. При этом словесные поля полностью покрывают соответствующие понятийные. Поля характеризуются иерархическими отношениями и в течение времени меняют свою структуру, что приводит к изменению лексической системы языка [Романцова, 2005].

Теория поля получила свое развитие на различных уровнях языковой системы, что привело к возникновению грамматических, лексико-грамматических, семантических, функционально-стилистических, понятийных, синтаксических и других полей. Основная задача этой теории – установление смысловой связи слов друг с другом в языке [Кузнецова, 1963].

В современной лингвистике семантическое поле представляет собой «совокупность слов и выражений, образующих тематический ряд и покрывающих определенную область значений» [Розенталь и др., 2001, с. 430]. В основе семантических полей находятся денотаты, относящиеся к различным сферам объективного мира и человеческой действительности.

В отечественной лингвистике исследование семантического поля связано с именами таких ученых, как А. А. Потебня, М. М. Покровский, Р. А. Будагов, В. В. Виноградов, В. Г. Адмони, А. В. Бондарко и др.

Поле может быть охарактеризовано следующими признаками:

– наличием набора «средств разных уровней, связанных между собой системными отношениями» [Гулыга и др., 1969, с. 9]; эти средства, входя в состав поля, становятся его конституентами;

– наличием «общего значения, которое в той или иной степени присуще его конституентам» [Гулыга и др., 1969, с. 9];

– «взаимозависимостью и взаимоопределяемостью лексических единиц;

– непрерывностью обозначения его смыслового пространства» [Кобозева, 2000, с. 99];

– делимостью поля на центральную и периферийную сферы, что отражает ведущую роль языковых единиц, составляющих ядро [Филичева, 1977];

– распределением выполняемых полем функций между ядром и периферией [Filipcs, 1968];

– размытостью, нечеткостью границы между ядром и периферией; «конституенты поля могут принадлежать к ядру одного поля и периферии другого поля или полей»; «разные поля отчасти накладываются друг на друга, образуя зоны постепенных переходов, что является законом полевой организации системы языка» [Стернин, 1985, с. 38-39].

Современная лингвистическая наука предполагает деление лексической системы языка на микросистемы, одной из которых является ЛСП с

входящими в его структуру группами. Детальная структура ЛСП представлена И. А. Стерниным, который выделил в ней «ядерные и периферийные конституенты» [Стернин, 1985, с. 30]. Между ядром и полем распределяются выполняемые полем функции: «часть функций приходится на ядро, часть на периферию» [Стернин, 1985, с. 31]. К ядру значения относятся архисема и основные семы, к периферии – скрытые и неосновные семы. Переход от ядра к периферии не имеет четких границ, наблюдается «ближайшая и дальнейшая периферия значения» [Стернин, 1985, с. 31]. В ядре обычно находятся высокочастотные, стилистически и функционально нейтральные единицы, относящиеся к данному ЛСП. К ближней (ближайшей) периферии относятся менее частотные лексемы. Дальнюю (дальнейшую) периферию образуют низкочастотные, многозначные, принадлежащие к другим ЛСП единицы, имеющие обычно одну ограничивающую употребление функциональную сему, семантически зависящую от контекста. Здесь важно отметить «роль ассоциаций в семантике языкового знака, которые этноцентричны по определению» [Седых и др., 2023, с. 13]. Выбор ядерной лексики может быть разным, но от центрального элемента зависит величина поля, при этом если выбранный ядерный компонент не притягивает достаточно большое количество лексем, то результаты анализа лексико-семантического поля будут небогаты. Поэтому в качестве ядра должна быть выбрана стилистически нейтральная лексема.

ЛСП всегда представлено множеством значимых и взаимосвязанных элементов, между которыми наблюдается регулярная, а не единичная связь. В ЛСП отчетливо прослеживается культурно-языковая специфика проявления семантических структур.

Научная новизна работы заключается в том, что немецкая терминология шахтного подъема ранее не являлась объектом изучения лингвистов.

При этом следует отметить наличие отдельных исследований машиностроительной терминологии, в которых отмечается, что терминология машиностроения подразделяется на несколько объединяемых общностью изучаемых явлений макросистем: машиностроение для межотраслевых производств (электронная и радиопромышленность); производство оборудования для народного хозяйства (транспортное, сельскохозяйственное машиностроение); для отраслей промышленности (энергетическое металлургическое и горнорудное машиностроение); для непроизводственной сферы (коммунальное машиностроение) [Комарова, 1992].

Результаты (Results)

По итогам проведенного исследования массива данных была создана логико-понятийная схема с выделением следующих ЛСГ:

1. Производственные и технологические процессы: Fahrtdiagramm (циклограмма подъема), Fördermaschinenhalle (здание подъемных машин), Örterbau (разработка штреками);
2. Машиностроение, в том числе:

– проектирование: Bauart (тип конструкции), Normenanforderung (требование нормативной документации), Übersichtszeichnung (чертёж общего вида);

– производство/изготовление: Datenblatt (паспорт изготовления), Hersteller (производитель), Karusselldrehmaschine (карусельно-токарный станок);

– стандарты и сертификация: Schweißanweisung (спецификация процедуры сварки), Deutsche Bergbauvorschriften TAS (немецкий стандарт горнодобывающей промышленности), Übereinstimmungszertifikat (сертификат соответствия);

3. Комплектующие детали и узлы, включающие:

– механическое оборудование: Bandtraggerüst (став конвейера), Führungsschuh (направляющий башмак), Hauptwelle (коренной вал);

– гидравлическое оборудование: Druckzuschaltfunktion (функция подключения давления), Getriebeöl (редукторное масло), Hydraulikaggregat (гидравлический агрегат);

– электрическое оборудование и приводную технику: Antriebseinrichtung (приводное устройство), Direktumrichter (непосредственный преобразователь частоты), Fördermotor (подъемный двигатель);

– средства автоматизации: Automatisierungsschema (схема автоматизации), Datenlogger (регистратор данных), Schlaffseilüberwachung (контроль напуска (провисания) каната);

– комплексные машины и механизмы: Backenbrecher (щековая дробилка), Kaltwassermaschine (водоохладительная машина), Spannstation (натяжная станция);

– запасные части: Lager komplett (подшипник в сборе), Rückschlagventil (обратный клапан), Sprengring (стопорное кольцо);

4. Технические услуги:

– монтаж, шефмонтаж, пусконаладочные работы, приемочные испытания на заводе-изготовителе и площадке заказчика, эксплуатация: Einbauposition (монтажная позиция), Probelauf (индивидуальные испытания), Werksinbetriebnahme (заводские приемочные испытания);

– регулярное техническое обслуживание и ремонт: Ermüdungsbruch (усталостное разрушение), Instandhaltung (профилактическое обслуживание), Seilwechsellagerung (устройство замены канатов);

5. Внешнеэкономическая и торговая деятельность:

– логистика: Anlieferung (доставка), automatisches Lager (автоматизированный склад), Kolliliste (грузовая ведомость);

– таможенное дело: Bundesamt für Ausfuhr, BAFA (Федеральное ведомство Германии по экспорту), Konformitätserklärung (декларация о соответствии), Zolltarifnummer (код ТН ВЭД);

– коммерческие вопросы: Anzahlungsbürgschaft (банковская гарантия возврата авансового платежа), Nachsichtfrist (отсрочка платежа), Sicherungseinbehalt (гарантийное удержание);

– юридическо-правовые аспекты: Arbeitsgemeinschaft (консорциум), Eurocode (общеевропейский строительный технический кодекс), Rumpfrecht (основное право);

– финансы: Abzinsungssatz (ставка дисконтирования), Buchwert (балансовая стоимость), Gesamtergebnisrechnung (отчет о прибылях и убытках);

6. Документация (производственная, рабочая, исполнительная, сопроводительная): Betriebshandbuch (инструкция по эксплуатации), Ausführungsdokumentation (рабочая документация), Machbarkeitsstudie (технико-экономическое обоснование, ТЭО).

Распределение терминов (в единицах) по соответствующим ЛСГ в структуре поля наглядно представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Распределение ЛСГ в структуре поля

Удельный вес (в единицах и процентах) лексико-семантических групп и подгрупп внутри каждой группы приведен в Таблице 1.

Таблица 1 – Удельный вес лексико-семантических групп и подгрупп в структуре поля «Шахтный подъем»

№ группы/подгруппы	Наименование группы/подгруппы	Количество терминов, ед.	Удельный вес, %
1	Производственные и технологические процессы	206	9,76

2	Машиностроение, в том числе:	138	6,54
2.1	проектирование	88	4,17
2.2	производство/изготовление	38	1,80
2.3	стандарты и сертификация	12	0,57
3	Комплекующие детали и узлы, в том числе:	1420	67,30
3.1	механическое оборудование	617	29,24
3.2	гидравлическое оборудование	97	4,60
3.3	электрическое оборудование и приводная техника	383	18,15
3.4	средства автоматизации (АСУ)	78	3,70
3.5	комплексные машины и механизмы	172	8,15
3.6	запасные части	73	3,46
4	Технические услуги, в том числе:	149	7,06
4.1	монтаж, шефмонтаж, ПНР, испытания, эксплуатация	128	6,06
4.2	регулярное техническое обслуживание и ремонт	21	1,00
5	Внешнеэкономическая и торговая деятельность, в том числе:	147	6,97
5.1	логистика	15	0,72
5.2	таможенное дело	3	0,14
5.3	коммерческие вопросы	30	1,42
5.4	юридическо-правовые аспекты	10	0,47
5.5	финансы	89	4,22
6	Документация	50	2,37
	Всего:	2 110	100

В результате проведенного исследования в ЛСП «шахтный подъем» выделено шесть релевантных ЛСГ: «Производственные и технологические процессы», «Машиностроение», «Комплекующие детали и узлы», «Технические услуги», «Внешнеэкономическая и торговая деятельность», «Документация».

Наиболее репрезентативной ЛСГ исследуемого поля является группа «Комплекующие детали и узлы», в которой представлено более 67 % исследуемых единиц. Далее следует группа «Производственные и

технологические процессы» с почти 10 %. Удельный вес каждой из групп «Машиностроение», «Технические услуги» и «Внешнеэкономическая и торговая деятельность» составляет около 7 %. Наименьшая доля приходится на группу «Документация» – чуть более 2 %.

Внутри наиболее репрезентативной ЛСГ «Комплекующие детали и узлы» наибольшую частотность получили термины, обозначающие механическое (29 %) и электрическое оборудование, включая приводную технику (18 %). Наглядно структура этой группы приведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Распределение терминов в ЛСГ «Комплекующие узлы и детали»

Терминология шахтного подъема имеет полевою структуру. Ядро и околоядерную зону составляют термины, обозначающие оборудование, запасные части, технологические процессы производства, монтажа и эксплуатации. На периферии находится лексика, отражающая различные инфраструктурные процессы: виды документации, коммерческие и юридические аспекты. Границы между зонами являются подвижными и размытыми.

Исследуемая лексика является неотъемлемой составной частью общего языка. Подтверждением этому служат расположенные на периферии соответствующих ЛСГ термины, вошедшие в общезыковую лексику: Achse (ось), Kegel (конус), Ventil (клапан).

Исследуемая терминология шахтного подъема обладает своей спецификой. В силу высокой степени механизации процессов эта терминосистема вобрала в себя черты машиностроения, в свою очередь

включающего терминологию производства/изготовления, терминологию стандартизации и сертификации, терминологию проектирования.

Помимо этого, составной частью терминосистемы шахтного подъема является терминология, обслуживающая внешнеэкономическую деятельность и включающая такие аспекты, как внешняя торговля, логистика, таможенное дело, коммерческие, юридические и правовые вопросы.

Дополнительно следует отметить высокую подвижность границ между различными ЛСГ. Например, термины из ЛСГ «Машиностроение» в зависимости от контекста могут быть отнесены к ЛСГ «Комплектующие детали и узлы»: *Antriebstrommel* (приводной барабан), *Seillaufkranz* (канатный обод), *Wellen-Abhebe-Sensor* (датчик зазора при поднятии вала). Термины ЛСГ «Машиностроение» встречаются в ЛСГ «Документация»: *Blockschaltbild* (структурная схема), *Fließschema* (технологическая схема), *Lastenheft* (таблица нагрузок). Более того, даже в пределах одной ЛСГ возможно отнесение терминов к различным подгруппам: в ЛСГ «Комплектующие детали и узлы» один и тот же термин может обозначать как элемент оборудования, так и запасную часть: *BelüftungsfILTER* (воздушный фильтр), *Bremsbelag* (тормозная накладка), *Distanzhülse* (распорная втулка).

Заключение (Conclusion)

1. Немецкая лексика шахтного подъема характеризуется системностью, которая обеспечивается относительно малым количеством ЛСГ. Всего в ходе исследования выявлено шесть групп.

2. Наибольшим количеством терминов представлена тематическая группа «Комплектующие детали и узлы». Такой эффект обусловлен центральным местом группы в исследуемой терминосистеме и спецификой тематического корпуса.

3. Системность терминологии шахтного подъема проявляется в иерархичности терминологических единиц, наличии у них специализированного значения и отражении терминов в лексикографических источниках.

4. На периферийных участках отмечается размытость границ исследованной терминологии с общеупотребительной лексикой, что говорит об открытом и неизолированном характере терминосистемы.

5. Внутренняя структура исследуемой терминологии шахтного подъема является неоднородной и характеризуется междисциплинарным характером, поскольку в ее состав входит лексика, привлеченная из терминосистем машиностроения, электрики и электроники, юриспруденции, финансов, внешнеэкономической и торговой деятельности. Это свидетельствует о проницаемости границ с терминологиями других наук и областей знаний, подчеркивая взаимосвязи данной терминосистемы в языке.

6. Как и в ряде других профессиональных терминологических систем [Бузинова, 2018; Бузинова и др., 2021] лексика горной добычи преимущественно используется в профессиональной коммуникации. Тематическая структура лексики терминосистемы шахтного подъема

представляет собой естественную для специалистов данной сферы ситуативно-тематическую организацию понятий и явлений, представленных терминами, и отражает предметно-смысловую основу терминологической составляющей картины мира специалиста в области подземной горной добычи.

7. Несмотря на глубокие исторические корни, лексика шахтного подъема является открытой формирующейся системой терминов и отражает современное состояние этого сегмента горной добычи.

Выполненное исследование позволяет сделать прогноз о том, что исторически сформировавшийся пласт немецкоязычной горной лексики продолжит свое обогащение за счет активных терминосистем, таких как система шахтного подъема. Технологический прогресс и международные новации обеспечат дальнейшее развитие и совершенствование профессиональной терминологии, являющейся неотъемлемой частью общего языка.

Библиографический список

- Бузинова Л. М. Особенности синонимии в англоязычной экологической терминологии / Л. М. Бузинова, Е. О. Черникова // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2021. Т. 14, № 6. С. 1906-1910.
- Бузинова Л. М. О терминах «учитель» и «преподаватель» в образовательной сфере // Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты. 2018. № 40. С. 132-135. EDN UWQUXK.
- Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/t/terminologiya-gornaya/> (дата обращения: 17.02.2025).
- Гулыга Е. В. Грамматико-лексические поля в современном немецком языке / Е. В. Гулыга, Е. И. Шендельс. М.: Просвещение, 1969. 182 с.
- Кобозева И. М. Лингвистическая семантика. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 352 с.
- Комарова З. И. Пути формирования отраслевой терминологии (На материале немецкого субъязыка машиностроения). СПб., 1992. 134 с.
- Кузнецова А. И. Понятие семантической системы и методы ее исследования. М.: Изд-во МГУ, 1963. 58 с.
- Розенталь Д. Э. Словарь-справочник лингвистических терминов / Д. Э. Розенталь, М. А. Теленкова. М.: Энциклопедия, 2001. 624 с.
- Романцова Л. М. Концептуализация процессуального изменения релятивными глаголами современного немецкого языка: специальность 10.02.04 «Германские языки»: диссертация на соискание ученой степени кандидата филологических наук / Романцова Людмила Михайловна. Белгород, 2005. 159 с.
- Седых А. П. Дискурсология, междисциплинарность, регионализация / А. П. Седых, Л. М. Бузинова, Н. Д. Пашковская. Белгород: Общество с ограниченной ответственностью Эпицентр, 2023. 184 с.
- Стернин И. А. Лексическое значение слова в речи. Воронеж: ВГУ, 1985. 170 с.
- Филичева Н. И. Синтаксические поля. М.: Высшая школа, 1977. 212 с.
- Filipes J. Zur Theorie der lexikalischen Synonyme in synchronischer Sicht // Wissenschaftliche Zeitschrift der KMU Leipzig – Gesellschafts-Sprach-wissenschaftliche Reihe. 1968. 17, Heft 2/3. S. 173–191.
- Ipsen G. Der alte Orient und die Indogermanen // *Stand und Aufgaben der Sprachwissenschaft. Festschrift für Streitberg*. Hdlb., 1924. S. 200–237.

- Meyer R. Bedeutungssysteme // Zeitschrift für vergleichende Sprachforschung. 1910. Bd. 43. H. 4. S. 7–23.
- Stedje A. Deutsche Sprache gestern und heute: Einführung in Sprachgeschichte und Sprachkunde / A. Stedje, H-P. Prell. München: Fink Verlag, 2007. 277 s.
- Trier J. Der Deutsche Wortschatz im Sinnbezirk des Verstandes (Die Geschichte eines sprachlichen Feldes). Heidelberg, 1931. 347 s.
- Wörterbuch der deutschen Sprache Duden Online // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.duden.de/bergmannssprache/> (дата обращения: 18.01.2025).

References

- Buzinova L. M. (2018). About the terms “teacher” and “academic” in the educational sphere. [O terminah “uchitel” i “prepodavatel” v obrazovatelnoy sfere]. *Foreign languages: linguistic and methodological aspects. [Inostrannye yazyki: lingvisticheskie i metodicheskie aspekty]*. 40: 132–135. EDN UWQUXK. (In Russian)
- Buzinova L. M., Chernikova E. O. (2021). Features of synonymy in English-language ecological terminology. [Osobennosti sinonimii v angloyazychnoy ekologichyeskoy tyerminologii]. *Philological Sciences. Issues of theory and practice. [Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki]*. 14(6): 1906–1910. (In Russian)
- Filicheva N. I. (1977). Syntactic fields. [Sintaksicheskie polya]. Moscow: High School. [Moskva: Vyshaya Shkola]. 1977. 212 p. (In Russian)
- Filipec J. (1968). Zur Theorie der lexikalischen Synonyme in synchronischer Sicht. [On the theory of lexical synonyms from a synchronic perspective]. *Wissenschaftliche Zeitschrift der KMU Leipzig – Gesellschafts-Sprach-wissenschaftliche Reihe. [Scientific Journal of the KMU Leipzig – Social-Linguistic-Scientific Series]* 17. 2/3: 173-191. (In German)
- Gulyga E. V., Shendels E. I. (1969). Grammatiko-lexical fields in the modern German language. [Grammatiko-leksicheskie polya v sovremennom nemeckom yazyke]. Moscow: Enlightenment [Moskva: Prosveshchenie]. 1969. 182 p. (In Russian)
- Gornaya enciklopediya [Mining encyclopedia]. Available at: <http://www.mining-enc.ru/t/terminologiya-gornaya/> (accessed 17 February 2025). (In Russian)
- Ipsen G. (1924). Der alte Orient und die Indogermanen. [The ancient Orient and the Indo-Germans]. *Stand und Aufgaben der Sprachwissenschaft. Festschrift für Streitberg. [Status and tasks of linguistics. Festschrift for Streitberg]*. 200–237. (In German)
- Kobozeva I. M. (2000). Linguistic Semantics [Lingvisticheskaya semantika]. Moscow: Editorial URSS. 2000. 352 p. (In Russian)
- Komarova Z. I. (1992). Ways of forming branch terminology (On the material of the German sublanguage of mechanical engineering). [Puti formirovaniya otraslevoy terminologii (Na materiale nemeckogo subyazyka mashinostroeniya)]. Saint-Petersburg, 1992. 134 p. (In Russian)
- Kuznetsova A. I. (1963). The concept of semantic system and methods of its research. [Ponyatie semanticheskoy sistemy i metody ee issledovaniya]. Moscow: Moscow State University Press, 1963. 58 p. (In Russian)
- Meyer R. (1910). Bedeutungssysteme. [Meaning systems]. *Zeitschrift für vergleichende Sprachforschung. [Journal for Comparative Linguistics]*. 43(4): 7-23. (In German)
- Romantsova L. M. (2005). Conceptualization of procedural change by relational verbs of the modern German language: specialty 10.02.04 “Germanic languages”: dissertation for the degree of candidate of philological sciences. [Konceptualizaciya processualnogo izmeneniya relyativnymi glagolami sovremennogo nemeckogo yazyka: specialnost 10.02.04 “Germanskije yazyki”: dissertaciya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata filologicheskikh nauk]. Romantsova Ludmila Mikhailovna. Belgorod. 2005. 159 p. (In Russian)
- Rosenthal D. E., Telenkova M. A. (2001). Dictionary-reference book of linguistic terms. [Slovar-spravochnik lingvisticheskikh terminov] Moscow: Encyclopedia. 2001. 624 p. (In Russian)

- Sedykh A. P., Buzinova L. M., Pashkovskaya N. D.* (2023). Discursology, interdisciplinarity, regionalization. [Diskursologiya, mezhdisciplinarnost, regionalizaciya]. Belgorod: Epicenter Limited Liability Company. 2023. 184 p. (In Russian)
- Stedje A., Prell H.-P.* (2007). Deutsche Sprache gestern und heute: Einführung in Sprachgeschichte und Sprachkunde. [German language yesterday and today: Introduction to language history and linguistics]. München: Fink Verlag. 2007. 277 p. (In German)
- Sternin I. A.* (1985). Lexical meaning of a word in speech. [Leksicheskoe znachenie slova v rechi]. Voronezh: Voronezh State University, 1985. 170 p. (In Russian)
- Trier J.* (1931). Der Deutsche Wortschatz im Sinnbezirk des Verstandes (Die Geschichte eines sprachlichen Feldes). [The German vocabulary in the conceptual domain of the mind (The history of a linguistic field)]. Heidelberg. 1931. 347 p. (In German)
- Wörterbuch der deutschen Sprache Duden Online* [Dictionary of the German language Duden online]. Available at: <https://www.duden.de/bergmannssprache/> (accessed: 18 January 2025). (In German)

DEVELOPING STUDENTS' RECEPTIVE AND PRODUCTIVE PRONUNCIATION SKILLS IN THE CONTEXT OF HIGHER EDUCATION AND DISTANCE LEARNING

*Natalia V. Gribacheva,
orcid.org/0000-0002-9605-7866,
candidate of philological sciences
South Ural State Humanitarian Pedagogical University,
69, Lenin avenue
Chelyabinsk, 454080, Russia
gribachevanv@cspu.ru*

*Daria S. Bespalova,
orcid.org/0000-0001-8013-1091,
candidate of philological sciences
South Ural State Humanitarian Pedagogical University,
69, Lenin avenue
Chelyabinsk, 454080, Russia
bespalovads@cspu.ru*

*Olga Yu. Pavlova,
orcid.org/0000-0002-5334-9084,
candidate of historical sciences, associate professor
South Ural State Humanitarian Pedagogical University,
69, Lenin avenue
Chelyabinsk, 454080, Russia
pavlovaou@cspu.ru*

Abstract. The paper focuses on developing students' pronunciation skills in conditions of distance learning in higher education. The authors analyze the specifics of online EFL lessons (their advantages and disadvantages), list the main mistakes in teaching pronunciation and suggest the ways for teachers to avoid making them. The authors applied several methods during their research, i.e. comparative historical analysis of the up-to-date approaches to teaching pronunciation in English Teaching Methodology, observation, learning experience and project-based learning method. Special attention in the paper is given to the most efficient forms of student work during an online lesson in the aspect of acquiring natural English pronunciation and to the right way for teachers to motivate students and organize their unguided pronunciation practice activities. The importance of fostering students' pronunciation skills is proven along with the vital role of pronunciation aspect in students' communicative competence. The aim of teaching pronunciation is established with the term «threshold level of pronunciation». The article also concentrates on specific stages of online listening exercises and on the importance of doing them in the right order. Several options of facilitating the process of acquiring pronunciation skills during distance learning are offered in the article, i.e. shadowing technique, scaffolding, project work and individually-oriented approach.

Keywords: threshold level of pronunciation, oral communicative competence, phonological competence, communicative approach, pronunciation skills, distance learning, listening, connected speech, scaffolding, shadowing, project work.

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЦЕПТИВНЫХ И ПРОДУКТИВНЫХ НАВЫКОВ ПРОИЗНОШЕНИЯ НА ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

*Наталья Валерьевна Грибачева,
orcid.org/0000-0002-9605-7866,
кандидат филологических наук
Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет,
пр-т Ленина, 69
Челябинск, 454080, Россия
gribachevanv@cspu.ru*

*Дарья Сергеевна Беспалова,
orcid.org/0000-0001-8013-1091,
кандидат филологических наук
Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет,
пр-т Ленина, 69
Челябинск, 454080, Россия
bespalovads@cspu.ru*

*Ольга Юрьевна Павлова,
orcid.org/0000-0002-5334-9084,
кандидат исторических наук, доцент
Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет,
пр-т Ленина, 69
Челябинск, 454080, Россия
pavlovaou@cspu.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию методов и способов формирования и развития произносительных навыков у изучающих иностранный язык в условиях дистанционного обучения. Авторы анализируют специфику проведения занятий по иностранному языку в дистанционном формате (достоинства и недостатки данного формата обучения), рассматривают основные ошибки, потенциально присутствующие в процессе обучения правильному произношению, а также способы их устранения. В ходе исследования применялись следующие методы: метод сравнительного анализа подходов к процессу обучения произношению с точки зрения современной методики обучения иностранному языку, метод наблюдения, метод проектного обучения. Особое внимание уделяется наиболее эффективным формам работы обучающихся на занятиях в условиях дистанционного обучения, направленным на приобретение естественного иноязычного произношения, а также способам формирования мотивации обучающихся и организацию самостоятельной работы над произношением. В статье описывается необходимость формирования и развития произносительных навыков обучающихся иностранному языку в дистанционном формате, а также важность данного аспекта как составляющей коммуникативной компетенции. Цель обучения произношению сформулирована с опорой на термин «пороговый уровень произношения». Доказана важная роль аудирования в обучении произношению, а также необходимость выполнения стадий аудирования в правильном порядке. В статье предложены и детально описаны практические способы, облегчающие процесс приобретения произносительных навыков обучающимися в условиях дистанционного обучения иностранному языку: метод теневого повтора, скаффолдинг, проектная работа и личностно-ориентированный подход.

Ключевые слова: пороговый уровень произношения, устная коммуникативная компетенция, фонетическая компетенция, коммуникативный подход, обучение произношению, дистанционное обучение, аудирование, связная речь, скаффолдинг, метод теневого повтора, проектная работа.

Introduction

Developing students' pronunciation skills is one of the most challenging aspects of teaching English as a second language [Asrul et al., 2022; Kuzmyska, 2021] along with fostering students' communicative competence due to the rapid development of information technologies and the wide introduction of distance learning in the pandemic times [Advances..., 2023].

Firstly, there is an enormous stream of multimedia information regularly coming through our mind [Majeed et al., 2020], which, undoubtedly, boosts our skills of reading for gist and scanning for information [Setiawan et al., 2023]. Unfortunately, at the same time it slows down our ability to concentrate and to read for detail [Чернышов и др., 2022]. It hampers contextualization and active usage of new lexical items because students quite often ignore a significant amount of words new for them (in cases when their meaning is unclear from the context). Many students today tend to avoid using dictionaries and consequently they acquire lesser learning burden of the recently met vocabulary item [Nation, 2001]. *Learning burden* of a word includes collocations, connotative and denotative meaning, stylistic sphere of use, the correct way to pronounce it etc. [Nation, 2001]. For example, if you take the word “*fair*”, its learning burden will include several collocations (*fair hair/skin, fair game, fair way, fair share, to play fair* etc), positive connotations (*fair = proper, legal, light in color, direct, straight, consistent with rules and logic*), stylistic sphere of use (*neutral*, meaning “light-coloured” or “honest”; *sometimes archaic*, meaning “beautiful”), the right way to pronounce – [feə].

Secondly, the communicative nature of learning a language might be impaired in the conditions of distance learning [Troitskaya, 2021]. Working in pairs (and getting instant feedback from other students) is sometimes complicated due to possible technical bugs of the process.

Nevertheless, conditions of distance learning can have positive effect on students' pronunciation skills:

1) students and their teacher can easily immerse into another language and into the world cultural context regardless of where they live geographically (by using educational resources and platforms, mobile apps in English, watching films and TV series in the original etc.);

2) students have quite a lot of opportunities to communicate with native speakers (i.e. using instant messaging social platforms, social networks). This kind of experience boosts students' motivation [Kulinska, 2020], along with efficiency of the language learning process and their readiness to communicate;

3) distance learning is an opportunity for students to continue attending classes without a break in case of a lockdown;

4) a lot of teacher's attention goes to organizing students' independent work, to ensuring individually-oriented approach to teaching (in the aspects of task assignment, time limits etc.).

Materials and methods

The following research is based on several theoretical and practical methods, i.e. comparative analysis of existing literature devoted to the problem of developing students' pronunciation skills, method of observation and analysis of authors' own practical experience of teaching English in higher education to adult students in the times of COVID-19, method of learning experience and project-based learning method. For 1 year 85 students from 3 faculties (IT, Primary Education and Pre-School Education) at South Ural State Humanitarian and Pedagogical University had been observed and subjected to teaching pronunciation distantly with the methods described in the article and almost all of them reported a significant improvement of their pronunciation skills.

Discussion

The idea of developing students' skills of speaking and listening comprehension simultaneously appeared in the middle of the XX century. The method also suggested case studies for making dialogues and fostering students' speaking skills [Журий, 2008]. Later on, communicative approach proved the necessity of promoting students' pronunciation skills by introducing the term «threshold level of pronunciation» [Celce-Murcia et al., 1996]. The idea came up about a different, more realistic goal of teaching pronunciation to EFL students – not making them sound like a native speaker but evolving their pronunciation skills beyond the level where they can be understood by any English-speaking person, native and non-native alike.

Nowadays pronunciation practice is a significant part of EFL teaching approach being a component of oral communicative/phonological competence [Журий, 2008]. When overall intelligibility of a student's speech is below the threshold level of pronunciation, oral communication will be impossible regardless of this student's grammar/vocabulary skill. Consequently, one of the main goals in foreign language teaching is to develop students' pronunciation skills so that they would exceed the threshold level of pronunciation. Based on both classroom teaching and distance learning experience, it is quite efficient to combine pronunciation drill exercises with listening and communicative tasks [Al-Jarf, 2022]. Listening activities are indispensable in this case as our goal in developing *students' phonological competence* (i.e. teaching pronunciation) is not restricted purely to the mechanics of the English sounds but it also includes dealing with the complexity of the English phonological system (e.g. connected speech, linking, phonetic phenomena, –nasal/lateral plosion, linking r etc.; existence of many English accents and varieties and students' ability to understand their speakers and lead communication with them *above the threshold level* of what can be understood). Thus, the updated perspective on teaching pronunciation to students is becoming

more and more practice-oriented and cannot exist isolated from listening and speaking activities.

Results

In the context of distant learning, shaping students' phonological competence might be roughly divided into developing students' listening skills (i.e. receptive pronunciation activities) and speaking skills (i.e. productive pronunciation activities). For instance, an online lesson can revolve around properly designed tasks based on a video/audio in the original (a fragment of TV series, a movie trailer, a podcast etc.) [Киселев, 2020], listening flowing into speaking. Modern software allows all participants of an online session to watch videos without loss of quality/sound. The main mistakes, which we can make while teaching listening during an online lesson, are:

1) irregular use of listening activities or complete absence of them/replacement by other «more important» tasks (grammar, vocabulary etc.). As a result, students lack the habit and ability to perceive information in English in the oral form, and, most importantly, the skill of recognizing separate words in a conversation. It leads to possible psychological discomfort and tension in intercultural communication;

2) failure to give students the clear set of objectives before the listening part of the task begins. Students must completely understand what the aim of the listening is, what kind of information they are looking for. It ensures their success and effectiveness while completing the listening task. Listening for gist is an inseparable stage of any listening task, which should include a generalized question on comprehension of the general idea of the text. It increases students' motivation, their ability to get the general idea of the oral message, makes them foresee the general meaning of the text. A teacher should give detailed instructions, read the task with the students, elicit the meaning of any unclear vocabulary from them and check students' understanding of the instructions;

3) wrong sequence of the stages in a listening exercise (Pre-Listening, Listening for Gist, Listening For Detail, Vocabulary Discussion etc.) leads to decreased students' concentration [Guliyeva, 2024], erratic focus of their attention (e.g. when they try to do listening for gist and listening for detail at once), which, in its turn, results in failure to do the task. The mentioned stages of a listening task should be presented separately to students and in their own time;

4) prohibition against students using a script of the audio at the final stages of listening [Ryu et al., 2020]. The main problem of beginners and elementary students is that they lack the skill of recognizing already acquired vocabulary items in the connected speech. Using a script tackles the problem and creates positive psychological environment. What's more, it promotes students' own skills of linking words and therefore producing connected, naturally sounding speech. From the grammatical point of view, it might help them analyze sentence structures better (with «to be» forms and full auxiliaries lost in speech of the natives) and develops their grammar skill. Moreover, it makes it possible to discuss the lexical aspect of the typed script after listening (any new words, useful collocations etc.) and activate

them later on by making students' own sentences with them/answering the teacher's questions;

5) ignoring any new vocabulary/grammar structures/useful communicative clichés met during listening. «After Listening» stage should include work with lexical and grammatical aspect of the text. For low levels, the best way is to present the new vocabulary separately to the students and elicit the meaning of the words from them (they can get it from the context/use a dictionary, give L1 equivalents or English synonyms). It is possible to continue by asking students to use the new vocabulary in their own sentences/to make up a story with them. The teacher can also suggest doing a gap-completing exercise here;

6) lack of articulatory practice (i.e. repeating potentially difficult sounds/intonation patterns in pairs, individually etc.). Natural intonation patterns are necessary for successful communication. In students' spontaneous speech, we might hear quite a lot of L1 intonation patterns that give them out as non-native speakers faster than any wrong sound articulation. Intonation patterns used while speaking a foreign language should become natural and intuitive for students with the minimal control of the mind [Scherba, 1958]. In many aspects, learning pronunciation can be compared to learning how to play a musical instrument, which takes a lot of practice and multiple repetitive actions [Zharkova, 2016]. Thus, online English lesson also requires regular practice of pronunciation skills in various forms (e.g. dividing students into breakout rooms and organizing pronunciation drills etc.). A practice like that may include either exercises of the «listen, repeat and copy intonation and rhythm» type or detailed practice of specific intonation patterns.

7) absence of the final speaking phase of the lesson. Speaking is considered to be one of utterly motivating activities for students during which they can see the “result” of the whole process of learning a foreign language and apply the whole complex of language skills (pronunciation ones included) acquired in the process.

Keeping in mind our experience of teaching English to adult students we can suggest several recommendations how to make a speaking activity an effective part of the lesson.

A. The tasks and questions should have simple design and they should totally correspond to students' level of English (they should be understood by them on their own easily without referring to dictionaries/translating them into L1). They should not contain new words/collocations except for those learnt during the lesson.

B. Work in pairs is preferable before assessing students' speaking by the teacher. It relieves psychological tension of being assessed and allows even more practice.

C. Before the speaking phase starts, the clear set of objectives for students should be made. For instance, it might include:

- answering the given questions about the content of the video;
- giving their personal opinions on the subject;
- comparing two or more photos/concepts (e.g. *going away for holidays vs. staying in*, listing advantages and disadvantages of both ways);
- discussing a list of given problems;
- sharing their personal experiences on the topic of the lesson;

– choosing one item from the list and persuading the partner to do the same etc.

Furthermore, on higher levels we might give an *additional objective* (especially when we speak about future English teachers) which is closely connected with pronunciation. It might be:

– observing intonation patterns and trying to imitate natural intonation of English-speaking people especially while reacting to your partner's statements (which might be a problem for students in most cases);

– imitating linking between words in syntagmas and tone groups;

– following the rhythmic pattern of the English language (the alternation of stressed and unstressed syllables);

– observing the correct pronunciation of one “problematic” sound – interdental “th”, for example.

– using grammar contractions (*I'll, we're, it'd*) in speech naturally.

D. It's a good idea to revise clichés for effective speaking, i.e. clichés for expressing one's personal opinion (in my opinion, personally, I guess, I believe etc.), speech connectors (because, that's why, although, but etc.), linking phrases (moreover, furthermore, nevertheless), and pause fillers (actually, well, let me think, give me a moment). Pronounced with right intonation, such clichés make students' speech sound natural and help them go beyond the threshold level of pronunciation in communication.

E. Setting the timer might also prove useful as speaking is only a part of the lesson and we need to keep it dynamic and as concise as possible. Sufficient time limit for actual speaking in pairs on low levels is 1-3 minutes depending on the task. 1 minute is enough to express an opinion and prove your point of view or describe a picture, 3 minutes – for discussing a list of items and persuading each other. Higher level students might undoubtedly require longer time.

F. In assessing students' speaking teachers must pay attention not exclusively to mistakes in grammar/vocabulary but also to pronunciation mistakes which hamper their understanding by other English speakers, namely:

– wrong pronunciation of single sounds (e.g. [æ], [w], [θ]);

– wrong pronunciation of single words (incorrect stress, wrong sounds);

– wrong intonation (among Russian speakers of English falling tones prevail), general lack of reaction to what the other person said;

– wrong division of statements into tone groups which loses the meaning of the whole sentence;

– wrong choice of stressed words in a sentence (the ones, which are meaning-contained, should be stressed while the others should be left unstressed).

Free speaking allows students to immerse in English-speaking environment without barriers and fully put their foreign language skills (pronunciation skills included) to practice.

Building a lesson around video fragments in the original proved as being highly effective in the aspect of developing students' skills of connected speech comprehension. Such video fragments may include extracts from films, TV series, movie trailers, documentaries, YouTube videos etc. For low levels, it is a good idea

to include English subtitles, which creates a situation of success and promotes students' cognitive interest. Regular exercises in listening lead to psychological comfort in communicative situations and increases students' motivation.

Current approach to learning English regards teaching pronunciation as an inseparable part of teaching not only listening and speaking, but even grammar and vocabulary. For instance, G. Kelly suggests two possible schemes for introducing new grammar or vocabulary – MFP (Meaning, Form, Pronunciation) and MPF (Meaning, Pronunciation, Form) [Kelly, 2001]. E.g. while teaching Past Simple we need to focus on the three options of pronouncing *-ed* [d] (*called*), [t] (*looked*), [ɪd] (*waited, started*). By leaving the pronunciation aspect out at the stage of introducing new material teachers give way to typical students' mistakes in speech, such as devoicing of the end consonants/ wrong middle vowel (*food=foot, walk=work*) or imminent pronouncing of *-ed* in Past Simple verbs (*signed, walked*).

As for the methods of teaching purely pronunciation, one of the most popular activities which proved to be quite effective and convenient for the conditions of distance learning is *shadowing*. The technique was offered by A. Arguelles and it includes listening to a fragment of native speech and repeating it without any pauses. The aim here is to copy the intonation, rhythm and pronunciation as much as possible. There are several stages to this activity:

1. Choosing a model. At this stage the teacher has to choose a video/audio with a speaker that can serve as a role model/reference for targeted pronunciation ideal (usually one of the native accents, RP/GA). The fragment should not be very long (2-5 minutes) and it should be in the frame of the English course content (at best it should include vocabulary chunks and grammar constructions familiar to students).

2. Students doing a Listening Task with the chosen fragment. To keep it short, we might narrow it down to 2 parts: Listening for gist (general understanding) and Listening for detail (filling in the gaps).

3. Shadowing the speaker. Students listen to the whole sentence first, then to the first syntagma, teacher presses pause, students repeat after the speaker, copying all the phonetic aspects (intonation, manner of pronouncing separate sounds etc.), listen to the second syntagma, repeat and so on.

4. Working with the script. Students work in pairs or individually, read the script to each other without listening. The aim here is to get as close to the model as they can, imitating natural English speech.

As a result, we have a significant increase in Student Talking Time in the course of a lesson. Students might work individually, nevertheless, they are completely immersed in the language. By repetition, they subconsciously acquire not only intonation patterns and skills of connected speech but also collocations, phrases and vocabulary chunks. Shadowing technique is perfectly suitable for self-study and makes pronunciation practice more diverse.

Shadowing technique can be used in distance language learning in the form of project activity, e.g. «Movie Dubbing». Students dub a short (30 sec to 2 min) fragment of a video (a film/TV series episode/animated film) [Hai Yen, 2021]. This project can be done in pairs or in groups of three. According to the language level,

the teacher might optionally follow the stages of the project, i.e. listening to the original excerpt and discussing pronunciation peculiarities represented in the speech of characters (intonation patterns and potentially difficult sounds); reading the script aloud and practicing connected speech, the dubbing of the fragment and online presentation of the results to the group. Chosen video excerpts should correlate with students' language level, they should be semantically complete and independent from the main plot of the film. As for the assessment criteria, it should include separate points for synchronization, natural intonation, correct pronunciation and overall intelligibility of the lines recorded by the students.

Such project activities definitely boost students' motivation [Коньшева, 2002], let them express their creativity [Петрова и др., 2017], acquire English pronunciation in a natural way by repetition and, most importantly, in case of online learning, make them feel as part of the team and learning process.

Conclusion

Fostering students' pronunciation skills is considered one of the most challenging aspects of English teachers' work. In the framework of communicative approach, students' phonological competence seems to be inseparably connected with their communicative competence and it has two sides – receptive pronunciation (the act of listening) and productive pronunciation (the act of speaking). The main goal of teaching pronunciation is becoming more down-to earth and includes going beyond “threshold level of pronunciation” which would make students' speech intelligible to others in the process of communication. Distance learning of the English language, on the one hand, facilitates teaching pronunciation because it offers us a limitless choice of language resources in the original. On the other hand, it calls for thorough organization of the learning process on the teacher's side such as logical sequence of the lesson stages and various scaffolding techniques (e.g. pre-teaching the vocabulary etc.). The typical mistakes inhibiting the development of students' pronunciation skills include lack of listening activities, not setting a clear objective before the task, prohibition against using a script at the final stage of listening, insufficient articulatory practice and lack of the final speaking activity, which is crucial for putting pronunciation skills to practice. Online development of pronunciation skills requires permanent constructive feedback from the teacher and various forms of student interaction. A significant part of pronunciation practice can be done individually (shadowing technique is perfect for that) and in the form of a project (Movie Dubbing project).

Библиографический список

- Журий Т. В.* Обучение произношению в истории отечественной и зарубежной методики преподавания // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2008. № 73-2. С. 54-59. EDN MVQFKF.
- Киселев А. А.* Дистанционное обучение студентов: проблемы и перспективы его развития после пандемии коронавируса // Развитие образования. 2020. № 2(8). С. 97-100. DOI 10.31483/r-75354. EDN PATSFB.
- Коньшева А. В.* Особенности группового обучения иностранному языку. Vyalistok, 2002. С. 109-119.

- Петрова С. О.* Использование групповой работы на уроках иностранного языка / С. О. Петрова, Я. А. Чеснокова // *European Research*. Сборник статей X Международной научно-практической конференции. 2017. С. 149-151. EDN YPNETJ.
- Чернышов С. В.* Специфика обучения старшеклассников иноязычному изучающему чтению / С. В. Чернышов, Ю. О. Евтушок, А. Ю. Осипова // *Дискурс профессиональной коммуникации*. 2022. Т. 4, № 4. С. 72-85. DOI 10.24833/2687-0126-2022-4-4-72-85. EDN OVQRSG.
- Advances in distant learning in times of pandemic* / J. R. Szyrocka, J. Żywiołek, A. Nayyar, M. Naved. London: CRC Press, 2023. 299 p.
- Al-Jarf R.* YouTube videos as a resource for self-regulated pronunciation practice in EFL distance learning environments // *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*. 2022. № 4(2). P. 44–52. DOI 10.32996/jeltal.2022.4.2.4. EDN GAUXPD.
- Asrul N.* Enhancing Pronunciation Skills Through Phonetic Method / N. Asrul, A. Husda // *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*. 2022. Vol. 14, № 3. P. 4167-4176. DOI 10.35445/alishlah.v14i3.394. EDN NOSUSY.
- Celce-Murcia M.* Teaching Pronunciation: A Reference for Teachers of English to Speakers of Other Languages / M. Celce-Murcia, J. M. Goodwin. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 435 p.
- Guliyeva Z.* Teaching Listening as a receptive skill // *Proceedings of the 6th International Conference «Foundations and Trends in Research»*. Copenhagen, Denmark, 2024. P. 20-24.
- Hai Yen Tran Thi.* Using movie dubbing to improve natural English pronunciation skills // *English Teaching Forum*. 2012. № 59 (1). P. 20-25.
- Kelly G.* How to Teach Pronunciation. San-Francisco: Pearson Education, 2001. 154 p.
- Kulinska A.* Students' motivation in distant education // *Forum Filologiczne Ateneum*. 2020. № 1 (8). P. 325-343.
- Kuzmytska M.* A survey on pronunciation skills development in English: experience and strategies // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2021. № 59-2. P. 29-32. DOI 10.24412/3453-9875-2021-59-2-29-32. EDN AGGKGJ.
- Majeed N. T.* The effectiveness of multimedia technique in teaching reading comprehension to EFL preparatory school students / N. T. Majeed, Ya. Q. Hameed // *Journal of Tikrit University for Humanities*. 2020. № 27 (5). P. 119–141. DOI 10.25130/jtuh.27.5.2020.25.
- Nation I. S. P.* Learning Vocabulary in another Language. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 630 p.
- Ryu J.* An analysis of the text complexity of listening scripts of high school English textbooks using Coh-matrix / Ryu J., Jeon M. // *Korean Journal of English Language and Linguistics*. 2020. № 20. P. 363-383.
- Scherba L. V.* Selected works on linguistics and phonetics. L.: Publishing house of Lenigr. un-ta, 1958. 182 p.
- Setiawan F.* Strategies for Teaching Reading to Students With High and Low Vocabularies: Emphasizing Gist and Graphic Organizers / F. Setiawan, Yu. A. Solihah // *International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science*. 2023. Vol. 4, № 3. P. 847-856. DOI 10.38142/ijess.v4i3.572. EDN DOQTLG.
- Troitskaya Yu. V.* Development of communicative competence through distance learning // *Vestnik of Samara University*. 2021. № 27 (2). P. 70-76.
- Zharkova T. I.* Intonation as a sound pattern in communication between sociolinguistic representatives of different languages // *Innovation Development of Professional Education*. 2016. № 1 (9). P. 28-32.

References

- Al-Jarf R.* (2022). YouTube videos as a resource for self-regulated pronunciation practice in EFL distance learning environments. *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*. 4 (2): 44-52.

- Asrul N., Husda A. (2022). Enhancing pronunciation skills through phonetic method. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*. 14 (3): 4167-4176.
- Celce-Murcia M., Goodwin J. M. (1996). Teaching Pronunciation: A Reference for Teachers of English to Speakers of Other Languages. Cambridge: *Cambridge University Press*, 1996. 435 p.
- Chernyshov S., Evtushok Yu., Osipova A. (2022). Specifics of teaching foreign language reading for detailed comprehension to high school students. *Professional Discourse and Communication*. 4: 72-85. (In Russian)
- Guliyeva Z. (2024). Teaching Listening as a receptive skill. *Proceedings of the 6th International Conference «Foundations and Trends in Research»*. Copenhagen, Denmark, 2024. 20-24.
- Hai Yen T. T. (2012). Using movie dubbing to improve natural English pronunciation skills. *English Teaching Forum*. 59 (1): 20–25.
- Kelly G. (2001). How to Teach Pronunciation. San-Francisco: Pearson Education, 2001. 154 p.
- Kiselev A. (2020). Distance learning of students: problems and prospects of its development after the coronavirus pandemic. *Development of Education*. 2 (8): 97–100. (In Russian)
- Konischeva A. V. (2002). Peculiarities of team teaching of a foreign language. Bialistok, 2002. 109-119. (In Russian)
- Kulinska A. (2020). Students' motivation in distant education. *Forum Filologiczne Ateneum*. 1 (8): 325-343.
- Kuzmytska M. (2021). A survey on pronunciation skills development in English: experience and strategies. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 59-2: 29-32.
- Majeed N. T., Hameed Y. Q. (2020). The effectiveness of multimedia technique in teaching reading comprehension to EFL preparatory school students. *Journal of Tikrit University for Humanities*. 27 (5): 119-141.
- Nation P. (2001). Learning Vocabulary in another Language. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 630 p.
- Petrova S. O., Chesnokova Ya. A. (2019). Using of team work at a foreign language lesson. *European research, X International Scientific Conference*. 149-151. (In Russian)
- Ryu J., Jeon M. (2020). An analysis of the text complexity of listening scripts of high school English textbooks using Coh-metrix. *Korean Journal of English Language and Linguistics*. 20: 363-383.
- Scherba L. V. (1958). Selected works on linguistics and phonetics. Leningrad: *Publishing house of Lenigr. un-ta*, 1958. 182 p.
- Setiawan F., Solihah Yu. A. (2023). Strategies for Teaching Reading to Students With High and Low Vocabularies: Emphasizing Gist and Graphic Organizers. *International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science*. 4(3): 847-856.
- Szyrocka J. R., Żywiołek J., Nayyar A., Naved M. Advances in distant learning in times of pandemic. London: *CRC Press*, 2023. 299 p.
- Troitskaya Yu. V. (2021). Development of communicative competence through distance learning. *Vestnik of Samara University*. 27 (2): 70-76.
- Zharkova T. I. (2016). Intonation as a sound pattern in communication between sociolinguistic representatives of different languages. *Innovation Development of Professional Education*. 1(9): 28-32.
- Zhuriy T. V. (2008). Teaching pronunciation in the history of teaching approaches in Russia and abroad. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanites & Science*. 73-2: 54-59. (In Russian)

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕДАГОГИКИ

УДК 371.14

ББК 74.204

DOI 10.51955/2312-1327_2025_1_218

ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ПЕДАГОГА В ПРОСТРАНСТВЕ ИННОВАЦИОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

*Елена Михайловна Казанцева,
orcid.org/0000-0002-8561-1016,
кандидат педагогических наук, доцент
Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, д. 1
Иркутск [mailto:](mailto:kazancev2003@mail.ru), 664003, Россия
kazancev2003@mail.ru*

*Елена Николаевна Кихтенко^{1,2},
orcid.org/0000-0002-5476-4933,
¹соискатель
¹Иркутский государственный университет,
ул. К. Маркса, д. 1
Иркутск [mailto:](mailto:Kilena76@mail.ru), 664003, Россия
²ЧОУ «Образовательный комплекс «Точка будущего»,
ул. Байкальская, стр. 408
Иркутск, 664007, Россия
Kilena76@mail.ru*

*Светлана Сергеевна Люткевич,
orcid.org/0000-0002-6764-7250
ЧОУ «Образовательный комплекс «Точка будущего»,
ул. Байкальская, стр. 408
Иркутск, 664007, Россия
moonlightlutkevich@rambler.ru*

Аннотация. В работе представлена компонентная модель экзистенциального потенциала профессионального развития педагога, реализуемая в Образовательном комплексе «Точка будущего» (г. Иркутск), которая является ярким примером пространства инновационной образовательной среды, поддерживающей экзистенциальный характер профессионального развития педагогов, где саморазвитие выступает ценностным ориентиром как для педагогов, так и для обучающихся. Раскрыты особенности педагогического труда в инновационной образовательной организации: «многогранность деятельности», «высокая неопределённость условий» и «избыточность профессиональных возможностей». Приведены примеры мероприятий, способствующих раскрытию экзистенциального потенциала профессионального развития педагогов в ЧОУ «Точка будущего». Определены задачи научно-методического сопровождения как одного из ключевых условий актуализации экзистенциального потенциала педагога. Статья будет полезна специалистам сферы образования, руководителям образовательных организаций, исследователям в области экзистенциальной педагогики.

Ключевые слова: экзистенциальный потенциал, экзистенциальная исполненность, профессиональная идентичность, рефлексивная культура, профессиональное развитие педагога, инновационный образовательный комплекс.

EXISTENTIAL POTENTIAL OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF A TEACHER IN THE SPACE OF AN INNOVATIVE EDUCATIONAL COMPLEX

*Elena M. Kazantseva,
orcid.org/0000-0002-8561-1016,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Irkutsk State University,
1, K. Marx St.
Irkutsk, 664003, Russia
kazancev2003@mail.ru*

*Elena N. Kikhtenko^{1,2}
orcid.org/0000-0002-5476-4933,
¹ the applicant
¹ Irkutsk State University,
1, K. Marx St.
Irkutsk, 664003, Russia
² CHOU "Point of the Future Educational Complex",
408, Baikalskaya St.
Irkutsk, 664007, Russia,
Kilena76@mail.ru*

*Svetlana S. Lyutkevich,
orcid.org/0000-0002-6764-7250,
CHOU "Point of the Future Educational Complex",
408, Baikalskaya St.
Irkutsk, 664007, Russia,
moonlightlutkevich@rambler.ru*

Abstract. The paper presents a component model of the existential potential of a teacher's professional development, implemented in the Educational complex "Point of the Future" (Irkutsk), which is a vivid example of an innovative educational environment that supports the existential nature of teachers' professional development, where self-development acts as a value guideline for both teachers and students. The features of pedagogical work in an innovative educational organization are revealed: "versatility of activity", "high uncertainty of conditions" and "redundancy of professional opportunities". Examples of activities contributing to the disclosure of the existential potential of professional development of teachers in the private educational institution "Point of the Future" are given. The tasks of scientific and methodological support are defined as one of the key conditions for actualizing the existential potential of a teacher. The article will be useful for education professionals and heads of educational institutions.

Keywords: existential potential, existential fulfillment, professional identity, reflective culture, professional development of a teacher, innovative educational complex.

Введение

В контексте модернизации системы образования к педагогам предъявляются всё новые требования, которые обусловлены социальным заказом общества на выпускников, готовых и способных не только адаптироваться к быстроменяющимся условиям, но и ответственно

распоряжаться своей жизнью. В этой связи изменения должны произойти не только в деятельности педагога, но и в его сознании и отношении к тому, чем он непосредственно занимается.

Материалы и методы

Проведённое исследование носит теоретический характер. С помощью аксиоматического и индуктивного методов проведён анализ научной литературы и образовательной среды ЧОУ «Точка будущего» г. Иркутска по выделенным нами показателям.

Целью данного исследования являются теоретическое обоснование и содержательное наполнение компонентной модели экзистенциального потенциала профессионального развития педагога с учетом особенностей современного педагогического труда.

Дискуссия

В ситуации изменений, происходящих в системе образования в целом, актуальной становится проблема создания условий для повышения внутренней потребности педагогических работников к самореализации и проектирования такой системы научно-методического сопровождения, которая позволит педагогу уйти от традиционных, где-то шаблонных форм работы, активизировать внутренний потенциал, раскрыть личностные ресурсы, развить переживания экзистенциальной исполненности.

Категория экзистенциальной исполненности зависит от того, насколько жизнь человека наполнена смыслом, соответствует его внутренней сущности и согласию с самим собой. Профессиональная сфера является одним из ключевых аспектов, где человек может полностью раскрыть свой личностный потенциал, реализовать экзистенциальные возможности, что способствует полноценному здоровому функционированию в профессии.

Проблеме экзистенциального потенциала профессионального развития педагога посвящены многие исследования: описаны профессионально важные личностные качества [Волкова, 2022; Модель профессионального..., 2024; Тихомирова, 2023; Perla et al., 2023], рассмотрено субъективное благополучие педагогов в современных условиях [Психологические аспекты..., 2023; Субъективное благополучие..., 2024], обсуждены вопросы развития профессионально-личностной зрелости, самоэффективности, позитивной профессиональной Я-концепции [Золотарева и др., 2025; Мазилков и др., 2024], креативных качеств педагога, раскрыто такое понятие, как личностная гибкость, помогающая педагогам преодолеть противоречия между спонтанной активностью и необходимостью подчинения внешней регуляции [Абдалиева, 2008; Митина и др., 2001].

Вместе с тем весьма существенные вопросы остаются вне сферы внимания ученых, в частности в научной литературе недостаточно раскрыты возможности инновационных образовательных организаций с точки зрения развития и укрепления экзистенциального потенциала профессионального развития педагога. И это несмотря на то, что фундаментом для

профессиональной самореализации педагога является тема образовательного пространства и образовательной среды как некоей материи, влияющей на ощущение защищенности, опоры, возможности профессионально функционировать [Григорьева, 2013; Ячина и др., 2016].

В этой связи становится необходимым рассмотреть возможности среды образовательных организаций инновационного типа, от которых зависит поддержание творческой активности участников педагогического взаимодействия [Дронова, 2007; Ясвин, 2001].

Опишем модель экзистенциального потенциала профессионального развития педагога, реализуемую в Образовательном комплексе «Точка будущего» (г. Иркутск), демонстрирующую яркий пример пространства инновационной образовательной среды, поддерживающей экзистенциальный характер профессионального развития педагогов, где саморазвитие выступает ценностным ориентиром как для педагогов, так и для обучающихся.

Данная модель включает такие компоненты, как профессиональная идентичность, ценностно-смысловая регуляция личности, рефлексивная культура. Остановимся на рассмотрении каждого из них более подробно.

– Профессиональная идентичность – это осознание себя как специалиста, своей принадлежности к определенной профессиональной группе, принятие ее ценностей и норм, а также стремление к саморазвитию и самореализации в рамках данной профессии [Архипова и др., 2025]. Формирование профессиональной идентичности педагога является важным этапом его профессионального развития и становления, так как позволяет ему осознать свое место в профессии, определить свои цели и задачи, а также выработать стратегии достижения успеха в профессиональной деятельности. Профессиональная идентичность педагога является ключевым фактором, влияющим на его приверженность работе, удовлетворенность ею и чувство собственной эффективности. Таким образом, можно говорить о рассмотрении профессиональной идентичности через призму «активности» личности [Абульханова-Славская, 1987; Трушников, 2023; Kaur Bagga, 2023].

Учёные-исследователи одним из ведущих критериев профессиональной самореализации выделяют профессиональную идентичность [Поваренков, 2002, с. 115]. Зарубежные исследования, проведенные в рамках экзистенциальной парадигмы, показывают, что профессиональная идентичность тесно связана с личной идентичностью и не может быть отделена от нее [Kaur Bagga, 2023]. Именно эти аспекты определяют профессиональное развитие и успех педагога.

– Ценностно-смысловая регуляция личности представляет собой осознание своей роли и профессионального предназначения, которое включает в себя смысловой поиск, способность к выбору и активное участие в жизни. Устремленность педагога к жизненным ценностям, профессиональному саморазвитию, переживанию духовной, социальной и культурной сопричастности, а также ощущение уникальности своего профессионального пространства играют важную роль в этом процессе

[Зборовский и др., 2022; Особенности кризиса..., 2022; De Almeida Pimenta, 2023].

– Рефлексивная культура является необходимым механизмом профессиональной адаптации, совершенствования видов деятельности, а следовательно, и профессионального развития. Особую роль рефлексивный механизм играет при формировании педагогического самосознания, осознания себя в качестве его субъекта [Молчанова и др., 2019]. Основой педагогического самосознания является Я-концепция педагога, включающая образы – «Я»: идеальный и реальный и процесс постоянного соотношения как процедуру приближения к идеальному объекту педагогической деятельности.

Успешность реализации в «Точке будущего» представленной компонентной модели экзистенциального потенциала профессионального развития педагога обусловлена особенностями современного педагогического труда (см. рис. 1).



Рисунок 1 – Особенности педагогического труда в инновационной образовательной организации

Далее содержательно раскроем каждую из обозначенных особенностей более подробно.

1. Первой особенностью является многогранность профессиональной деятельности в образовании, проявляющаяся в следующих аспектах:

– Сложность, многоаспектность профессиональной картины мира.

В своей деятельности педагогу, работающему в инновационной образовательной организации, необходимо опираться на сложные культурные схемы, концепции и ценностные ориентиры. Они охватывают широкий спектр философских, психологических, культурологических и иных представлений о

сути образования человека, психологии образования и развития, содержании образовательных результатов и средствах их достижения.

– Многообразие видов профессиональной деятельности.

Педагоги образовательного комплекса не только организуют учебный процесс, но и выполняют иную деятельность: реализуют критериальную систему оценивания, проектируют индивидуальные образовательные маршруты для обучающихся, участвуют в разработке индивидуальных учебных планов, разрабатывают собственный индивидуальный проект профессионального развития, принимают участие в системе наставничества и других мероприятиях внутренней системы повышения квалификации и обмена педагогическим опытом.

– Многообразие средств и способов педагогической деятельности.

Многогранность проявляется и в многообразии средств и способов деятельности, которыми необходимо владеть педагогу, поскольку в образовательном комплексе создается инклюзивное образовательное пространство, что обуславливает обдуманый выбор инструментов для взаимодействия с каждым обучающимся, находящимся в одном классе.

– Широта содержания профессиональной деятельности.

Содержательно деятельность педагогов инновационного образовательного комплекса «Точка будущего» имеет очень широкий диапазон, поскольку она связана не только с обучением, воспитанием и развитием, но и реализацией индивидуальных и групповых творческих педагогических замыслов. Эта деятельность всегда совместная: «ее сущность – в переходе деятельности «для себя» в деятельность «для другого», «для других». В ней соединяются профессиональная и личностная самореализация педагога и его целенаправленное участие в изменении образовательной среды ЧОУ «Точка будущего» [Афонькина, 2010; Бунтова, 2014].

В этом контексте одним из актуальных вопросов является управление профессиональным развитием педагога – способствовать осознанию многогранности и сложности собственной деятельности, своего отношения к имеющейся ситуации и постановке задач собственного развития в различных ее диапазонах [Саратовцева и др., 2021; Тавстуха и др. 2022; Фонарев 2004].

Решению этого вопроса способствует внедрение индивидуальных проектов профессионального развития (далее ИППР) педагогов, являющихся средством достижения индивидуальной цели педагогического работника в области повышения профессиональной компетентности, являющейся предметом целенаправленного преобразования.

Процесс работы над ИППР включает в себя следующие этапы:

Подготовительный (диагностико-мотивационный) – на этом этапе рассматриваются актуальные вопросы реализации основных образовательных программ общего образования; заполняется опросник с целью выявления точек опоры и роста, фиксации профессиональных затруднений и дефицитов.

Результатом данного этапа является выбранная методическая тема для всего образовательного комплекса, которая исходит из профессиональных затруднений и дефицитов педагогов, согласуется с актуальными вопросами

реализации основных образовательных программ общего образования, направлением инновационной деятельности, заданного директором ЧОУ «Точка будущего» в виде целевых ориентиров на учебный год.

Второй этап – проектировочный, результатом которого представлен спроектированный индивидуальный проект профессионального развития педагога (далее ИППР).

На третьем этапе осуществляется реализация ИППР, включая презентацию промежуточных итогов. В качестве результата выступают показатели профессионального роста педагогов, реализация заявленных промежуточных результатов ИППР на заседаниях методических объединений и других мероприятиях образовательного комплекса или вне него.

На заключительном, рефлексивном этапе происходит заполнение рефлексивного опросника по итогам реализации ИППР. Результаты ИППР представляются на заседании методического объединения.

Таким образом, создаются условия для профессионального роста педагогических работников с учетом их индивидуальных потребностей; педагогические работники мотивируются к саморазвитию, постоянному профессиональному росту; активизируется профессиональное творчество, поддержка реализации индивидуальных творческих замыслов, развитие навыков профессиональной рефлексии; у педагогов формируются адекватные представления о профессиональном и актуальные представления о личностном развитии [Филинкова 2012]; педагоги учатся целенаправленно и осмысленно проектировать своё ближайшее профессионально-личностное будущее через реализацию ИППР.

Одной из форм профессионального саморазвития педагога является участие в работе творческих проектировочных групп (далее ТПГ) образовательного комплекса. Целью деятельности ТПГ являются решение актуальных проблем образовательного комплекса в рамках групповой инновационной деятельности, проверка эффективности инноваций коллективным поиском и проверкой, отработкой и внедрением лучших традиционных и новых образцов педагогической деятельности, взаимным профессиональным общением. Профессиональный интерес педагогов в рамках проектировочной деятельности сосредоточен на вопросах цифровизации образовательного процесса, психодидактического проектирования технологий и систем, дидактического использования пространств школы, развития детской одарённости, моделирования системы формирования функциональной грамотности. Данная форма работы дает возможность педагогам выйти на новый уровень осмысления своей профессиональной позиции, активировать внутренние личностные ресурсы, достичь высокого экзистенциального уровня преподавания, что проявляется в субъектном отношении к деятельности, жизни в целом, профессиональном призвании.

2. Следующей особенностью, требующей рассмотрения, является труд в ситуации высокой неопределенности.

Источниками неопределенности в деятельности педагогов «Точки будущего» выступают: а) изменчивость социального заказа по отношению к выпускникам и к педагогам, раскрывающегося в требованиях ФГОС и ФООП разных уровней, профессиональных стандартах; завышенные ожидания со стороны всех участников образовательного процесса, появление различных инноваций в образовании и др.

Чем больше степень неопределенности, тем больше возможностей открывается перед педагогом для принятия собственных решений, создания инновационной педагогической среды, сравнения с ожидаемыми стандартами и взятия ответственности на себя.

Из приведенного выше следуют задачи научно-методического сопровождения, которое является ключевым условием актуализации экзистенциального потенциала педагога:

- помощь в принятии неопределенности как объективного условия деятельности, развитие гибких стратегий целеполагания и планирования, профессиональной рефлексии;

- помощь в развитии способности и готовности проектировать свою деятельность на самом устойчивом к неопределенности уровне – уровне ценностей и смыслов, а не средств или даже целей;

- помощь педагогам в освоении методов ситуационного анализа, развитии умений креативного, уникального реагирования на возникшую профессиональную или жизненную ситуацию.

3. Немаловажным является рассмотрение избыточности профессиональных возможностей, существующее в образовательном комплексе. Избыточность в данном случае понимается как превышение существующих параметров деятельности.

Избыточность порождает несколько интересных особенностей деятельности педагога в инновационной образовательной организации.

С одной стороны, а) задает, условно говоря, «зону ближайшего развития», показывает, куда и как можно двигаться в собственном профессиональном развитии; б) ставит педагога в ситуацию постоянного личного выбора: чем заниматься, куда двигаться, какими средствами решать свои профессиональные задачи; в) повышает уверенность человека в собственных действиях в силу того, что у него всегда есть возможность опереться на те или иные средства и ресурсы.

С другой, избыточность ограничивает возможность для методиста задать педагогам четкие рамки его деятельности, выбора целей и инструментов собственного развития. Однако при этом возникает важная задача научно-методического сопровождения – помощь в осознании возможностей среды, развитие у педагогов навыка анализа среды и соотнесения со своими проблемами и запросами, использования среды для собственного профессионального развития и личностного роста.

Заключение

В заключение, отметим, что экзистенциальный потенциал профессионального развития педагога в пространстве инновационного образовательного комплекса заключается в возможности постоянно совершенствоваться, самореализовываться и находить новые смыслы в своей педагогической деятельности. Образовательная организация, обладающая характеристиками инновационности, предоставляет уникальные возможности для профессионального роста и развития педагога, способствует адаптации к изменяющимся образовательным потребностям обучающихся и вызовам современности.

Именно в рамках инновационной образовательной организации педагог может развивать свои экзистенциальные качества, такие как ответственность, самоанализ, рефлексия, критическое мышление и креативность. Это позволяет ему находить наиболее эффективные способы взаимодействия с обучающимися, учитывать их индивидуальные особенности и потребности, а также создавать условия для успешной самореализации каждого ребенка.

Таким образом, экзистенциальный потенциал профессионального развития педагога в инновационном образовательном комплексе представляет собой уникальную возможность для его личностного и профессионального роста, что в свою очередь способствует повышению качества образования и развитию общества в целом.

Библиографический список

- Абдалина Л. В.* Профессиональное развитие педагога в системе повышения квалификации. Монография. Воронеж: НОУ "НПИОЦ", 2008. 224 с.
- Абульханова-Славская К. А.* Жизненные перспективы личности // Психология личности и образ жизни / под ред. Е. В. Шороховой. М.: Наука, 1987. 219 с. EDN TGCITZ
- Архипова И. Е.* Взаимосвязь профессиональной идентичности с оценкой образовательной среды вуза студентами психологического направления обучения / И. Е. Архипова, В. А. Капустина, М. А. Матюшина // Перспективы науки и образования. 2025. №1.
- Афонькина Ю. А.* Профессиональное развитие как предмет психологического исследования: научный анализ отечественных концепций // Научно-теоретический журнал выпуск. 2010. № 2 (4). С. 34-40. EDN UISORR
- Бунтова А. В.* Содержание профессиональной деятельности современного педагога // Вестник ПензГУ. 2014. №1 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-professionalnoy-deyatelnosti-sovremennogo-pedagoga> (дата обращения: 01.03.2024).
- Волкова Е. Н.* Личностные особенности учителя XXI века: анализ эмпирических исследований проблемы // Образование и наука. 2022. Т. 24. № 3. С. 126-157. DOI 10.17853/1994-5639-2022-3-126-157. EDN SSTLAT
- Волкова Е. Н.* Модель профессионального благополучия педагогов дошкольных образовательных учреждений / Е. Н. Волкова, О. М. Исаева, Ю. Э. Макаревская, А. В. Кисель // Интеграция образования. 2024. Том 28, №2. С. 282-301. DOI 10.15507/1991-9468.115.028.202402.282-301. EDN FLSTHS
- Григорьева А. А.* Экзистенциальный потенциал профессиональной самореализации педагога // Ярославский педагогический вестник. 2013. №1 // [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekzistentzialnyy-potentsial-professionalnoy-samorealizatsii-pedagoga> (дата обращения: 19.04.2024).
- Дронова Т. А.* Формирование интегрально-креативного стиля мышления будущих педагогов в образовательной среде вуза: монография. М.: Издательство Московского

- психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО "МОДЭК", 2007. 367 с. EDN QVRMZD
- Зборовский Г. Е.* Научно-педагогические работники как социальная общность в меняющихся условиях академического развития / Г. Е. Зборовский, П. А. Амбарова // Образование и наука. 2022. Т. 24. №5. С. 147-180. DOI 10.17853/1994-5639-2022-5-147-180. EDN DQKMBA
- Золотарева А. В.* Исследование комплекса профессиональных компетенций педагога дополнительного образования: инструменты и результаты / А. В. Золотарева, Н. А. Мухамедьярова, И. Г. Харисова // Перспективы науки и образования. 2025. №1. С. 45-48.
- Мазилев В. А.* Психологический анализ педагогических компетенций в структуре профессиональной подготовки учителя / В. А. Мазилев, Ю. Н. Слепко // Интеграция образования. 2024. Т. 28. №4. С. 514-532. DOI 10.15507/1991-9468.117.028.202404.514-532. EDN CQQKGM
- Митина Л. М.* Эмоциональная гибкость учителя: психологическое содержание, диагностика, коррекция / Л. М. Митина, Е.С. Асмаковец. М.: Флинта. 2001. 190 с. EDN UHDKNL
- Молчанова Л. Н.* Рефлексивно-смысловая регуляция состояния психического выгорания у педагогов специального коррекционного образовательного учреждения и оценивание ее эффективности / Л. Н. Молчанова, А. А. Кузнецова // Перспективы науки и образования. 2019. № 2(38). С. 212-228. DOI 10.32744/pse.2019.2.16. EDN DJLOTD
- Особенности кризиса утраты профессии у педагогов позднего возраста / Э. Э. Сыманюк, Г. И. Борисов, А. А. Печеркина, В. В. Савельев // Образование и наука. 2022. Т. 24. №4. С. 200-244. DOI 10.17853/1994-5639-2022-4-200-244. EDN DRZLNU
- Поваренков Ю. П.* Психологическое содержание профессионального становления человека. М.: УРАО, 2002. 160 с. EDN SBMUUX
- Психологические аспекты профессиональной деятельности и благополучие женщин в сфере образования: возрастная динамика и гендерное сравнительное корреляционное исследование / Е. Г. Денисова, П. Н. Ермаков, Н. В. Сылка, И. В. Куприянов // Образование и саморазвитие. 2023. Том 18. №4. С. 72-86. DOI 10.26907/esd.18.4.07. EDN IZQJOJ
- Саратовцева Н. В.* К вопросу о толковании понятий "управление", "профессиональное развитие", "управление профессиональным развитием педагога" / Н. В. Саратовцева, И. Р. Дасаева // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2021. № 10. С. 118-120. EDN FVLZHZ
- Субъективное благополучие преподавателей в современных условиях: эмоционально-личностные и метакогнитивные предикторы / Е. Г. Денисова, П. Н. Ермаков, И. В. Абакумова, Н. В. Сылка // Психологическая наука и образование. 2024. Т. 29. №1. DOI 10.17759/pse.2024290102. EDN LJHUWK
- Тавстуха О. Г.* Научно-методическое сопровождение развития профессиональной готовности педагогов к минимизации рисков низкой адаптивности учебного процесса / О. Г. Тавстуха, Э. Р. Сайтбаева, Л. Ю. Шавшаева // Перспективы науки и образования. 2022. № 6(60). С. 659-681. DOI 10.32744/pse.2022.6.40. EDN RBXEVI
- Тихомирова О. В.* Профессиональная компетентность педагога допрофессиональной педагогической подготовки школьников: разработка уровневых показателей // Образование и саморазвитие. 2023. Том 18, №4. С. 171-186. DOI 10.26907/esd.18.4.13. EDN QPYPNK
- Трушников Е. А.* Анализ профессиональной идентичности учителя на материале педагогических нарративов студентов-практикантов: лингвокогнитивный аспект // Вестник ПНИПУ. Проблемы языкознания и педагогики. 2023. № 4. С. 153-163. DOI 10.15593/2224-9389/2023.4.12. EDN BLRYXH
- Филинкова Е. Б.* Мотивация ухода учителей из педагогической сферы // Психолого-педагогические исследования. 2012. Т. 17. №2. С. 21-37. EDN PASCUI

- Фонарев А. Р. Развитие личности в процессе профессионализации // Вопросы психологии. 2004. № 6. С. 54-62.
- Ясвин В. А. Образовательная среда. От моделирования к проектированию. М.: Смысл, 2001. 363 с.
- Ячина Н. П. Формирование общекультурных компетенций будущего учителя в условиях реализации инновационной модели педагогического образования / Н. П. Ячина, Е. О. Шишова // Образование и саморазвитие. 2016. №2 (48). С. 86-93. EDN WMRTPJ
- De Almeida Pimenta M. A. Competence of the Modern Educator: In Search of Finding Values (Brazilian case) // Education and Self-Development. 2023. Vol. 18, № 3. P. 92-99. DOI 10.26907/esd.18.3.06. EDN NWBGKS
- Kaur Bagga M. Being, Becoming, and Belonging: Professional Identity of Teacher Educators / M. Kaur Bagga // Education and Self-Development. 2023. Vol. 18, No. 3. P. 38-49. DOI 10.26907/esd.18.3.03. EDN MUUGBJ
- Perla, L. The Documentation for the School System Evaluation and the Teachers Professional Development: A University-school Collaborative Research in Italy / L. Perla, L. S. Agrati, V. Vinci // Education and Self-Development. 2023. Vol. 18, № 3. P. 69-91. DOI 10.26907/esd.18.3.05. EDN NPDOOU

References

- Abdalina L. V. (2008). Professional development of a teacher in the professional development system. Monograph. Voronezh: *NOU "NPIOС"*, 2008. 224 p. (In Russian)
- Abulkhanova-Slavskaya K. A. (1987). Life prospects of personality. *Psychology of personality and lifestyle* / ed. by E. V. Shorokhova. Moscow: *Nauka*, 1987. 219 p. (In Russian)
- Arxipova I. E., Kapustina V. A., Matyushina M. A. (2025). The relationship of professional identity with the assessment of the educational environment of the university by students of the psychological field of study. *Prospects of science and education*. 1. (In Russian)
- Afonkina Yu. A. (2010). Professional development as a subject of psychological research: scientific analysis of domestic concepts. *Scientific and theoretical journal issue*. 2 (4): 34-40. (In Russian)
- Kaur Bagga M. (2023). Professional development as a subject of psychological research: scientific analysis of domestic concepts. *Education and self-development*. 18(3): 38-49. (In Russian)
- Buntova A. V. (2014). The content of professional activity of a modern teacher. *Bulletin of Penza State University*. 1(5). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-professionalnoy-deyatelnosti-sovremennogo-pedagoga> (accessed 01 March 2024). (In Russian)
- Volkova E. N. (2022). Personal characteristics of a teacher of the 21st century: an analysis of empirical research on the problem. *Education and science*. 24(3): 126-157. (In Russian)
- Volkova E. N., Isaeva O. M., Makarevskaya Yu. E., Kisel` A. V. (2024). The model of professional well-being of teachers of preschool educational institutions. *Integration of education*. 28(2): 282-301. (In Russian)
- Grigor`eva A. A. (2013). The existential potential of a teacher's professional self-realization. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekzistentsialnyy-potentsial-professionalnoy-samorealizatsii-pedagoga> (accessed 19 April 2024).
- Denisova E. G., Ermakov P. N., Sy`lka N. V., Kupriyanov I. V. (2023). Psychological aspects of professional activity and well-being of women in education: age dynamics and gender comparative correlation study. *Education and self-development*. 18(4): 72-86. (In Russian)
- Denisova E. G., Ermakov P. N., Abakumova I. V., Sy`lka N. V. (2024). Subjective well-being of teachers in modern conditions: emotional, personal and metacognitive predictors. *Psychological science and education*. 29(1). (In Russian)
- Dronova T. A. (2007). Formation of an integral and creative style of thinking of future teachers in the educational environment of the university: monograph. Moscow: *Publishing House of the Moscow Psychological and Social Institute*; Voronezh: *Publishing house of NPO MODEK*, 2007. 367 p. (In Russian)

- Zborovskij G. E., Ambarova P. A. (2022) Scientific and pedagogical workers as a social community in the changing conditions of academic development. *Education and science*. 24(5): 147-180. (In Russian)
- Zolotareva A. V., Muxamed`yarova N. A., Xarisova I. G. (2025). Research of the complex of professional competencies of a teacher of additional education: tools and results. *Prospects of science and education*. 1: 45-48. (In Russian)
- Mazilov V. A., Slepko Yu. N. (2024). Psychological analysis of pedagogical competencies in the structure of teacher training. *Integration of education*. 28(4): 514-532. (In Russian)
- Mitina L. M., Asmakovets E. S. (2001). Emotional flexibility of a teacher: psychological content, diagnosis, correction. Moscow: *Flint*, 2001. 190 p. (In Russian)
- Molchanova L. N., Kuzneczova A. A. (2019). Reflexive-semantic regulation of the state of mental burnout among teachers of a special correctional educational institution and assessment of its effectiveness. *Prospects of science and education*. 2(38): 212-228. (In Russian)
- Perla L., Agrati L. S., Vinchi V. (2023). The Documentation for the School System Evaluation and the Teachers Professional Development: A University-school Collaborative Research in Italy *Education and self-development*. 18(3): 70-91. (In Russian)
- De Almeida Pimenta M. A (2023). Competence of the Modern Educator: In Search of Finding Values (Brazilian case). *Education and self-development*. 18(3): 92-99. (In Russian)
- Povarenkov Yu. P. (2002). The psychological content of a person's professional development. Moscow: *URAO*, 2002. 160 p. (In Russian)
- Saratovtseva N. V., Dasaeva I. R. (2021). On the question of the interpretation of the concepts of "management", "professional development", "management of professional development of a teacher". *Collections of conferences of SIC Sociosphere*. 10: 118-120. (In Russian)
- Sy`manyuk E. E., Borisov G. I., Pecherkina A. A., Savel`ev V. V. (2022). Features of the profession loss crisis among late-age teachers. *Education and science*. 24(4): 200-244. (In Russian)
- Tixomirova O. V. (2023). Professional competence of a teacher of pre-professional pedagogical training of schoolchildren: development of level indicators. *Education and self-development*. 18(4): 171-186. (In Russian)
- Tavstukha O. G., Saitbayeva E. R., Shavshaeva L. Y. (2022). Scientific and methodological support for the development of professional readiness of teachers to minimize the risks of low adaptability of the educational process. *Prospects of science and education*. 6(60): 659-681. DOI 10.32744/pse.2022.6.40. (In Russian)
- Trushnikova E. A. (2023). Analysis of a teacher's professional identity based on the pedagogical narratives of student trainees: linguistic and cognitive aspect. *Bulletin of PNRPU. Problems of linguistics and pedagogy*. 4: 153-163. (In Russian)
- Filinkova E. B. (2012). Motivation for teachers to leave the teaching field. *Psychological and pedagogical research*. 17(2): 21-37.
- Fonarev A. R. (2004). Personality development in the process of professionalization. *Questions of psychology*. 6: 54-62. (In Russian)
- Yachina N. P., Shishova E. O. (2016). Formation of general cultural competencies of a future teacher in the context of the implementation of an innovative model of teacher education. *Education and self-development*. 2(48): 86-93. (In Russian)
- Yasvin V. A. (2001). Educational environment. From modeling to design. Moscow: *Smysl*, 2001. 363 p. (In Russian)

ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – СОЦИАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

*Олег Игоревич Веселицкий,
orcid.org/0009-0005-9337-4646,
старший преподаватель
Университета Правительства Москвы,
ул. Сретенка, 28
Москва, 107045, Россия
veselitsky@list.ru*

*Евгений Викторович Титов^{1,2},
orcid.org/0000-0003-3001-5214,
доктор педагогических наук, доцент
¹ Университета Правительства Москвы,
ул. Сретенка, 28
Москва, 107045, Россия
² Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, к. 1
Москва, 105005, Россия
tevgeni777@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается готовность к применению информационно-коммуникативных технологий в профессиональной деятельности как социально значимое качество личности специалистов государственного и муниципального управления, формирование которого отвечает запросам личности и общества. Целью исследования является определение подходов к формированию готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий как социально-педагогической проблеме. Готовность специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий охарактеризована как устойчивое функциональное состояние личности, которое проявляется в виде комплекса способностей. Выявлены противоречия современного образования, разрешение которых при определённых условиях обеспечит формирование готовности специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий. Определены подходы к исследованию формирования готовности специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий как социально-педагогической проблемы, которую предлагается рассматривать в методологическом, науковедческом, теоретическом, методическом и практическом аспектах.

Ключевые слова: готовность к применению информационно-коммуникационных технологий, противоречия высшего образования.

FORMATION OF READINESS OF SPECIALISTS OF STATE AND MUNICIPAL ADMINISTRATION TO USE INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IS A SOCIAL AND PEDAGOGICAL PROBLEM

Oleg I. Veselitsky,
orcid.org/0009-0005-9337-4646,
Senior Lecturer
Moscow City University
of Management Moscow Government,
Sretenka St., 28
Moscow, 107045, Russia
veselitsky@list.ru

Evgeny V. Titov^{1,2},
orcid.org/0000-0003-3001-5214
Doctor of Pedagogical Sciences, Associate professor
¹Moscow City University
of Management Moscow Government,
Sretenka St., 28
Moscow, 107045, Russia
²Bauman Moscow State Technical University,
2-ya Baumanskaya St., 5, Bldg. 1
Moscow, 105005, Russia
tevgeni777@mail.ru

Abstract. The article considers readiness to use information and communication technologies in professional activities as a socially significant quality of the personality of state and municipal administration specialists, the formation of which meets the needs of the individual and society. The purpose of the article is to determine approaches to the formation of readiness of state and municipal administration specialists to use information and communication technologies as a socio-pedagogical problem. Readiness of specialists to use information and communication technologies is defined as a stable functional state of the individual, which is manifested in the form of a set of abilities. Contradictions of modern education are revealed, the resolution of which under certain conditions will ensure the formation of specialists' readiness to use information and communication technologies. Approaches to the study of the formation of specialists' readiness to use information and communication technologies as a socio-pedagogical problem are determined, which is proposed to be considered in the methodological, scientific, theoretical, methodical and practical aspects.

Key words: readiness to use information and communication technologies, contradictions in higher education.

Введение

В современном мире информационно-коммуникационные технологии играют значительную роль во всех социально значимых профессиональных сферах, включая образование, медицину, экономику, а также государственное и муниципальное управление. Существенно ускорив сбор, обработку и передачу социально значимой информации посредством современных программно-аппаратных средств, информатизация запустила процесс реконструкции сложившихся моделей управления в разных областях общественной жизни. Проникнув почти во все сферы общества,

информатизация стала важным фактором не только технико-технологического, но и социального развития современной цивилизации. Правительства большинства стран всё больше используют различные средства информационных технологий для оптимизации и повышения эффективности своей деятельности.

Глобальные тенденции убедительно продемонстрировали, как справедливо отмечается в «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы», что информационные технологии стали частью современных систем управления во всех сферах экономики, государственного управления, обороны, безопасности и обеспечения правопорядка. Причём в перечень ключевых компетенций кадров для цифровой экономики должны входить коммуникация, кооперация, креативное и критическое мышление в цифровой среде [Хорошилов, 2021]. При этом, как отмечается там же, большинство государств вынуждены «на ходу» адаптировать государственное регулирование сферы информации и информационных технологий к новым обстоятельствам. А это значит, что стратегические преимущества получают те страны и государства, которые своевременно, безопасно и продуктивно начнут использовать инновационный потенциал, заложенный в современных информационно-коммуникационных технологиях, основным проводником которого являются специалисты в области социального управления, в том числе и в первую очередь – государственного и муниципального управления.

Проведенные Ершовой Т. В. с соавторами исследования показали, что в большинстве зарубежных и отечественных методик оценки готовности используются показатели, разработанные с учётом содержания деятельности в определенных предметных областях (государственное управление, образование, здравоохранение, бизнес, домохозяйства и др.) [Ершова и др., 2021]. Актуальность готовности специалистов государственного и муниципального управления обусловлена тем, что применение информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности позволяют существенно а) уменьшить количество документов на бумажных носителях; б) сократить время на поиск, сбор, обработку и предоставление управленческой информации; в) оптимизировать пространство для хранения управленческой информации; г) уменьшить временные и ресурсные затраты на контролирование работы органов исполнительной власти и подведомственных организаций; д) снизить коррупционные риски, обеспечив тем самым высокий уровень лояльности населения к работе органов государственного управления.

В последние годы наблюдаются значительные усилия государства по созданию открытых цифровых систем взаимодействия с населением [Соколов и др., 2022]. Но, несмотря на очевидные преимущества информационно-коммуникационных технологий, скорость и масштабы их внедрения в практику социального управления столь значительны, что контуры и среднесрочные последствия информатизации этой важнейшей социальной сферы нельзя оценить однозначно. Информатизация стремительно, в течение

одного поколения профессионалов изменила требования к скорости и качеству принятия управленческих решений, «бросив» вызов представлениям, сложившимся в многолетних практиках социального управления. Поэтому обеспечение активного и квалифицированного включения специалистов социального управления в деятельность, направленную на внедрение и продуктивное использование средств современных информационно-коммуникационных технологий в профессиональную практику, потребовало пристального и постоянного внимания со стороны государства, в том числе в лице системы профессионального образования – среднего, высшего и дополнительного (постдипломного).

Российская государственная система образования осознала данную потребность, о чём свидетельствуют, в частности, нормативно-правовые документы, принятые отраслевыми органами исполнительной власти федерального уровня и регламентирующие образовательную и профессиональную деятельность государственного и муниципального управления. Так, согласно федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования (ФГОС ВО) бакалавр, прошедший обучение по направлению подготовки 38.03.04 Государственное и муниципальное управление, должен быть «способным использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, государственные и муниципальные информационные системы; применять технологии электронного правительства и предоставления государственных (муниципальных) услуг». ФГОС ВО по направлению подготовки 38.04.04 Государственное и муниципальное управление включает требование овладения «способностью организовывать внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в соответствующей сфере профессиональной деятельности и обеспечивать информационную открытость деятельности органа власти». В «Справочнике квалификационных требований к специальностям, ... которые необходимы для замещения должностей государственной гражданской службы с учетом области и вида профессиональной служебной деятельности государственных гражданских служащих», утверждённом Минтруда России, «знания и умения в области информационно-коммуникационных технологий включены в число базовых квалификационных требований». Также, необходимо принять во внимание факт, что цифровые компетенции стали необходимой составляющей профессиональной подготовки специалиста любой отрасли [Эльтемеров, 2024]. Более того, границы между профессиональными и пользовательскими цифровыми навыками все больше стираются, что требует переосмысления результатов профессионального и общего образования в части формирования цифровых навыков [Эволюция цифровых ..., 2024].

Необходимо также отметить наличие и роль «цифрового» участия граждан в процессах управления. Несмотря на активное взаимодействие органов государственной власти и населения, в том числе и с применением информационно-коммуникационных технологий, ещё имеется нереализованный потенциал развития данного взаимодействия. Чтобы каналы

участия стали более «обитаемыми», за вложениями в цифровую инфраструктуру должны следовать меры по формированию спроса на подобные механизмы, который обеспечивается активным инвестированием в человеческий потенциал [Кабанов и др., 2021]. В подготовке специалистов государственного и муниципального управления к квалифицированному применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности ключевую роль играет педагогическая наука, которая определяет содержание, формы, средства и методы процесса, обеспечивающего формирование рассматриваемого качества личности, и тем самым задаёт вектор развития не только профессиональному образованию, но и профессиональной деятельности в области государственного и муниципального управления.

Материалы и методы

Целью статьи является рассмотрение формирования готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению средств информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности, как социально-педагогической проблемы. В работе нами использовался комплекс методов, включающий систематический поиск и анализ содержания научной информации по теме исследования, классификацию, моделирование, обобщение. Материалами для исследования послужили научные публикации отечественных и зарубежных учёных и практиков высшего образования, нормативные документы и другие открытые источники. В первой части основного блока статьи представлена структура готовности специалистов к применению информационно-коммуникативных технологий в профессиональной деятельности. Далее рассмотрены аспекты исследования формирования готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий как социально-педагогической проблемы. Третья часть статьи посвящена описанию противоречий образования, которые послужили отправной точкой данной работы и обусловили текущее состояние готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности, а также возможные подходы к разрешению противоречий, препятствующих формированию рассматриваемого качества личности.

Дискуссия и результаты

Основные понятия представленного в статье исследования заключены в её названии. В соответствии со ст.2 Федерального закона от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» к информационным технологиям относятся «процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов». Зафиксированное в данном определении понятие охватывает широкий круг технологий,

основанных на разных средствах и способах работы с информацией – от наскальных фресок, пергаментных свитков, берестяных писем до книгопечатания и компьютерных технологий [Алексеев, 2012]. Поэтому информационные технологии, основанные на применении электронных носителей информации, компьютерной техники и информационно-телекоммуникационных сетей, часто именуют «современными» или «новыми». Также для обозначения современных информационных технологий используется термин «информационно-коммуникационная технология», под которым в соответствии с национальным стандартом «ГОСТ Р 52653-2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения» рекомендуется понимать «информационные процессы и методы работы с информацией, осуществляемые с применением средств вычислительной техники и средств телекоммуникации».

Внедрение новых технологий в практику производства устраняет одни профессии и требует серьезной модернизации других [Токтарова и др., 2023]. Эффективность применения информационно-коммуникационных технологий в государственном управлении определяется состоянием специалистов как субъектов профессиональной деятельности, которое следует охарактеризовать как готовность к поиску, освоению и квалифицированному применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности в соответствии с определенными, профессионально обусловленными целями, то есть к совершению действий и операций по поиску, сбору, хранению, обработке, предоставлению и распространению управленческой информации с использованием средств вычислительной техники и средств телекоммуникации.

С учётом сложившихся представлений готовность специалистов государственного управления к применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности следует рассматривать как сложное, целостное психическое образование, включающее мотивационно-потребностный, когнитивный и деятельностно-практический компоненты [Титов, 2003]. Более того, готовность специалиста решать профессиональные задачи с применением информационно-коммуникационных технологий в большинстве случаев связана с готовностью к инновациям.

Современные исследователи акцентируют внимание на том, что в целом подготовка будущих специалистов государственного и муниципального управления основывается на получении определенной базы знаний, необходимой для выполнения профессиональных задач в регламентированных условиях. Вместе с тем исследователи указывают на необходимость построения процесса обучения в соответствии с требованиями времени, основным из которых является профессиональная готовность к инновационной деятельности [Провоторова, 2023].

Мотивационно-потребностный компонент готовности характеризуется эмоциональным и инициативным отношением специалиста к любым ситуациям в профессиональной деятельности, в том числе требующим

применения информационно-коммуникационных технологий [Вилюнас, 1990; Черкашин и др., 2023]. Это качество личности занимает особое положение в структуре готовности, так как посредством эмоций осуществляется «фиксация мотивационных отношений» [Вилюнас, 1990]. Эмоции отражают отношения между мотивами, оказывая прямое влияние на такой важнейший момент деятельности субъекта, как целеобразование [Леонтьев, 1971]

Когнитивный компонент включает а) систематизированные знания о существующих и перспективных информационно-коммуникационных технологиях, а также о способах их поиска, освоения и применения; б) представления о профессиональной значимости информационно-коммуникационных технологий; в) представления о собственных возможностях и способностях по поиску, освоению и применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности государственного управления.

Деятельностно-практический компонент характеризуется опытом а) распознавания, обследования и анализа ситуаций профессиональной деятельности, требующих применения информационно-коммуникационных технологий; б) выбора и применения информационно-коммуникационных технологий в конкретных ситуациях профессиональной деятельности; в) поиска и освоения субъективно новых информационно-коммуникационных технологий. Сформированность каждого компонента готовности к применению информационно-коммуникационных технологий влияет на реализацию данного качества личности в каждой конкретной ситуации профессиональной деятельности. В зависимости от условий ситуации любой из компонентов может оказаться недостаточно сформированным, что ситуативно будет ограничивать готовность.

Учитывая сказанное, определим готовность специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности как устойчивое функциональное состояние личности, которое проявляется в способности а) воспринимать информационно-коммуникационные технологии как важный фактор профессиональной социализации и эффективное средство профессиональной деятельности, обеспечивающее широкую социальную коммуникацию; б) распознавать и анализировать профессионально значимые ситуации, для разрешения которых необходимо применение информационно-коммуникационных технологий; в) вести поиск и осваивать информационно-коммуникационные технологии, необходимые для профессиональной деятельности; г) применять информационно-коммуникационные технологии для поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления и распространения управленческой информации с использованием средств вычислительной техники и средств телекоммуникации с учётом конкретных ситуаций профессиональной деятельности государственного и муниципального управления.

Согласно существующим представлениям проблемой в педагогике считают «объективно возникающие в педагогической теории и практике

вопросы или комплексы вопросов относительно процессов обучения и воспитания человека» [Воронин, 2006]. Исследование, результаты которого представлены в статье, включало а) описание противоречий образования, которые обусловили текущее состояние готовности будущих и настоящих специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности; б) рассмотрение возможных подходов к разрешению противоречий, препятствующих формированию рассматриваемого качества личности специалистов.

Как социально-педагогическая проблема формирование готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий может быть рассмотрено в аспектах:

а) методологическом – дескриптивном и прескриптивном, который заключается в поиске и/или разработке подходов к исследованию готовности специалистов как социально значимого качества личности, а также подходов к моделированию его содержания и процесса формирования [Морозова, 2015];

б) науковедческом, предполагающем исследование массива научно-педагогической информации с целью выявления и анализа работ, посвящённых готовности специалистов к применению средств информационно-коммуникационных технологий;

в) теоретическом, который заключается в исследовании этого качества личности, предполагающем построение модели специалиста, обладающего готовностью к применению информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности;

г) методическом, который предполагает построение и практическую апробацию методики формирования готовности специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий, включающую организацию, этапы и содержание, а также средства и методические приёмы педагогического сопровождения формирования рассматриваемого качества личности;

д) практическом, который предполагает проявление этого качества личности специалистов в конкретных ситуациях профессиональной деятельности.

Источником содержания, развития и разрешения педагогических проблем выступают противоречия деятельности в сфере образования. Противоречия высшего образования рассматривали в контексте готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий с опорой на представление об этом качестве личности специалистов как ценности, цели и результате.

Как ценность, имеющая индивидуальное и общественное значение, готовность специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий отвечает запросам личности и общества в долгосрочной перспективе. Включение этого качества личности в содержание целевого компонента высшего образования обеспечивает специалистам

профессиональную социализацию и задаёт вектор профессионального развития. В качестве ценности готовность специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий предъявляет требования к образованию, реализация которых возможна при разрешении противоречий профессионального образования. Они определили направленность исследования, результаты которого представлены в статье.

Организация образовательного процесса, обеспечивающего готовность специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий, находится в плоскости разрешения противоречий высшего образования и определяется особенностями рассматриваемого качества личности. К характеристике и классификации противоречий исследователи подходят в зависимости от контекста и предмета своих изысканий. Так, рассмотрение высшего образования в контексте реформирования позволяет идентифицировать группу стратегических противоречий [Еделев и др., 2012]. Рассмотрение качества высшего образования в контексте двух основных образовательных общностей – студенчества и научно-педагогического сообщества обусловило выделение противоречия развития образовательных университетских общностей [Зборовский и др., 2019]. Рассмотрение российского образования в контексте современных ценностей приводит к выделению «противоречий между провозглашаемыми и реальными целями/ценностями образования», в основе которых лежит их дифференция на терминальные и инструментальные [Ключко, 2014]. Рассмотрение профессионального образования в контексте интересов социальных акторов – государств, университетов, студентов, работодателей и с недавнего времени – надгосударственных, международных структур привело к выделению противоречий интернационализации [Комлева, 2017].

В контексте проблематики формирования готовности специалистов к применению информационно-коммуникативных технологий был выявлен ряд противоречий высшего образования. Значимым для рассматриваемого качества личности является противоречие между традиционно применяемыми методами включения обучающихся в учебную деятельность, основанными на внешнем стимулировании, и необходимостью использования методов, ориентированных на формирование устойчивых внутренних стимулов (мотивов) включения в ситуации применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности [Титов, 2003]. Кроме того, образовательный процесс, построенный на основе ситуаций, приближенных к профессиональной деятельности и требующих применения информационно-коммуникационных технологий, предъявляет особые требования не только к форме и содержанию занятий, но и к уровню опыта и квалификации педагогов [Титов, 2003]. Преодоление данного противоречия в учебном процессе возможно с опорой на личностное целеполагание обучающихся с учётом их будущих профессиональных интересов, а также с учётом педагогического опыта преподавателя. Для этого необходима методика формирования рассматриваемого качества личности будущего специалиста, предполагающая оценивание педагогом

образовательной ситуации для последующего вовлечения обучающихся в учебную деятельность на основе специально созданных ситуаций, моделирующих применение информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности. Таким образом, интегральным критерием личностно-профессионального развития будущих специалистов выступает информационная компетентность личности, точнее, уровень её сформированности [Гагарин и др., 2013].

Результативность распознавания, обследования и разрешения ситуаций профессиональной деятельности, требующих применения информационно-коммуникационных технологий, определяется когнитивными особенностями специалистов. Поэтому формирование готовности специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий является индивидуально ориентированным процессом. По мысли Б.Г. Ананьева, индивидуальность составляет совокупность смысловых отношений и установок человека в мире, порожденных в его жизни в обществе [Ананьев, 2008]. Индивидуальность формируется в тех выборах, которые осуществляет сам человек [Яковлева, 1997]. Однако на практике в условиях ограниченного по времени аудиторного обучения учёт индивидуальных особенностей обучающихся не всегда возможен. Это является основанием для противоречия между подходом к комплектованию учебных групп без учёта индивидуальных познавательных особенностей обучающихся и подходом к организации учебного процесса в рамках аудиторных занятий. Разрешение этого противоречия требует разработки подходов к организационно-педагогическим условиям формирования рассматриваемого качества личности, предполагающим комплектование учебных групп, отбор учебных площадок, внедрение средств и методических приёмов, обеспечивающих индивидуализацию обучения.

Полноценное проявление индивидуальности возможно только в деятельности творческого типа, в основе которой лежит способность будущих специалистов к процедурному творчеству поиска, выработки и/или открытия способов собственной деятельности в разных типах профессиональных ситуаций, в которых необходимо применение информационно-коммуникационных технологий [Холодная, 2019]. Однако распространённые в педагогической практике подходы к организации учебной деятельности недостаточно ориентированы на развитие творческих способностей будущих специалистов, без которых невозможно устойчивое профессиональное развитие. Как справедливо полагает Н.Г. Провоторова, наличный процесс подготовки будущих специалистов в большей мере направлен на формирование знаний, умений и навыков и в меньшей – на развитие личностных особенностей обучающихся [Провоторова, 2021].

Это обусловило противоречие между обязательностью включения обучающихся в учебный процесс и спонтанностью их включения в деятельность творческого характера, которая зависит не столько от внешних, сколько от внутренних условий и отношений. Разрешение этого противоречия заключается в предоставлении обучающимся права самостоятельного и

осознанного выбора или поиска элементов образования, которое реализуется по мере выявления педагогом индивидуальных особенностей обучающихся, а также по мере освоения обучающимися способов деятельности, направленной а) на распознавание и анализ профессионально значимых ситуаций, для разрешения которых необходимо применение информационно-коммуникационных технологий; б) на поиск и освоение информационно-коммуникационных технологий, необходимых для успешной профессиональной деятельности; в) на выбор и применение информационно-коммуникационных технологий с учётом конкретных ситуаций деятельности государственного и муниципального управления.

Применение информационно-коммуникационных технологий в конкретных профессиональных ситуациях требует от специалистов ответственности и самостоятельности в выборе средств и способов их разрешения, что обусловило противоречие между сложившимся в практике высшего образования подходом к организации учебного процесса, предусматривающим личную ответственность педагога за учебные достижения, и персональной ответственностью сегодняшних обучающихся за результаты применения информационных технологий в профессиональном будущем. Разрешение данного противоречия обеспечивается посредством реализации принципов индивидуализации, диалогичности, совместной рефлексии и социальной обусловленности эмоций субъектов образовательного процесса, что требует пересмотра традиционных и разработки новаторских подходов к организации совместной деятельности педагогов и обучающихся в рамках образовательного процесса, направленного на формирование готовности к применению информационно-коммуникационных технологий.

Важным компонентом учебного процесса является диагностика учебных достижений, которая в ходе реформы российского образования конца XX – начала XXI вв. была переориентирована «с формирования у студентов профессиональных знаний на формирование способности решать тестовые задачи» [Ахметов, 2008]. Требования к формированию готовности будущих специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий закреплены в нормативных документах, регламентирующих содержание высшего образования, в частности, в ФГОС 38.03.04 и ФГОС 38.04.04. Однако, как показывает практика, для контроля усвоения процедурных знаний, источником которых выступает опыт применения информационно-коммуникационных технологий, используются типовые тесты закрытого типа. Этим обусловлено противоречие между способами оценивания продуктов учебной деятельности и многомерностью и неоднозначностью индивидуальных достижений обучающихся.

Данное противоречие отражает известную педагогам неудовлетворенность сложившейся системой оценивания учебных достижений, которая должна, если следовать принципу гуманизации образования, не только осуществлять функцию контроля, но и создавать условия для профессионального развития обучающихся. Разрешение этого

противоречия заключается в разработке и внедрении в практику критериев и соответствующих им показателей готовности будущих специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий, что предполагает содержательный анализ и моделирование диагностируемого качества, выявление условий проявления признаков, характеризующих сформированность диагностируемого качества, разработку методики измерения и оценки этих признаков с последующей интерпретацией результатов.

Описанные противоречия являются не только источниками социально-педагогической проблемы формирования готовности специалистов государственного и муниципального управления к применению информационно-коммуникационных технологий, но и выступают ключевыми факторами процесса, обеспечивающего искомое качество личности специалистов. Это обстоятельство, как и различный вес данных противоречий, следует учитывать при целеполагании и выработке исследовательской позиции при продолжении научной работы в данном направлении.

Заключение

Готовность к применению информационно-коммуникационных технологий является важным качеством личности специалиста государственного и муниципального управления, которое отвечает общественным запросам в долгосрочной перспективе, обеспечивает профессиональную социализацию и задаёт вектор профессионального развития. Организация образовательного процесса, направленного на формирование готовности специалистов к применению информационно-коммуникационных технологий, требует разрешения противоречий высшего образования в контексте содержания рассматриваемого качества личности, в числе которых противоречия между а) традиционными методами стимуляции учебной деятельности и необходимостью формирования устойчивой мотивации; б) необходимостью индивидуализации обучения и существующим в практике подходом к организации учебного процесса; в) обязательностью включения обучающихся в учебный процесс и спонтанностью деятельности творческого характера, которая является условием формирования рассматриваемого качества личности; г) сложившимся в практике подходом к организации учебного процесса, предусматривающим ответственность педагога за учебные достижения, и персональной ответственностью обучающихся за профессиональные достижения в будущем; д) традиционно сложившимися в практике способами оценивания продуктов учебной деятельности и многомерностью и неоднозначностью индивидуальных достижений обучающихся. Таким образом, формирование рассматриваемого качества личности специалистов является социально-педагогической проблемой, что определяется его личностной и социальной значимостью, а также тем, что его обеспечение лежит в плоскости разрешения противоречий современного высшего образования.

Библиографический список

- Алексеев В. И.* Образовательные информационные технологии: история и перспективы развития // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 6 (37). С. 133-136. EDN PLUURV.
- Ананьев Б. Г.* Психология и проблемы человекознания: монография / Избранные психологические труды. Под ред. А.А. Бодалёва. М.: Изд-во Московского психолого-социального института, 2008. 431 с. EDN QXXTZX.
- Ахметов Л. Г.* Реформирование Российской системы высшего профессионального образования: проблемы и противоречия // Казанский педагогический журнал. 2008. №11. С. 7-11. EDN KNWOKZ.
- Вилюнас В. К.* Психологические механизмы развития мотивации : специальность 19.00.01 "Общая психология, психология личности, история психологии" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора психологических наук / Вилюнас Витис Казиса. Москва, 1990. 35 с. EDN ZJOUTH.
- Воронин А. С.* Словарь терминов по общей и социальной педагогике. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – Уральский политехнический университет. 2006. 135 с.
- Гагарин А. В.* Развитие информационной личности в деятельности: энвайронментальная составляющая / А. В. Гагарин, Л. К. Раицкая // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2013. № 3. С. 5-13. EDN RCAFSH.
- Еделев Д. А.* Стратегические противоречия реформ системы образования / Д. А. Еделев, Н. В. Майорова // TERRA ECONOMICUS. 2012. №4-3. С.234-237. EDN PXYBSX.
- Ершова Т. В.* Методология мониторинга развития и использования технологий работы с большими данными / Т. В. Ершова, Ю. Е. Хохлов, С. Б. Шапошник // Информационное общество. 2021. № 4-5. С.2-32. DOI: 10.52605/16059921_2021_04_02. EDN JNMDKO.
- Зборовский Г. Е.* Мечта о хорошем образовании: противоречия развития образовательных общностей в российских университетах / Г. Е. Зборовский, П. А. Амбарова // Мир России. Социология. Этнология. 2019. №2. С.98-124. DOI 10.17323/1811-038X-2019-28-2-98-124. EDN TSIHQС.
- Кабанов Ю. А.* Развитие человеческого потенциала, социальная политика и электронное гражданское участие в российских регионах / Ю. А. Кабанов, А. В. Чугунов // Журнал исследований социальной политики. 2021. Т. 19, № 1. С. 101-114. DOI 10.17323/727-0634-2021-19-1-101-114. EDN VSGQVB.
- Ключко О. И.* Ценности и цели современного образования: противоречия реального и провозглашаемого // Вестник МГПУ. Серия: Философские науки. 2014. №1 (9). С.42-53. EDN QHQHNA.
- Комлева В. В.* Противоречия интернационализации высшего образования // Социально-экономические явления и процессы. 2017. №6. С.469-477. EDN YNXGNW.
- Леонтьев А. Н.* Потребности, мотивы и эмоции. М.: Изд-во Московского университета, 1971. 40 с. EDN QULTPW.
- Морозова Т. П.* Функции и уровни методологического знания: педагогический аспект // Наука и современность. 2015. №38. С. 91-95. EDN UAWBGP.
- Провоторова Н. В.* Профессиональная готовность к инновационной деятельности: Государственное и муниципальное управление // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. 2023. Т. 21, № 3. С. 118-133. DOI 10.55959/MSU2073-2635-2023-21-3-118-133. EDN SEKEBT.
- Провоторова Н. В.* Профессиональная подготовка будущих специалистов сферы государственного управления как психолого-педагогическая проблема // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2021. №1. С. 138-142. DOI 10.34216/2073-1426-2021-27-1-138-142. EDN RSIQUL.

Соколов А. В. Трансформация взаимодействия власти и общества под влиянием цифровизации: пример Ярославской области / А. В. Соколов, Е. А. Исаева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Политология. 2022. Т.24, № 4. – С. 686-710. DOI 10.22363/2313-1438-2022-24-4-686-710. EDN TWZBZP.

Титов Е. В. Теория и практика формирования готовности старшеклассников к исследовательской деятельности в сфере экологии. М.: МГОПУ им. М.А. Шолохова, 2003. 265 с. EDN QTOHDF.

Токтарова В. И. Развитие цифровых компетенций в контексте цифровизации системы образования: опыт Марийского государственного университета / В. И. Токтарова, О. В. Ребко // Информатика и образование. 2023. Т. 38, № 1. С. 64-71. DOI 10.32517/0234-0453-2023-38-1-64-71. EDN CMSOER.

Холодная М. А. Психология интеллекта: парадоксы исследования. М.: Изд-во «ЮРАЙТ», 2019. 334 с. EDN YOZTUL.

Хорошилов А. В. Цифровая эпоха: новые компетенции и профессии, определяющие устойчивое развитие в условиях Промышленной революции 4.0 // Вопросы статистики. 2021. Т. 28, № 3. С. 31-44. DOI 10.34023/2313-6383-2021-28-3-31-44. EDN IBVWRJ.

Черкашин Е. О. Социально значимая деятельность учащейся молодежи в сфере экологии как элемент воспитательной деятельности / Е. О. Черкашин, Е. В. Титов // Современное педагогическое образование, 2023. № 8. С. 15-19. EDN YNDINK.

Эволюция цифровых навыков обучающихся как источник трансформации учебного процесса в организациях общего и профессионального образования / В. А. Захарова, К. Б. Егоров, А. Ю. Скорнякова, И. П. Половина // Информатика и образование. 2024. Т. 39, № 2. С. 25-33. DOI 10.32517/0234-0453-2024-39-2-25-33. EDN LXNKSQ.

Эльтемеров А. А. Востребованность цифровых компетенций в профессиональной подготовке сотрудников МЧС России // Информатика и образование. 2024. Т. 39, № 3. С. 76-85. DOI 10.32517/0234-0453-2024-39-3-76-85. EDN ALZFPZ.

Яковлева Е. Л. Психология развития творческого потенциала школьников : специальность 19.00.13 «Психология развития, акмеология» : диссертация на соискание ученой степени доктора психологических наук / Яковлева Евгения Леонидовна. Москва, 1997. 368 с. EDN NLKYMT.

References

Akhmetov L. G. (2008). Reforming the Russian System of Higher Professional Education: Problems and Contradictions. *Kazan Pedagogical Journal*. 11: 7-11 (in Russian)

Alekseev V. I. (2012). Educational information technologies: history and development prospects. *World of science, culture, education*. 6 (37): 133-136. (in Russian)

Ananyev B. G. (2008). Psychology and problems of human knowledge: monograph / Selected psychological works. Ed. A.A. Bodaleva. Moscow: *Publishing house of the Moscow Psychological and Social Institute*, 2008. 431 p. (in Russian)

Cherkashin E. O., Titov E. V. (2023). Socially significant activities of student youth in the field of ecology as an element of educational activities. *Modern pedagogical education*. 8: 15-19 (in Russian)

Edelev D. A., Mayorova N. V. (2012). Strategic contradictions of the education system reforms. *Economic Space*. 4-3: 234-237 (in Russian)

Eltemerov A. A. (2024). Demand for digital competencies in the professional training of employees of the Ministry of Emergency Situations of Russia. *Informatics and education*. 39(3): 76-85. (in Russian)

Ershova T. V., Khokhlov Yu. E., Shaposhnik S. B. (2021). Methodology for monitoring the development and use of big data technologies. *Information Society*. 4-5: 2-32. (in Russian)

Gagarin A. V., Raitskaya L. K. (2013). Development of an information personality in activity: environmental component. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Psychology and Pedagogy*. 3: 5-13. (in Russian)

- Kabanov Yu. A., Chugunov A. V. (2021). Human Development, Social Policy, and Electronic Civic Participation in Russian Regions. *Journal of Social Policy Studies*. 19(1): 101-114 (in Russian)
- Kholodnaya M. A. (1997). Psychology of intelligence: paradoxes of research. Moscow: *Urait Publishing House*, 2019. 334 p. (in Russian)
- Khoroshilov A. V. (2021). Digital era: new competencies and professions that determine sustainable development in the context of Industrial Revolution 4.0. *Questions of statistics*. 28(3): 31-44. (in Russian)
- Klyuchko O. I. (2014). Values and Goals of Modern Education: Contradictions between the Real and the Proclaimed. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Philosophical Sciences*. 1(9): 42-53 (in Russian)
- Komleva V. V. (2017). Contradictions in the Internationalization of Higher Education. *Socio-Economic Phenomena and Processes*. 6: 469-477 (in Russian)
- Leontiev A. N. (1971). Needs, Motives, and Emotions. Moscow: *Moscow State University Publishing House*, 1971. 40 p. (in Russian)
- Morozova T. P. (2015). Functions and levels of methodological knowledge: pedagogical aspect. *Science and Modernity*. 38: 1-5. (in Russian)
- Provotorova N. V. (2012). Professional training of future specialists in the field of public administration as a psychological and pedagogical problem. *Bulletin of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics*. 1: 138-142 (in Russian)
- Provotorova N. V. (2023). Professional readiness for innovative activities: State and municipal administration. *Bulletin of Moscow University. Series 20: Pedagogical education*. 21(3): 118-133. (in Russian)
- Sokolov A. V., Isaeva E. A. (2022). Transformation of the interaction between government and society under the influence of digitalization: the example of the Yaroslavl region. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Political Science*. 24(4): 686-710. (in Russian)
- Titov E. V. (2003). Theory and practice of developing the readiness of high school students for research activities in the field of ecology. Moscow: *Moscow State Open Pedagogical University named after M.A. Sholokhov*, 2003. 265 p. (in Russian)
- Toktarova V. I., Rebko O. V. (2023). Development of digital competencies in the context of digitalization of the education system: the experience of the Mari State University. *Computer Science and Education*. 38(1): 64-71. (in Russian)
- Vilyunas V. K. (1990). Psychological mechanisms of development of human motivation: abstract. dis. Dr. Ps. Sciences: 19.00.01 / V. K. Viliunas. Moscow, 1990. 35 p. (in Russian)
- Voronin A. S. (2006). Dictionary of Terms in General and Social Pedagogics. Ekaterinburg: *State Educational Institution of Higher Professional Education USTU-UPI*, 2006. 135 p. (in Russian)
- Yakovleva E. L. (1997). Psychology of creative potential of schoolchildren: dis. Dr. Ps. Sciences: 19.00.13 / E. L. Yakovleva. Moscow, 1997. 368 p. (in Russian)
- Zakharova V. A., Egorov K. B., Skornyakova A. Yu., Polovina I. P. (2024). Evolution of digital skills of students as a source of transformation of the educational process in organizations of general and vocational education. *Computer science and education*. 39(2): 25-33. (in Russian)
- Zborovsky G. E., Ambarova P. A. (2019). The dream of a good education: contradictions in the development of educational communities in Russian universities. *The World of Russia. Sociology. Ethnology*. 2. 98-124. (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: 11.03.2025

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/>