

№ 10 ИЮЛЬ 2024
ISSN 2707-6989

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

АВИАЦИОННЫЙ ВЕСТНИК

*The aviation
herald*

THE AVIATION HERALD, 2024, no. 10

АВИАЦИОННЫЙ ВЕСТНИК. 2024. № 10



БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

1974 **50** 2024
МАТУГА • МГВАК • БГАА

Научно-практический журнал

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИЯ В ЛИЦАХ

Набираем высоту: Белорусская государственная академия авиации на пути к золотому юбилею 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Л. И. Гречихин, Д. Ю. Олейник. Катион-анионная плазма. Образование и физические свойства 12

П. В. Бойкачев, В. О. Исаев, М. А. Янецвич. Разрешимость системы ограничений на широкополосное согласование за счет синтеза математических моделей импеданса радиотехнических устройств и применения модифицированных аппроксимирующих функций 17

О. Н. Скрыпник, А. А. Козич. Методы позиционирования беспилотных воздушных судов в сетях сотовой связи 24

С. А. Коршак, В. В. Малеронок, В. Р. Вашкевич, В. В. Медведев. Оценка риска выкатывания самолета за пределы взлетнопосадочной полосы с использованием нечеткого дерева отказов 30

А. В. Дубовский, Д. И. Рабченко. Оценка результатов использования интерфейса автоматизированного рабочего места диспетчера управления воздушным движением 36

П. В. Бойкачев, И. А. Дубовик, А. А. Сутько, М. И. Полещук. Разработка адаптивного широкополосного согласующего устройства для антенной системы радиостанции P1815НУ 40

О. Н. Скрыпник, А. М. Мацкевич. Модель компетентностно-ориентированной системы профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения 47

ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

И. В. Гринев. История становления института обеспечения безопасности полетов в контексте формирования советского воздушного права 54

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т. В. Казак, А. Н. Василькова. Эргономика и дизайн интерфейсов электронных образовательных ресурсов для инклюзивного образования 60

М. Ф. Бакунович, А. В. Найдович. Взаимосвязь эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей курсантов Белорусской государственной академии авиации 64

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

О. С. Филиппенко, А. Г. Капустин. Эффективность использования различных шкал в рейтинговой системе оценивания курсантов 72

Ю. А. Гурвич, К. К. Крамник, А. Ю. Демко, И. Л. Бурдин, Г. А. Сенокосов. Повышение эффективности преподавания теоретической и прикладной механики с помощью новых прогрессивных технологий 77

Зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь
№1951 от 20 декабря 2019 года.

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ»

Республика Беларусь, 220096, г. Минск, ул. Уборевича, 77
Тел. +375 (17) 378 94 22, факс (017) 271 66 32
academy@bsaa.by
bgaa.by

Главный редактор:

А. А. Шегидевич, к.т.н., ректор БГАА, Республика Беларусь.

Заместители главного редактора:

Л. И. Гречихин, д.ф.-м.н., профессор кафедры естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин БГАА, Республика Беларусь;

А. А. Жукова, к.т.н, Республика Беларусь.

Технический секретарь:

Е. А. Шапорова, к.х.н., доцент кафедры технической эксплуатации воздушных судов и двигателей БГАА, Республика Беларусь.

Редколлегия

Технические науки:

С. А. Чижик, академик НАН Беларуси, д.т.н., профессор, первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, Республика Беларусь;

А. П. Ласковнев, академик НАН Беларуси, д.т.н., главный научный сотрудник ФТИ НАН Беларуси, Республика Беларусь;

В. Г. Залесский, д.ф.-м.н., директор ФТИ НАН Беларуси, Республика Беларусь;

А. Т. Волочко, д.т.н., профессор, начальник отдела материаловедения и литейно-формационных технологий ФТИ НАН Беларуси, Республика Беларусь;

Ю. Ю. Михальчевский, к.т.н., д.э.н., доцент, ректор ФГБОУ ВО СПбГУ ГА, Российская Федерация;

М. М. Хакдод, д.т.н., профессор, член-корреспондент Академии наук Республики Таджикистан, Республика Таджикистан;

А. Х. Гильмутдинов, помощник Президента Республики Татарстан, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой лазерных технологий ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», Российская Федерация;

Т. Л. Алибаев, к.э.н., ректор ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», заслуженный экономист Республики Татарстан, Республика Татарстан;

А. А. Рискулов, д.т.н., профессор, декан факультета международных образовательных программ Ташкентского государственного транспортного университета, Республика Узбекистан;

Ши-Хонг Джанг, д.т.н., профессор, исполнительный секретарь Китайского исследовательского объединения глубокой вытяжки металлов, профессор IMR CAS, Китайская Народная Республика;

Воонг Шин Квак, президент компании SafeUsDrone, Республика Южная Корея;

Сунь Яньпэн, д.т.н., профессор, вице-президент по иностранным делам Шэньянского аэрокосмического университета.

Юридические науки:

Б. П. Елисеев, д.ю.н., профессор, ректор МГТУ ГА, Российская Федерация;

Б. А. Сафарзода, д.ю.н., профессор, Чрезвычайный и Полномочный Посол Республики Таджикистан в Республике Беларусь, Республика Таджикистан;

В. С. Каменков, д.ю.н., профессор, профессор кафедры финансового права и правового регулирования хозяйственной деятельности юридического факультета БГУ, Республика Беларусь;

З. З. Халилов, к.ю.н., доцент кафедры правоведения НАА, Республика Азербайджан.

Педагогические науки:

Г. М. Булдык, д.пед.н., профессор, профессор кафедры физических и математических основ информатики Белорусской государственной академии связи, Республика Беларусь;

А. М. Волочко, к.фил.н., д.пед.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории гуманитарного образования НИО, Республика Беларусь.

Психологические науки:

Т. В. Казак, д.псих.н., профессор, член-корреспондент Международной академии психологических наук, заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики БГУИР, Республика Беларусь;

В. Г. Стуканов, к.псих.н., д.пед.н., профессор, заведующий лабораторией проблем воспитания личности НИО, Республика Беларусь;

З. В. Машарский, к.псих.н., декан факультета гражданской авиации БГАА, Республика Беларусь.

CONTENTS

AVIATION IN PERSONS

Climbing to new heights: Belarusian State Academy of Aviation on the Path to its Golden Anniversary 2

TECHNICAL SCIENCES

L. Gretchikhin, D. Oleinik. Cationanion Plasma. Formation and Physical Properties 12

P. Boykachev, V. Isaev, M. Yantsevich. Solvability of the Constraint System, Wideband due to the Synthesis of Mathematical Models of the Impedance of Radio Engineering Devices and the Use of Modified Approximation Functions 17

O. Skrypnik, A. Kozich. Methods for Positioning Unmanned Aircraft in Cellular Networks 24

S. Korshak, V. Maleronok, V. Vashkevich, V. Medvedev. Assessment of the Risk of an Aircraft Overrun Using a Fuzzy Failure Tree 30

A. Dubovsky, D. Rabchenok. Evaluation of the Results of Using the Interface of the Automated Workstation of the Air Traffic Controller .. 36

P. Boykachev, I. Dubovik, A. Sutko, M. Poleshchuk. Development of a Broadband Matching Device for Antenna System of Radio Station R1815NU 40

O. Skrypnik, A. Matskevich. Model of Competent Oriented System for Air Traffic Control Professional Training 47

LEGAL SCIENCES

I. Grinov. The History of the Formation of the Institute of Flight Safety in the Context of the Formation of Soviet Air Law 54

PSYCHOLOGICAL SCIENCES

T. Kazak, A. Vasilkova. Ergonomics and Design of Interfaces of Electronic Educational Resources for Inclusive Education 60

M. Bakunovich, A. Naidovich. Relationship of Emotional Intelligence and Communicative Abilities of Belarusian State Academy of Aviation Cadets 64

PEDAGOGICAL SCIENCES

O. Filippenko, A. Kapustin. Effectiveness of Use of Various Scales in the Rating System for Assessment of Cadets 72

Y. Gurvich, K. Kramnik, A. Dzemka, I. Burdin, G. Senokosov. Improving the Effectiveness of Teaching Theoretical and Applied Mechanics With New Progressive Technologies 77

Educational establishment
BELARUSIAN STATE ACADEMY OF AVIATION

220096, Minsk, Uborevich St., 77
Tel. +375 (17) 378 94 22, fax (017) 271 66 32
academy@bsaa.by
bgaa.by

Колонка главного редактора



**Шегидевич
Артём Артурович**

Ректор
Белорусской
государственной
академии авиации

Уважаемые читатели, научно-практический журнал «Авиационный вестник» остается востребованным для аудитории читателей и авторов, публикующих результаты своих научных исследований. В преддверии 50-летия со дня основания Белорусской государственной академии авиации вас ожидает юбилейный десятый выпуск журнала.

Из раза в раз мы подчеркиваем важность научно-исследовательской работы, отражая основные тенденции, направления и результаты диссертационных исследований в научных публикациях. С каждым изданием открываются новые горизонты и укрепляются основы исследовательской деятельности. Благодаря традиционной рубрике «Авиация в лицах», журнал предоставляет возможность познакомиться с людьми, которые внесли или продолжают вносить вклад в развитие авиационного образования или отрасли в целом.

Достижения и опыт героев рубрики «Авиация в лицах» юбилейного выпуска служит примером для всех поколений авиационных специалистов. На протяжении полувека единственное авиационное учреждение высшего образования Республики Беларусь осуществляет высококачественную подготовку специалистов для гражданской и государственной авиации, а также переподготовку и повышение квалификации действующего авиационного персонала. В процессе образовательной деятельности объединяются традиции и новаторство, позволяющие обучающимся овладевать фундаментальными знаниями и осваивать передовые технологии.

Непроизвольно оглядываясь, заметен значительный рост alma-mater белорусских авиаторов. Ставя перед трудовым коллективом многогранные и сложные задачи, мы стремимся к их эффективному выполнению. Путем открытия новых специальностей и улучшения материально-технической базы, мы продолжаем расширять географию экспорта образовательных услуг БГАА. Достижения выпускников БГАА олицетворяют полученные в стенах академии глубокие знания и навыки необходимые для успешной профессиональной деятельности.

Благодаря развитию научного потенциала Белорусской государственной академии авиации расширяется вклад в развитие национальной авиационной отрасли страны. Учреждение образования является кузницей кадров, формирующей будущих лидеров и профессионалов авиационной сферы.

НАБИРАЕМ ВЫСОТУ: БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ НА ПУТИ К ЗОЛОТОМУ ЮБИЛЕЮ

1 октября 2024 года Белорусская государственная академия авиации отмечает золотой юбилей — пятидесятилетие со дня основания. Эта знаковая дата возвращает нас к октябрю 1974 года, когда с организацией Минского авиационного технического училища гражданской авиации в нашей стране была заложена отечественная школа подготовки авиационных специалистов.

История учреждения образования напрямую связана не только с развитием гражданской авиации, но и приобретением независимости и суверенитета Беларуси. Символично, что золотой юбилей БГАА совпал именно с Годом качества, который призван устремить наш народ в дальнейшем повышении качества жизни, обеспечении конкурентоспособности экономики, а также укрепить формирование устойчивого будущего государства.

В честь знаменательной даты мы решили поговорить об историческом пути учреждения образования с людьми, которым было оказано высокое доверие — руководить им. В нашем интервью воспоминаниями поделятся бывшие руководители — **Николай Андреевич Сидорович**, **Александр Иванович Науменко**, **Александр Анатольевич Лапцевич**, а про настоящее и видение будущего расскажет ректор **Артём Артурович Шегидевич**.

НИКОЛАЙ АНДРЕЕВИЧ СИДОРОВИЧ



Николай Андреевич Сидорович — руководитель учреждения образования с 1983 по 1999 г.

— **Николай Андреевич, расскажите, пожалуйста, про Ваш профессиональный путь становления авиатором?**

— Изначально я был далек от авиации. В детстве мечтал быть моряком. К окончанию школы я и трое одноклассников решили поступить в морское училище торгового флота, но не прошли медкомиссию. Но меня все так же интересовал транспорт, и я выбрал себе профессию техника-механика железнодорожного транспорта.

Осенью 1958 года на призывной комиссии в военкомате мне предложили обучение в школе младших авиационных специалистов, а затем — продолжить службу в Военно-воздушных силах по специальности механика по радиооборудованию самолетов дальней авиации. Согласился, и это определило судьбу: служил сначала в военной, а затем в гражданской авиации. После армейской службы поступил в Киевский институт инженеров гражданской авиации, окончил его с отличием и начал трудовой путь на заводе 407 гражданской авиации в Минске.

Работая на заводе, я приобрел опыт по ремонту и обслуживанию авиатехники, административной и воспитательной работы. Бывал часто в Минском авиационном техническом училище гражданской авиации (МАТУГА), знал некоторых руководителей и преподавателей, встречался с курсантами, проходящими практику на заводе. И спустя время мне предложили проявить себя на должности начальника. Согласился и так отдал с 1983 года учреждению образования 33 года: в должности начальника, затем заведующего кафедрой и профессора.

— **Назначение на высокую должность заставляет немного изменить свой быт и столкнуться с новыми людьми. Поделитесь эмоциями, которые возникли у Вас после назначения?**

— Стресса не было. Систему подготовки я знал, особенность нахождения курсантов на полном государственном обеспечении изучил позже. Волнения были, конечно, особенно, как примут преподаватели и руководство, офицеры и служащие назначенца «со стороны». Не сразу, но все наладилось. Может и поэтому прослужил в должности 16 лет и неоднократно поощрялся.

— **Во время Вашего руководства в стенах МАТУГА, а позже Минского государственного авиационного колледжа, состоялось открытие нескольких специальностей: каких именно?**

— С 1985 года на первый курс МАТУГА принимали курсантов на две специальности уровня среднего специального образования: «Техническая эксплуатация радиооборудования самолетов» и «Техническая эксплуатация авиационных приборов и электрооборудования самолетов». В 1986 году мы открыли подготовку по специальности «Техническая эксплуата-

тация радиосредств самолетовождения и посадки», в 1989 году — по специальности «Техническая эксплуатация электровычислительной техники и информационных систем».

Позже мы перешагнули на новую ступень: открыли подготовку по направлению технологий управления на воздушном транспорте. В 1991 году МАТУГА реформировалась в Минский авиационно-технический колледж (МАТК) с целью перевода на ступенчатую подготовку обучения по системе среднее специальное — высшее образование. С 1995 года мы шагнули еще дальше: начали подготовку по специальности «Организация движения и управления на воздушном транспорте» на уровне высшего образования непосредственно в колледже. С открытием профильных кафедр, начали выпускать механиков, прибористов и радистов, также на уровне высшего образования.



Курсанты Минского авиационного технического училища гражданской авиации

— В 1980-е годы активно выпускались новые воздушные суда, модернизировалось оборудование и разрабатывались новые силовые установки. Бурная работа по открытию специальностей была связана с этим?

— Безусловно! Это отразилось самым непосредственным образом: с поступлением новой авиационной техники и наземного оборудования в подразделения Министерства гражданской авиации СССР повысились требования к подготовке авиаспециалистов по ее обслуживанию и ремонту. Возникла необходимость переучить преподавательский и инженерный состав. К слову, из-за этого потребовалось преобразовать училище в колледж, а в последующем — в высший колледж. Трудности были, но активная шефская помощь, инициатива всех сотрудников и новые перспективы вызвали большой энтузиазм, да и коллектив успешно справлялся с поставленными задачами.

— Подготовка авиационных специалистов — сложный и многогранный процесс. Он невозможен без обмена опытом и налаживания международных связей. Как обстояла эта работа раньше?

— Мы постоянно работали над совершенствованием подготовки авиационных специалистов, изучением опыта других стран. Самое яркое воспоминание по этому поводу — командировка в Анкоридж. В 1989 году группа представителей учебных заведений, подведомственных Министерству гражданской авиации СССР, с целью изучения особенностей работы, способов подготовки, переподготовки и повышения квалификации авиационных специалистов была направлена за границу.

Мы встречались с руководством и преподавателями местного колледжа, ведущего подготовку, в том числе авиаторов с разработчиками программ. Посетили авиационный факультет по подготовке инженеров по технической эксплуатации летательных аппаратов. Опыт колледжей и высших колледжей у них был введен давно, мы решили его апробировать у себя.

Этот шаг открыл большие возможности, к примеру, получение степени бакалавра и магистра. Изучили местную организацию практик, систему повышения квалификации. Многие адаптировали и ввели уже в наши реалии.

— Расскажите про развитие материально-технической базы. Что Вам больше всего запомнилось?

— Самым уникальным событием, как сейчас помню, была транспортировка самолетов с аэропорта Минск-1 на территорию училища. Ранее они располагались на непригодной территории, до которой был организован постоянный подвоз курсантов, экономичность и комфорт которого были минимальны. Страдало качество подготовки и здоровье обучающихся. Твердо решил заняться перекаткой.

Трудностей было много: оборудование площадки под размещение, строительство зданий, демонтаж и монтаж самолетов, транспортировка в черте города. Благодаря шефской помощи был оборудован аэродром, привлечены опытные инженеры и техники, задействована сложная техника. Несмотря на сомнения в успешности некоторых людей в этой «операции», все прошло в штатном режиме. Особенно запомнилась своей уникальностью перекатка самолета Ту-154Б. После ее окончания и постановки самолета на отведенное для него место на учебном аэродроме я поздравил всех техников и инженеров с трудовой победой. Возгласы: «Ура! Мы все-таки смогли!» — в памяти до сих пор.

Очень хорошо была подготовлена материальная база для подготовки диспетчеров. Авиационные организации помогли оборудовать лингафонные кабинеты, закупить и установить учебно-диспетчерский тренажерный центр (УДТЦ). Вместе с этим мы смогли развернуть радиополигон, оснастить лаборатории, закупить агрегаты и макеты двигателей для других специальностей, построили ангары для их размещения.



Педагогический состав Минского авиационного технического училища гражданской авиации (страница выпускного альбома)

Большие работы были проведены по благоустройству территории. Силами работников колледжа была переоборудована столовая, созданы, расширены и переоснащены учебные мастерские, здравпункт, проведен ремонт классов, библиотеки, методического кабинета. Построено 9-этажное общежитие. Благоустроенные квартиры получили 28 преподавателей и сотрудников колледжа.

– После распада Советского Союза начались непростые времена. Они потребовали выдержки и применения нестандартных подходов к решению проблем. С какими трудностями столкнулось учреждение образования?

– Распад Советского Союза и ликвидация Министерства гражданской авиации СССР создали очень серьезные проблемы. Трудности с финансированием, сохранение контингента, доучивание курсантов из других республик, обеспечение текущих расходов. Трудности были и в распределении выпускников... Перед нами стояла и угроза закрытия военного цикла. Было тяжело. Но мы выстояли, открывали новые специальности, создавали и совершенствовали учебно-лабораторную базу. Было тревожно, пока нас не взяло на свой баланс Министерство образования.

– Какие самые яркие воспоминания у Вас связаны с учреждением образования?

– Знаете, когда я приступил к работе, первые месяцы мне запомнились настороженным отношением ко мне со стороны работников как к незнакомому и новому начальнику. Только потом мне доверительно сообщили, что на должность начальника училища претендовало около пяти человек. Сразу заметил нарушение дисциплины со стороны некоторых преподавателей: люди решили прощупать почву. Пришлось привлекать к ответственности, так проблема ушла очень быстро.

Я всегда старался заразить людей своими идеями и планами. Я пришел один, а не с командой единомышленников. Мне приходилось искать их здесь, но я убедился, что личный пример и желание улучшить условия жизни и учебы курсантов и сотрудников принесут свои плоды. Предложенные мной действия и идеи разрешили многие проблемы, и коллектив сплотился. Мы сделали многое, пусть и с долей риска. С благодарностью вспоминаю тех, кто с большей отдачей, дисциплиной, были активными помощниками по воплощению в жизнь всех начинаний.

– Какой вы видите БГАА в будущем, что бы Вы ей пожелали в преддверии знаменательной даты?

– Пусть я и не работаю в академии уже больше восьми лет, но мне видны изменения. К примеру, открытие новых специальностей. Выполняются ремонтные работы, совершенствуется учебная и научно-исследовательская деятельность. За этим приятно наблюдать!

Всем причастным сотрудникам я хотел бы пожелать здоровья, благополучия, мира, успехов в постоянной работе над собой. Пусть выпускники БГАА прославляют свою alma-mater. Набирайте высоту, достойно продолжайте наше дело и будьте верны гордому званию авиаторов! Помните: цвет нации – это те, кто был, кто есть, и кто будет в авиации.

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ НАУМЕНКО



Александр Иванович Науменко – руководитель учреждения образования с 1999 по 2009 г.

– Александр Иванович, Ваша жизнь связана с академией еще с момента ее основания. Как складывался Ваш профессиональный путь?

– Работу в МАТУГА я начинал с первого звонка – 1 сентября 1975 года: по окончании института был направлен по распределению на должность преподавателя. До поступления имел опыт производственной работы на автомобильном предприятии, за плечами уже было два года срочной службы на должностях младших командиров. Это позволило легко адаптироваться к системе военизированной подготовки, существовавшей тогда в училище, и через некоторое время возглавить цикловую комиссию общетехнических дисциплин, которой я успешно руководил до 1993 года.

Преподаватели цикловой комиссии были молодые, инициативные и активно работали над созданием учебно-методической базы, макетов, технических средств. Кстати, как сейчас помню, помощь им оказывали и курсанты: на занятиях чертили схемы систем и агрегатов больших размеров на медицинский клеенке.

С 1995 года перешел на работу в Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь на должность заместителя начальника управления науки и инвестиций, а позже – в Аппарат Совета Министров Республики Беларусь. В 1999 году некоторое время проработал главным механиком Минского авиаремонтного завода № 407.

Работая в государственных органах и на производстве, получил значительный управленческий опыт и в 1995 году был назначен начальником колледжа, который возглавлял почти 10 лет. По достижении пенсионного возраста перешел на должность заведующего кафедрой социально-гуманитарных дисциплин, на которой преподавал экономические дисциплины еще будучи начальником. В последующем стал доцентом кафедры, где преподаю по настоящее время.

– На период Вашего руководства выпала реорганизация Минского государственного высшего летно-технического колледжа (МГВЛТК)

в Минский государственный высший авиационный колледж (МГВАК). С чем она была связана?

— С образованием в 1995 году Государственного комитета по авиации Республики Беларусь МГВАК был передан из состава Министерства образования в ведение комитета. Одной из задач по развитию колледжа, поставленных тогда перед нами, была организация подготовки летного состава. В связи с этим он и был переименован в летно-технический. Однако открыть летную специальность не представилось возможным, и название колледжа не в полной мере соответствовало профилю подготовки специалистов. В 2001 году Госкомавиации было принято решение о переименовании учреждения образования с приставкой «авиационный».



Территория Минского государственного высшего авиационного колледжа, 2002 г.

— Немногим известно, но в конце 1990-х годов летный состав для белорусской гражданской авиации готовили в России. Расскажите об этом подробнее.

— Вопрос подготовки летного состава, так необходимого для авиации республики, решился заключением договора Госкомавиации с авиационными властями Российской Федерации в рамках Союзного договора между Беларусью и Россией. В соответствии с договором о взаимной подготовке авиационных кадров в Ульяновское высшее авиационное училище и Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации по результатам экзаменов направлялись по четыре абитуриента для обучения на бюджетной основе. Соответственно, в Беларусь направлялись российские граждане для обучения в МГВАК.

— Как обстояли дела с международным сотрудничеством?

— Оно осуществлялось активно. Нам удалось наладить контакты с Московским государственным техническим университетом гражданской авиации — ведущим в России по подготовке специалистов по эксплуатации авиационной техники. Были налажены отношения с Санкт-Петербургским государственным университетом гражданской авиации по подготовке авиадиспетчеров.

Развитие этих отношений позволило войти в состав учебно-методического объединения вузов России по образованию в области авиации и космонавтики в качестве ассоциированного члена. В объединение входят все высшие учебные заведения России данного профиля как гражданские, так

и военные. Это позволило совершенствовать учебные планы, изучить опыт организации обучения в магистратуре, получить необходимую учебную и методическую литературу.

Колледж активно сотрудничал с Межгосударственным авиационным комитетом (МАК), в котором была создана структура по синхронизации и регулированию в сфере образования стран СНГ. К работе этого комитета привлекались ректоры учебных заведений и руководители организаций по повышению квалификации и переподготовки авиационных специалистов. На совещаниях рассматривались вопросы совершенствования подготовки специалистов, организовывались выездные заседания по обмену опытом.

Важным направлением сотрудничества была аттестация колледжа комиссией МАК на соответствие требованиям по подготовке авиационных специалистов, которая проводилась периодически. Сертификат был дополнительным, а иногда и обязательным, для привлечения иностранных граждан для обучения в колледже.

— Как обстояли дела с экспортом образовательных услуг в МГВАК?

— Министерством образования перед учебными заведениями тогда ставилась задача об оказании платных образовательных услуг гражданам других государств. И колледж оказывал такие услуги. В этом помогли работники дипломатических представительств, выпускники прошлых лет, представлялась информация, в том числе о наличии у колледжа международного сертификата МАК как показатель качества и уровня подготовки авиационных специалистов.

Количество иностранных обучающихся было небольшое, в основном из среднеазиатских республик. Большая часть обучалась в заочной форме. Были представители из России, Азербайджана, несколько представителей африканских государств. Чтобы заинтересовать иностранцев были организованы подготовительные курсы по изучению русского языка.

Отрицательным фактором привлечения иностранцев для обучения был статус учебного заведения «колледж», хоть и высший. Большинство людей оно воспринималось как учебное заведение среднего специального образования или же мы казались ниже по сравнению с академией или университетом. Хотя по качеству подготовки мы не уступали.



Педагогический состав после линейки, посвященной Дню знаний — 1 сентября 2009 г.

— Насколько нам известно, в связи с активным призывом выпускников на военную службу в 1990-х годах Вам пришлось искать выходы по сохранению кадрового потенциала. Как это удалось сделать?

— До наступления этого события я работал в министерстве, поэтому могу пояснить только суть произошедшего. Раньше все курсанты проходили подготовку по программе офицеров запаса, и выпускники не призывались на срочную службу в армию. В этот период Министерством обороны была введена военная подготовка по программе офицеров запаса в соответствии с потребностью Вооруженных Сил. Курсантов, которые не проходили обучение на военном цикле, стали призывать на срочную службу. Это уменьшило численность обучающихся курсантов, объем педагогической нагрузки для преподавателей и, как следствие, начались увольнения. Но руководство вышло из этой ситуации, что позволило сохранить контингент.

— Чем Вам больше всего запомнились курсанты на разных этапах становления БГАА?

— В период существования МАТУГА курсантам была присуща целеустремленность в овладении специальностью, поскольку после окончания училища они гарантированно трудоустраивались по полученной специальности, как правило, туда, откуда были направлены на учебу. Ребята обучались практически со всех управлений гражданской авиации СССР: с Запада до Дальнего востока.

С распадом СССР социалистическая система, гарантировавшая полное социальное обеспечение со стороны государства, сменилась социально-ориентированной рыночной с иными условиями. В ее основе лежит самообеспечение граждан с определенной государственной поддержкой. Это и определяет иные мировоззренческие взгляды современной молодежи. Им характерно, как правило, высокое материальное обеспечение со стороны родителей и отсутствие трудового воспитания, в определенной степени индивидуализм. Вместе с тем им же присуща в большей степени самостоятельность в достижении целей, практичность. Они не хуже и не лучше курсантов предыдущих поколений, они другие. А наша задача — в процессе обучения воспитать в них лучшие человеческие и гражданские качества.

— Инициатива ребят позволяла претворять в жизнь очень смелые задумки. Одна из них — создание курсантско-студенческого конструкторского бюро «Мир». Расскажите подробнее об этом.

— Конструкторское бюро было создано в 2002 году по предложению **Алексея Алексеевича Ефремова** — энтузиаста авиации и умельца с золотыми руками. Руководство поддержало идею, было выделено помещение в бывшем актовом зале второго учебного корпуса, оборудована и оснащена необходимыми инструментами мастерская.

Курсанты занимались конструированием и созданием авиамоделей, проводили их испытания, принимали участие в соревнованиях по авиамоделному спорту различных уровней, занимали высокие места. Руководство оказывало необходимую материальную поддержку. Что-то приобреталось курсантами самостоятельно.

Одним из интересных фактов о кружке было то, что по заказу Беларусьфильма курсанты построили макет самолета периода Великой Отечественной войны в натуральную величину. Вершиной творческой работы стала разработка проекта и создание летающего

образца одноместного самолета, которому присвоили имя «Мир-2». Конструкторская работа повышала уровень знаний курсантов в области авиации, развивала творческий потенциал.

— А как обстояли дела с распределением?

— В период СССР вопросов с распределением и трудоустройством выпускников не существовало. Министерство гражданской авиации обеспечивало всех первым рабочим местом. С обретением независимости прием в колледж производился как на бюджетной, так и на платной основе, и количество выпускников превосходило потребность авиапредприятий республики. Именно поэтому гарантировалось трудоустройство бюджетников, а обучающиеся на платной основе распределялись, в том числе, в другие организации и сами находили рабочие места.

Высокое качество подготовки в колледже было известно, поэтому предприятия охотно принимали на работу наших выпускников. Активно работали по приему выпускников авиаремонтные заводы. Но большим спросом пользовались диспетчеры: количество выпускников было наибольшим. Это создавало конкуренцию, и уровень успеваемости в группах был очень высоким.

— В завершение интервью попросим Вас оставить небольшое пожелание академии на ее золотой юбилей.

— Хочу пожелать не сбавлять темп в развитии и реализовать все, что заложено в перспективных планах развития академии. А курсантам быть достойными продолжателями славных традиций нашего учреждения образования.

АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ ЛАПЦЕВИЧ



Александр Анатольевич Лапцевич — руководитель учреждения образования с 2009 по 2015 г.

— Александр Анатольевич, расскажите, как Вы пришли в МГВАТК и как сложился Ваш карьерный путь в его стенах?

— В декабре 1997 года я закончил службу в Вооруженных Силах Республики Беларусь и буквально сразу же был принят на работу МГВАТК в качестве заведующего одной из лабораторий. Уже позже мне предложили должность доцента на кафедре обеспе-

чения полетов и управления движением на воздушном транспорте: я читал лекции для будущих диспетчеров, а также проводил занятия по автоматике на кафедре технической эксплуатации воздушных судов и двигателей.

Как только я был принят на работу, начальник МГВЛТК **Николай Андреевич Сидорович** поставил перед коллективом колледжа задачу по созданию кафедр по технической эксплуатации авиационного оборудования и технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования. С 1998 года мы начали работу в этом направлении и перевели к нам студентов, которые обучались в Белорусской государственной политехнической академии (ныне — Белорусский национальный технический университет). Благодаря этому шагу мы смогли реализовывать полноценное высшее образование.

Дальнейший карьерный рост складывался успешно. После того, как были созданы кафедры с оборудованием, в 1999 году на должность начальника пришел **Александр Иванович Науменко**. Он предложил мне занять должность заместителя начальника по производственному обучению. У нас была неплохая по тем временам база. Самое главное, что была организована работа с авиационными организациями. Главная трудность в этом всем — различие в организации практик по уровню высшего и среднего специального образования.

Потом я работал заместителем начальника колледжа по учебной и научной работе, а в 2009 мне было предложено возглавить тогда уже МГВАК.



Церемония прощания выпускников со Знаменем Минского государственного высшего авиационного колледжа, 2009 г.

— **Расскажите подробнее об организации практического обучения курсантов раньше.**

— У нас были очень хорошие связи с Государственным комитетом по авиации, который оказывал активное содействие в организации практик на базе предприятий. Вообще, первым этапом для курсантов был учебный аэродром: азы постигались там, а дотачивали все уже на конкретной перспективной технике на предприятиях. Это все происходило по той причине, что закупка оборудования — дело дорогое.

На предприятия ездили на технологическую и преддипломную практику. То есть у нас конкретно стояла задача научить специалиста пользоваться аппаратурой, научить, скажем, элементарным вещам техники безопасности, а уже в организациях специалисты должны были получить практические навыки обслуживания авиационной техники. Тот же тренажерный центр

государственного предприятия «Белаэронавигация» нам активно оказывал содействие, оттачивая навыки диспетчеров, полученные на нашем оборудовании.



На торжественном мероприятии, посвященном 40-летию Минского государственного высшего авиационного колледжа, 3 октября 2014 г.

— **А какими качествами Вам больше всего запомнились наши курсанты?**

— Я скажу вам, это были интереснейшие ребята. Моя задача как руководителя была не ограничивать их инициативу и направлять ее в разумное русло. У нас была своя команда КВН, периодически проходил конкурс красоты. Девушки как на подбор! После нашего этапа мы рекомендовали их к участию в городских конкурсах. В стенах колледжа проходила масса художественных праздников, посвященных определенным датам. К примеру, очень запоминающимися всегда были мероприятия ко Дню Великой Победы. Действительно слезы наворачивались на глазах, когда курсанты в форме пели военные песни, приглашали ветеранов гражданской авиации и тех, кто участвовал в боевых действиях. Была заметна благодарность нашим ребятам.

Говоря про быт, курсанты находились в расположении подразделений под руководством командиров рот. И даже девочки. Мы проверяли наличие состава, давали увольнения в город: просто так выйти было нельзя. Все курсанты мужского пола проходили военную подготовку. Но времена изменились, и мы ушли от этого... На КПП дежурили курсанты. Все это, как раз, способствовало развитию дисциплины.

— **Во время Вашего руководства был начат процесс реорганизации МГВАК в БГАА. Как это было?**

— Тут следует начать, что в 2010-х годах в стране проходила стандартизация учреждений образования, готовились изменения в Кодекс об образовании. В исходном варианте было написано, что существуют понятия университета, академии, института и высшего колледжа (*прим. рег.: применительно для учреждений образования*). Главная проблема была в том, что статус высшего колледжа не позволял осуществлять подготовку по программам магистратуры и аспирантуры.

Решение о создании академии и все последующие шаги в этом направлении были связаны с обеспечением кадровой безопасности отрасли. Еще одной предпосылкой стало решение о слиянии двух авиационных «потоков» — государственного и гражданского в едином авиационном учреждении образования. Тогда же был серьезно поставлен вопрос

о подготовке летного состава. Однако, в силу специфики и наработанной базы подготовку летчиков и инженерно-технического состава для Вооруженных Сил Республики Беларусь было решено оставить в Военной академии Республики Беларусь. А на наш военный факультет возложили иные функции.

Подготовительный процесс был, безусловно, не простым. Он потребовал много усилий всего руководства колледжа, содействия республиканских органов государственного управления. Итог, как вы сами можете видеть, успешный: наши стремления были поддержаны Главой государства. Кстати, интересно, что изначально мы обдумывали реорганизацию в институт, но потом отошли от этой идеи в пользу академии.



Практическое занятие курсантов на учебном радиополигоне, 2012 г.

– **Расскажите о самых интересных моментах за время Вашей работы на должности начальника МГВАК.**

– Пожалуй, первое – создание магистратуры. Наследие МАТК оставило нам изумительную базу и сильный преподавательский состав. МАТУГА – легендарное училище. 80 % первых выпускников имело красный диплом. Это напрямую говорило об уровне педагогического состава, который к 2000 году достиг пенсионного возраста. И для того, чтобы сохранить качество и предотвратить кадровый голод, мы начали этот процесс.

При мне был осуществлен переход от военной кафедры к военному факультету. Эта структура уже с более широкими полномочиями. В какой-то степени, подготовка специалистов для государственной авиации на факультете вытекла из решения об унификации, которое было реализовано частично. Еще у нас обучались иностранные граждане в интересах иностранных вооруженных сил. Стоит проговорить и про создание кафедры беспилотных авиационных комплексов и боевого управления. За беспилотниками будет будущее, и я это понимал. Были созданы учебные планы для технической и технологической эксплуатации. Мы долго обсуждали, консультировались, но как показало время, решение правильное.

Не при моем руководстве, но тоже интересно рассказать про набор девочек. Изначально мы их не набирали, но их инициативность, большое желание учиться заставили нас задуматься. Но я скажу так, что с приемом девочек, как раз тоже важный момент, мальчики стали вести себя лучше. Да, для руководства было сложнее: появилась масса нюансов, но так было правильно.

Знаменательно было и создание факультета переподготовки и повышения квалификации. Раньше была схожая структура, но время продиктовало свои правила: ее необходимо было реструктуризировать и обновить. Созданная структура и дальше планировалась к преобразованию в мощный институт. Нас много кто поддержал. В какой-то степени факультет был основой для начала подготовки летного состава. И уже тогда мы проводили подготовку пилотов-любителей, перенимая лучший опыт.

Очень тепло мне вспоминается, как я называю, «собрание всех авиаторов». К нам приехали авиационные специалисты из России, Узбекистана, Казахстана, Украины, других стран СНГ. Были и представители Межгосударственного авиационного комитета. Разные вопросы обсуждали, в том числе связанные и с функционированием учебных заведений. А сколько фестивалей было! Наши побеждали постоянно и в творчестве, и в спорте, и в науке.

– **Поделитесь представлением об академии в будущем. Что бы Вы хотели пожелать в преддверии 50-летия?**

– Академии авиации, конечно, желаю дальнейшего набора высоты. Очень приятно видеть положительную динамику развития материально-технической базы, открытие подготовки летного состава. Пусть так будет и дальше. Курсантам и профессорско-преподавательскому составу желаю крепкого «авиационного» духа и успехов. Я уверен, у вас все получится.

АРТЁМ АРТУРОВИЧ ШЕГИДЕВИЧ



Артём Артурович Шегидевич – ректор учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации» с 2018 года по настоящее время

– **История академии полнится большими достижениями. И наше время – не исключение. Академия претерпела ряд существенных изменений за последние несколько лет. Чем сейчас может удивить материально-техническая база?**

– Материально-техническую базу академии авиации сейчас можно с уверенностью назвать достойной. С 2018 года alma-mater белорусских авиаторов существенно преобразилась. Мы смогли реконструировать общежитие № 1 и главный учебный корпус, от-

крыть современный учебный корпус, оборудованный столовой, новый стадион со спортивными площадками, преобразить территорию, провести капитальные ремонты. Это все делается для удобства курсантов. Согласитесь, ведь учеба и отдых будут намного результативнее в комфортных условиях.

БГАА обладает необходимой материально-технической базой для теоретической и практической подготовки курсантов. В академии располагается более 70 учебных кабинетов и лабораторий, оснащенных всем необходимым для качественной организации образовательного процесса. Также в академии авиации функционирует авиационный научно-технический центр, на аэродроме которого размещены воздушные суда. Отрадно отметить, что последнее пополнение состоялось в 2023 году — в нашу собственность перешел CRJ-200LR, состоявший ранее во флоте ОАО «Авиакомпания «Белавиа». Для нас это стало эпохальным, незабываемым событием.



Воздушное судно Bombardier CRJ-200LR на аэродроме авиационного научно-технического центра БГАА

В 2022 году в академии были установлены летно-навигационный процедурный тренажер Diamond DA-42NG для отработки навыков пилотирования легкого двухмоторного самолета в штатном и внештатном режимах при любых метеорологических условиях. С целью улучшения процесса подготовки курсантов в академии установлен виртуальный процедурный тренажер Boeing 737NG, виртуальные учебные комплексы, позволяющие проводить процедуры по техническому обслуживанию в VR-режиме.

В начале 2024 года в академии был размещен специализированный класс по отработке практических навыков организации и управления воздушным движением на учебном диспетчерском тренажере. Ребята очень лестно отзываются о таком приобретении, а оно, в свою очередь, напрямую влияет на уровень подготовки.



Открытие специализированного класса по отработке навыков управления воздушным движением, 2024 г.

— Одним из самых серьезных шагов в укреплении кадровой безопасности авиационной отрасли нашей страны стало открытие специальности «Летная эксплуатация воздушных судов гражданской авиации». Как это было?

— Действительно, в 2021 году в Белорусской государственной академии авиации произошло историческое для нашей страны событие: открытие специальности «Летная эксплуатация воздушных судов гражданской авиации», что дало старт подготовке пилотов в Республике Беларусь. Главная предпосылка — потребность в таких кадрах у национальной экономики на данный момент и в будущем. Подготовка пилотов — вопрос кадровой безопасности всей отрасли.

Открытие специальности поставило перед коллективом БГАА большое количество задач. Нами был изучен мировой опыт в сфере подготовки пилотов гражданской авиации, учтены рекомендации и стандартные практики Международной организации гражданской авиации. В тесном взаимодействии с Департаментом по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь были внесены дополнения и изменения в авиационные правила. Кропотливая и уверенная работа в этом направлении: разработка образовательного стандарта, учебных планов и программ, адаптация материально-технической базы, подбор профессорско-преподавательского состава дали желаемый результат.



Летно-навигационный процедурный тренажер Diamond DA-42NG

— Сегодня существенный упор в БГАА делается на набор курсантов после 9-го класса. С чем это связано?

— Правильнее сказать, не мы делаем упор, а нас выбирают. Действительно, с каждым годом число выпускников общего базового образования, которые выбирают для себя отделение среднего специального образования БГАА, увеличивается. Популярность рабочих профессий активно растет по всей республике. Если в 2022 году к нам на ОССО поступили 125 человека, то в текущем году их количество составило 186.

На самом деле, престиж рабочей специальности складывается из многих факторов: не только от полученного образования, но и обеспеченности молодого специалиста первым рабочим местом, условий работы после получения диплома, уровня заработной платы, перспектив роста, повышения профессионального уровня, продолжения образования на уровне общего высшего образования. И авиационная отрасль Республики Беларусь предоставляет для этого все возможности.

Сегодня в арсенале ОССО шесть направлений подготовки. Курсанты обучаются по современным образовательным программам на новейшем оборудовании, проходят практику на ведущих авиационных предприятиях страны. Так как образовательный процесс на ОССО состоит на 70 % из практического обучения, курсанты уже со 2-го курса могут окунуться в свою профессию и понять, чем им предстоит заниматься после получения диплома. На выходе мы получаем мотивированного, хорошо подготовленного молодого авиационного специалиста.

Тезис о том, что рабочие специальности не престижны, низкооплачиваемы, уходит в прошлое. Тому доказательство полное выполнение плана набора по итогам вступительной кампании 2024 года, 100-процентное обеспечение выпускников первым рабочим местом, достойные условия труда и заработная плата наших молодых специалистов.



Лаборатория авиационного материаловедения авиационного научно-технического центра БГАА

– Образование всегда находится на острие прогресса. Поделитесь перспективными задумками и наработками на будущее.

– Образование, само по себе, должно идти в ногу со временем: авиационное – не исключение. Ежегодно в авиакомпаниях обновляются парки воздушных судов, производится новая техника и актуализируется нормативная база. Нам, как и всем, особенно важно «держать руку на пульсе» и отслеживать новые тенденции, ведь на их основе и базируется образовательный процесс. Моя главная цель – продвижение и укрепление позиций академии авиации на рынке образовательных услуг не только в нашей стране, но и за ее пределами.

Сейчас мы активно работаем над созданием филиала в Могилеве. В собственность академии уже перешла определенная часть зданий и сооружений аэропорта. Планируется, что там будет реализовываться подготовка летного и инженерного-технического состава, будут размещены современные тренажерные комплексы, авиационная техника и создана зона для полетов по уведомлению. Такое решение, действительно, поднимет авиационное образование на очередную ступень ввысь.

Еще одна из перспективных задач, реализация которой уже ведется – создание конструкторской школы авиадвигателестроения и самолетостроения в Беларуси. Поначалу, безусловно, мы будем концентрировать наши усилия на создании поршневых двигателей и развитии использования перспективных композитных материалов. Далее, шаг за шагом, будем расширять сферы компетенций: большую технику освоить сразу сложно. Вектор работы более чем перспективный. Уверен, по прошествии лет Беларусь сможет осуществить выкатку, испытания и производство собственного самолета. Все в наших силах!



Лаборатория авиадвигателестроения авиационного научно-технического центра БГАА

– В преддверии юбилея мы просим наших собеседников оставить свое пожелание академии. Что бы Вы хотели сказать?

– Главная ценность академии – люди, которые своим неустанным трудом обеспечивают ее постоянное развитие. Поэтому наш юбилей – праздник профессионалов своего дела, людей, влюбленных в небо.

Я хочу поблагодарить тех, кто своим трудом приумножает и развивает сложившееся традиции, отдать дань уважения нашим ветеранам и отметить курсантов, которые только начинают свой профессиональный путь, ведь именно они – залог успеха в будущем.

Празднование Дня академии – традиция, которая сочетает в себе преемственность поколений белорусских авиаторов, нашу современность и стремление к безграничному развитию. Уверен, впереди академию ждут новые высоты и горизонты.

От авторов

Белорусская государственная академия авиации сегодня – уникальное учреждение образования, развивающееся в духе современности. Залог наших успехов в надежном фундаменте и почитании традиционных укладов, сформированных предыдущими поколениями. Уверены, впереди alma-mater белорусских авиаторов ждет много насыщенных ярких событий, а наши выпускники продолжат носить гордое звание авиационных специалистов, подтверждая девиз: «Надзейныя крылы – бяспека Айчыны!».

Материал подготовлен начальником пресс-службы БГАА С. А. Хилькевич, инженером авиационного научно-технического центра БГАА Д. О. Шпилевским



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

КАТИОН-АНИОННАЯ ПЛАЗМА. ОБРАЗОВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

CATION-ANION PLASMA. FORMATION AND PHYSICAL PROPERTIES

Гречихин Леонид Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
gretchihin@yandex.ru

Олейник Дмитрий Юрьевич – инспектор (авиационный) управления по сертификации персонала государственного учреждения «Авиационная инспекция» Департамента по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Республика Беларусь
caradags@mail.ru

Leonid Gretchikhin – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Natural Science and General Professional Disciplines of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
gretchihin@yandex.ru

Dmitry Oleinik – Inspector (aviation) of the Department for Certification of Personnel of the State Institution "Aviation Inspection" of the Aviation Department of the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
caradags@mail.ru

Аннотация: при воздействии мощного лазерного излучения на материалы, атомы которых обладают заметным сродством к электрону, образуется катион-анионная плазма. Катион-анионная плазма реализуется, когда ее размеры больше радиуса Дебая, который определен в настоящей статье. Колебания, возникающие внутри катион-анионной плазмы, распространяются в виде «ионного звука». Определена поглощательная и отражательная способность катион-анионной плазмы. Установлены параметры возникающей катион-анионной плазмы при лазерном воздействии на разные металлы.

Ключевые слова: плазма, информационный канал, отрицательные ионы, «ионный звук», СВЧ-излучение, распространение электромагнитных волн.

Abstract: when high-power laser radiation is applied to materials whose atoms have a noticeable electron affinity, a cation-anion plasma is formed. Cation-anion plasma is realized when its dimensions are larger than the Debye radius, which is defined in this paper. The vibrations generated within the cation-anion plasma propagate as "ion sound". The absorption and reflectivity of the cation-anion plasma are determined. The parameters of the emerging cation-anion plasma under laser action on different metals have been determined.

Keywords: plasma, microwave locator, negative ions, "ionic sound", microwave radiation, propagation of electromagnetic waves.

Введение

В настоящее время входные каналы многих информационных радиозлектронных систем недостаточно защищены от внешнего воздействия. Внешнее воздействие достигло такого совершенства, что защита информационных каналов в радиосвязи стала особенно важной и крайне необходимой. В частности, воздействие мощного радиосигнала на частоте работающего СВЧ-локатора по боковым лепесткам способно не только «ослепить» локатор, но и вывести из строя всю электронику входного информационного канала [1]. Наибольшую опасность для электронного оборудования представляет воздействие излучения, работающего в «окнах прозрачности» атмосферы. Это прежде всего оптическое излучение видимого и инфракрасного диапазона с длинами волн от 0,3 до 10 мкм за исключением отдельных участков в области 1,15 мкм и 1,3–1,5 мкм, а также воздействие электромагнитного излучения в интервале частот от 1 до 40 ГГц, т. е. СВЧ-диапазона [2, 3].

Направленное воздействие этих излучений на элементы телекоммуникационных систем может решать задачи не только их нагрева и последующего теплового поражения, но и функционального воздействия, способного разрушить электронные устройства, уста-

новленные в информационных каналах связи, а также приводить к сбоям и выходу из строя электронных устройств. Поэтому возникла проблема защиты работающих электронных каналов передачи информации от внешнего импульсного воздействия. Для этого предложено использовать комбинированное воздействие лазерного и СВЧ-излучений, которое способно обеспечить получение устойчивого приповерхностного плазменного образования у объекта-мишени, на которое воздействует лазерное излучение. В этих условиях образуется плазма, состоящая преимущественно из отрицательных и положительно заряженных ионов. Такая катион-анионная плазма вполне может защитить работающее опто- и радиозлектронное оборудование, находящееся во входном информационном канале связи. Поэтому возникла цель — обосновать наиболее эффективные условия возникновения такой плазмы, которая способна практически полностью поглотить радиозлектронные импульсы внешнего воздействия. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть разные способы создания катион-анионной плазмы у входного информационного канала электронных систем, передающих информацию.

2. Определить параметры катион-анионной плазмы, при которой внешнее излучение полностью отражается

или полностью поглощается во входном информационном канале радиоэлектронной системы.

3. Выяснить, какие явления возникают в процессе воздействия лазерного излучения на разные материалы с образованием устойчивой катион-анионной плазмы.

4. Рассмотреть, какое воздействие излучение СВЧ-диапазона оказывает на параметры катион-анионной плазмы.

5. Обосновать условия, при которых внешнее излучение полностью отразится или полностью поглотится катион-анионной плазмой, образованной у входного информационного канала заданной радиоэлектронной системы.

Формирование катион-анионной плазмы у входного информационного канала радиоэлектронной системы

Плазма формируется перед входным каналом радиоэлектронной системы под воздействием лазерного излучения на металлическую мишень. Такая плазма является неоднородной как по времени, так и в пространстве. По последним экспериментальным и теоретическим данным, на поверхности конденсированных сред атомы в молекулах кластерных образований пребывают в виде отрицательных ионов [1, 2]. В дуговых и искровых разрядах под действием электрического тока из катодных пятен истекают плазменные факелы, содержащие отрицательные ионы [1]. При воздействии лазерного излучения плазменные факелы содержат также отрицательные ионы. В [3, 4] было доказано, что в результате воздействия лазерного излучения на медную пластину температура электронного облака в плазменном факеле определяется процессом ионизации отрицательных ионов атомов меди.

Рассмотрим воздействие лазерного излучения на медную, алюминиевую и серебряную пластины. Общая энергия применяемого импульсного лазера с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм составила $W = 5 \cdot 10^{11}$ Вт/м². Электромагнитное излучение проникает в металл на глубину скинслоя. Например, глубина скинслоя при воздействии лазерного излучения на алюминиевую пластину равна [5]

$$\Delta r = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}} = 3,74 \cdot 10^{-9} \text{ м}, \quad (1)$$

где f — линейная частота электромагнитного излучения лазера;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная проницаемость вакуума;

$\sigma = 3,8 \cdot 10^7$ См/м — проводимость алюминия. Алюминиевая пластина, на которую воздействует лазерное излучение в процессе превращения ее в плазму, имеет массу

$$\Delta m = \rho S \Delta r \cong 1,8525 \cdot 10^{-7} \text{ кг}. \quad (2)$$

Количество атомов алюминия, которое содержится в этой массе, равно $N = \Delta m / m_a = 4,136 \cdot 10^{18}$. Чтобы перевести такое количество атомов в газообразное состояние необходимо затратить энергию

$$W = QN = 2,26 \text{ Дж}, \quad (3)$$

где Q — энергия атомизации кристалла алюминия.

Все атомы, образовавшиеся в объеме $\Delta V = S \Delta r$, пребывают при температуре кипения. Это значит, что в зоне пятна разрушения при концентрации $n_{Al} = N / \Delta V$ и температуре кипения возникнет давление

$$P = n_{Al} k_B T_{кип} = 5,04 \cdot 10^7 \text{ Па}. \quad (4)$$

При таком высоком давлении в пятне разрушения, образующийся газ из атомов алюминия начнет испаряться со сверхзвуковой скоростью в режиме «разлета в вакуум». При «разлете в вакуум» ударные волны внутри плазменного факела в виде периодической структуры не образуются.

При распространении электромагнитных волн электрический и магнитный векторы совершают колебания в фазе во взаимно перпендикулярных плоскостях. Электрический вектор волны представляется в виде

$$E_w = E_0 \exp(-j\omega t), \quad (5)$$

где E_0 — амплитуда волны;

j — мнимая единица;

ω — круговая частота электромагнитного излучения;

t — время наблюдения.

Если электромагнитная волна проникает в плазму, в которой присутствуют свободные ионы, то на каждый свободный ион действует сила $F_i = eE_i$.

На выходе из зоны воздействия лазерного излучения плазменный факел расширяется путем «разлета в вакуум» до значения концентрации газов в воздухе.

Макроскопические свойства катион-анионной плазмы

В плазме присутствуют преимущественно свободные отрицательные ионы с концентрацией n_i^- . Количество свободных ионов с положительным зарядом равно количеству ионов с отрицательным зарядом:

$$n_i^+ = n_i^-. \quad (6)$$

Это подтверждает то, что плазма в целом квазинейтральна, т. е., в ней нет существенного избытка зарядов одного знака над зарядами другого знака. Такое определение плазменного состояния вещества в виде электрон-ионной плазмы было дано Ленгмюром в 1929 г. Однако при выполнении (6) плазма является не электрон-ионной, а катион-анионной.

При достаточно высокой температуре внутри катион-анионной плазмы в некоторых локальных небольших объемах за счет кинетической энергии заряженных частиц равенство (6) может нарушаться. В результате в таком объеме возникнет электрическое поле, которое своим действием на заряженные частицы будет стремиться вернуть плазму в исходное квазинейтральное состояние. Рассмотрим эту ситуацию подробнее на примере ионизации отрицательных ионов при выполнении (6).

Пусть в некотором объеме радиуса r внутри катион-анионной плазмы при температуре T произошло полное разделение электрических зарядов ионов разных знаков (рисунок 1). Внутри выделенной сферы присутствуют заряды только одного знака с концентрацией n_i^+ или n_i^- . Чтобы отрицательному или положительному иону покинуть этот объем, необходимо совершить работу против сил электростатического притяжения.

При удалении иона на расстояние dr совершается работа

$$dA = F dr. \quad (7)$$

На основании закона Кулона

$$F = \frac{eq^+}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (8)$$

где $q^+ = en_i^+ \frac{4}{3}\pi r^3$ — положительный заряд внутри выделенной сферы радиуса r .

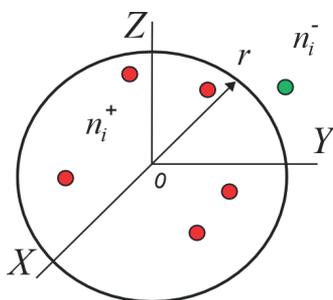


Рисунок 1 – Разделение зарядов внутри плазмы

С учетом (8) получаем следующую величину работы:

$$dA = \frac{e^2 n_i^+ r dr}{3\epsilon_0} \tag{9}$$

При температуре плазмы T отрицательный ион обладает внутренней энергией поступательного движения $E_T = \frac{i}{2} k_B T$ (здесь $i = 3$ – число степеней свободы). В каждой степени свободы частица совершает движение в прямом и обратном направлении. Отрицательный или положительный ион, покидая заряженную сферу радиуса r , совершает движение в одном из направлений, где обладает поступательной энергией $k_B T/6$. Эта энергия преодолевается силами электростатического взаимодействия. Тогда

$$\int_0^h \frac{e^2 n_i^+ r dr}{3\epsilon_0} = \frac{1}{6} k_B T. \tag{10}$$

Максимальное расстояние, на которое отрицательный или положительный ион удалится от центра полностью положительно заряженной сферы, составит

$$h = \left(\frac{\epsilon_0 k_B T}{e^2 n_i^+} \right)^{\frac{1}{2}}. \tag{11}$$

Величина h , определяемая по (11), называется дебаевским радиусом экранирования. Дебай, основываясь на некоторых упрощениях, показал, что потенциал поля точечного заряда в электролите изменяется как $e^{-r/h}/2$, а на расстояниях r , превышающих h , электрическое поле в электролите экранируется зарядами противоположного знака. Применимость теории Дебая к газообразному состоянию отрицательных n_i^- и положительных n_i^+ ионов не совсем оправдана. Тем не менее, вывод о том, что дебаевский радиус является мерой расстояния, на котором концентрация отрицательных и положительных ионов может существенно отклоняться и нарушать равенство (6) является корректным. На расстояниях больших, чем радиус Дебая, плазма является квазинейтральной и должно выполняться условие (6). Отсюда следует, что под катион-анионной плазмой следует понимать такой ионизированный газ, характерные размеры которого значительно превышают радиус Дебая.

Внутри радиуса Дебая возможны отклонения от равенства (6). Такие отклонения приводят к колебаниям отрицательных ионов относительно положительно заряженной ионной компоненты плазмы, т. е. к электростатическим колебаниям плазмы.

Электростатические колебания в катион-анионной плазме

Электростатические колебания – простейший и наиболее важный тип продольных колебаний плазмы.

Эти колебания возникают вследствие нарушения квазинейтральности в локальных объемах плазмы. Механизм возникновения колебаний отрицательных ионов показан на рисунке 2. Этот тип электростатических колебаний плазмы впервые обнаружил Ленгмюр, поэтому их часто называют ленгмюровские колебания или «ионный звук». Ионный звук распространяется по плазме со скоростью $\sqrt{k_B T / m_i}$. Если в объеме плазмы V происходит смещение отрицательных ионов на малое расстояние Δx вдоль оси X , то возникает структура типа плоского конденсатора, напряженность электрического поля в которой определяется выражением

$$\Delta E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{e n_i^+}{\epsilon_0} \Delta x. \tag{12}$$

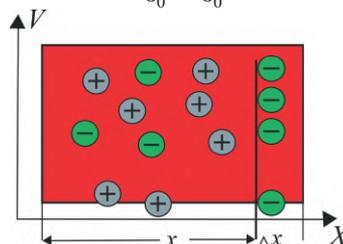


Рисунок 2 – Модель электростатических колебаний плазмы

Сила действия на отрицательный ион в таком поле составляет

$$\Delta F = e \Delta E = -\frac{e^2 n_i^+}{\epsilon_0} \Delta x. \tag{13}$$

Под действием такой силы отрицательный ион совершает малые колебания относительно положения равновесия под действием упругой силы. Частота малых колебаний под действием упругой силы определяется по формуле

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_i}}, \tag{14}$$

где $k = \frac{e^2 n_i^2}{\epsilon_0}$ – коэффициент упругой силы (13);

m_i – масса положительного иона [6].

Частота малых колебаний отрицательных ионов в катион-анионной плазме определяется следующим образом:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{e^2 n_i^+}{\epsilon_0 m_i}}. \tag{15}$$

Часто ее называют критической частотой, т. к. более высокие частоты электромагнитного излучения проникают в такую плазму, а более низкие – полностью отражаются от нее.

При распространении электромагнитных волн в плазме происходит эффективное их рассеяние и в ряде случаев зеркальное отражение. Этим свойством катион-анионная плазма отличается от обычного газообразного состояния вещества и от электрон-ионной плазмы.

Поглощение и рассеяние электромагнитных волн в катион-анионной плазме

Электромагнитная волна представляет собой периодическое изменение электрического и магнитного поля во взаимно перпендикулярных плоскостях вдоль направления распространения. Электрическое поле волны

$$E = E_0 e^{-i\omega t}. \tag{16}$$

В электрическом поле волны на однократно заряженные положительные и отрицательные ионы плазмы действует сила

$$F = eE. \quad (17)$$

Под действием этой силы свободные заряженные частицы приходят в движение, создавая электрический ток для ионов $j_i = en_i v_i$. В катион-анионной плазме $n_i = n_i^+ = n_i^-$, а $v_i^+ \cong v_i^-$. Поэтому плотность электрического тока равна сумме токов, создаваемых положительно и отрицательно заряженными ионами. Для достаточно разреженной плазмы столкновение отрицательных ионов с положительно заряженными ионами плазмы можно не учитывать, поэтому второй закон Ньютона для каждого иона плазмы запишется в виде

$$m_i \frac{d^2 r}{dt^2} = eE = eE_0 e^{-i\omega t}. \quad (18)$$

Решая данное уравнение, получаем смещение иона относительно положения равновесия вдоль радиуса r :

$$r_i = \frac{eE}{m_i \omega^2} + r_0, \quad (19)$$

где r_0 — радиус Дебая. Но для катион-анионной плазмы радиусом Дебая пренебрегаем.

Под действием электромагнитной волны положительно заряженный и отрицательно заряженный ион смещаются относительно положения равновесия на величину r_i и происходит поляризация плазмы. В этом случае вектор электрической поляризации

$$P = \frac{\sum_k N_{i,k} e r_i}{V} = e r_i \frac{\sum_k N_{i,k}}{V} = e r_i n_i. \quad (20)$$

Общее определение вектора электрической поляризации следующее [7]:

$$P = kE = (\epsilon_r - 1)\epsilon_0 E. \quad (21)$$

Приравнивая (20) и (21) с учетом (19), получаем

$$\epsilon_r = 1 - \frac{e^2 n_i}{\epsilon_0 m_i \omega^2} = 1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2. \quad (22)$$

Здесь ω_0 — критическая частота, определяемая по (11).

При воздействии электромагнитного поля на катион-анионную плазму диэлектрическая проницаемость (22) является динамической постоянной и всегда меньше единицы, а с возрастанием частоты падающей волны стремится к единице. В статическом электрическом поле относительная диэлектрическая проницаемость всегда больше единицы, а с возрастанием приложенного электрического поля также стремится к единице. Это свидетельствует о том, насколько отличаются воздействия на плазму постоянного электрического поля и электромагнитного поля, когда происходит совместное действие электрического и магнитного полей.

Относительную магнитную проницаемость для катион-анионной плазмы в отсутствии магнитных диполей можно принять равной единице. Тогда показатель преломления для плазмы составит

$$n = \sqrt{\epsilon_r} = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}. \quad (23)$$

Отсюда следует, что при $\omega < \omega_0$ показатель преломления является мнимым. Следовательно, электромагнитная волна в плазму не проникает, а полностью отражается, т. е. реализуется критическое отражение, для которого коэффициент отражения равен единице.

При $\omega > \omega_0$ коэффициент отражения

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \cong \frac{\omega_0^4}{4\omega^4}, \quad (24)$$

где n — показатель преломления среды.

Получается, что с ростом частоты ω падающей волны коэффициент отражения резко падает, но не равен нулю. Когда $\omega \gg \omega_0$ реализуется томсоновский механизм рассеяния. В этом случае расстояние между ионами значительно превышает длину волны падающего излучения, и колебания каждого иона в поле волны являются независимыми. Эффективное сечение рассеяния было вычислено Томсоном для отдельного электрона. В случае катион-анионной плазмы в формуле Томсона следует заменить массу электрона на массу отрицательного иона. Тогда

$$S_T = \frac{e^4}{m_i^2 c^4}. \quad (25)$$

Полное сечение отражения электромагнитной волны от плазмы объемом V с концентрацией ионов n_i равно

$$S_{\text{эфф}} = n_i V S_T = \frac{n_i V e^4}{m_i^2 c^4}. \quad (26)$$

Такой механизм рассеяния возникает при распространении лазерных лучей сквозь катион-анионную плазму малой плотности.

Колеблясь в поле падающей волны, отрицательный ион сталкивается с атомами и положительными ионами плазмы. При этом отдает им часть своей энергии. Это приводит к поглощению энергии электромагнитной волны. Если в результате единичного столкновения отрицательный ион теряет импульс $p = m_i \frac{dr_i}{dt}$, то средняя сила трения составит

$$\bar{F}_{\text{тр}} = m_i v_{\text{эфф}} \frac{dr_i}{dt}, \quad (27)$$

где $v_{\text{эфф}}$ — эффективное число столкновений в секунду.

Учитывая трение, второй закон Ньютона (18) преобразуется к виду

$$m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2} = eE - m_i v_{\text{эфф}} \frac{dr_i}{dt}. \quad (28)$$

Решая (28) совместно с (18) для диэлектрической проницаемости, получаем

$$\epsilon_r = 1 - \frac{e^2 n_i}{m_i \omega (\omega - j v_{\text{эфф}})}. \quad (29)$$

В общем случае для дисперсной среды диэлектрическая проницаемость является комплексной величиной:

$$\epsilon_r = \epsilon' - j \frac{\sigma}{\omega}. \quad (30)$$

Сравнивая (29) и (30), получаем

$$\epsilon_r = 1 - \frac{e^2 n_i}{m_i (\omega^2 - v_{\text{эфф}}^2) \epsilon_0}; \quad (31)$$

$$\sigma = \frac{e^2 n_i}{m_i (\omega^2 - v_{\text{эфф}}^2)}. \quad (32)$$

Реальная часть комплексной составляющей диэлектрической проницаемости определяет отражательную способность катион-анионной плазмы, а мнимая — поглощательную способность катион-анионной плазмы (30).

Характерные случаи прохождения длинных, коротких и ультракоротких длин волн в катион-анионной плазме показаны на рисунке 3.

В СВЧ-технике внешнее воздействие достигло такого уровня, что по боковым лепесткам диаграммы направ-

ленности антенны оно поступает в приемный канал и, оказывая энергетическое воздействие, полностью нарушает его работоспособность. В качестве защитного элемента можно использовать катион-анионную плазму. В этом случае плазма должна содержать концентрацию заряженных частиц такой величины, чтобы СВЧ-излучение в ней полностью поглощалось. Например, для СВЧ-излучения трехсантиметрового диапазона критическая концентрация отрицательных ионов составит [5]

$$n_i^- = \frac{2\pi\epsilon_0 m_i c}{\lambda e^2} \sim 1,24 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}. \quad (33)$$

Если концентрация отрицательных ионов в два-три раза больше значения, рассчитанного в (33), излучение трехсантиметрового диапазона полностью отразится от плазмы.

Если энергия сродства к электрону в плазме составляет $E_A \sim 0,44$ эВ (алюминий), то в нормальных условиях концентрацию заряженных частиц можно определять по формуле Саха [6]:

$$\frac{n_e n_i}{n_a} = c' T^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{EA}{k_B T}\right). \quad (34)$$

Температура катион-анионной плазмы при воздействии лазерного излучения на алюминий составит $T \approx E_A/k_B \approx 5100$ К. Тогда для $E_A \sim 0,44$ эВ по формуле Саха концентрация заряженных частиц составит приблизительно $3 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Полученное значение концентрации заряженных частиц значительно превосходит критическое значение. Если плазма формируется атомарными частицами, то энергия ионизации 0,44 эВ не реализуется. Энергия ионизации всех атомов таблицы Менделеева больше 1 эВ. Чтобы ионизовать атомарные частицы необходимо создавать плазму с температурой значительно превосходящей 10 000 К. В дуговых разрядах получить такую температуру весьма проблематично. Температуру плазмы выше 10 000 К получают в искровых разрядах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gretchikhin, L. I. Double electrical layer in the cathode spot / L. I. Gretchikhin, S. D. Latushkina, V. M. Komarovskaya // Military technical Courier Scientific of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. – 2016. – Vol. 64. – № 3. – P. 670–689.
2. Gretchikhin, L. I. Formation of negative ions on the surface of a solid body and their influence on the thermoelectronic and autoelectronic emission of free electrons / L. I. Gretchikhin // American Journal of Applied Scientific Research. – 2019. – Vol. 5. – № 3. – P. 47–55.
3. Гречихин, Л. И. Об аналогии физических процессов, протекающих в импульсном разряде и при воздействии концентрированного лазерного излучения / Л. И. Гречихин, Л. Я. Минько // Журнал технической физики. – 1967. – Т. 37. – С. 1169–1172.
4. Gretchikhin, L. I. Negative ions in space exploration / L. I. Gretchikhin // Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technology: The Eight World Congress. – October 10–12, 2018, Kiev, Ukraine. – Kiev : National Aviation University. – P. 2.3.29–2.3.37.
5. Гречихин, Л. И. Основы радиосвязи / Л. И. Гречихин. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2016. – 377 с.
6. Арцимович, Л. А. Элементарная физика плазмы / Л. И. Арцимович. – М. : Атомиздат, 1969. – 189 с.
7. Гречихин, Л. И. Физика. Электричество и магнетизм. Современная электродинамика / Л. И. Гречихин. – Минск : Право и экономика, 2008. – 302 с.

REFERENCES

1. Gretchikhin L.I., Latushkina S.D., Komarovskaya V.M. Double electrical layer in the cathode spot. Military technical Courier Scientific of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia, 2016, vol. 64, no 3, pp. 225-248. // Periodical of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia, 2016, vol. 64, no 3, pp. 670-689.
2. Gretchikhin L.I. Formation of negative ions on the surface of a solid body and their influence on the thermoelectronic and autoelectronic emission of free electrons. American Journal of Applied Scientific Research, 2019, vol 5, no 3, pp. 47-55. doi.org/10.11648/j.ajars.20190503.11.
3. Grechihin L.I., Min'ko L.Ja. Ob analogii fizicheskikh processov, protekajushhix v impul'snom razrjade i pri vozdejstvii koncentririvannogo lazernogo izlucheniija [On the analogy of physical processes occurring in a pulsed discharge and under the influence of concentrated laser radiation]. Zhurnal tehnicheckoj fiziki, 1967, vol. 37, pp. 1169-1172.
4. Gretchikhin L.I. Negative ions in space exploration. The Eight World Congress: Aviation in the XXI-st century – Safety in Aviation and Space Technology. October 10-12, 2018, Kiev, Ukraine. Kiev, National Aviation University, pp. 2.3.29-2.3.37.
5. Gretchikhin L.I. Osnovy radiosv'язi [Fundamentals of radio communication]. Minsk, Natsional'naia biblioteka Belarusi, 2016, 377 p.
6. Arcimovich L.A. Jelementarnaja fizika plazmy [Elementary plasma physics]. Moscow, Atomizdat, 1969. – 189 p.
7. Gretchikhin L.I. Fizika. Elektrichestvo i magnetizm. Sovremennaja jelektrodinamika [Physics. Electricity and magnetism. Modern electrodynamics]. Minsk, Pravo i ekonomika, 2008, 302 p.

Статья поступила в редакцию
25.10.2023

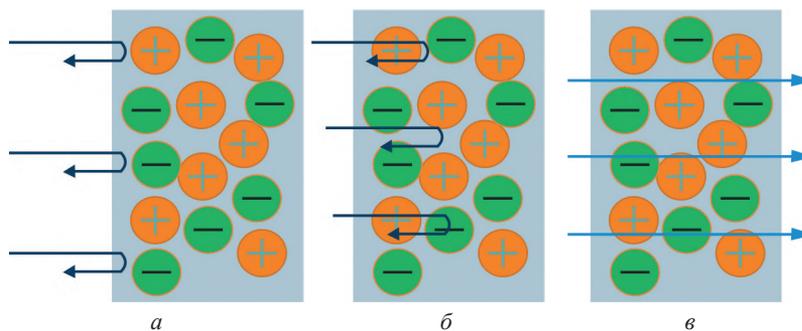


Рисунок 3 – Процесс взаимодействия электромагнитного излучения по номенклатуре Международного консультативного комитета по радиосвязи с катион-анионной плазмой:

a – ультравысокие частоты; *б* – сверхвысокие частоты; *в* – крайне высокие частоты

Заключение

Проведенные исследования образования катион-анионной плазмы позволили установить следующее:

1. Катион-анионная плазма образуется при воздействии мощного лазерного излучения на материалы, атомы которых обладают заметным сродством к электрону.
2. Состояние катион-анионной плазмы реализуется, когда ее размеры больше радиуса Дебая, установленно для такой плазмы.
3. Возникающие внутри катион-анионной плазмы колебания распространяются в виде «ионного звука».
4. Определена поглощательная и отражательная способность катион-анионной плазмы.
5. Установлены параметры возникающей катион-анионной плазмы при лазерном воздействии на разные металлы.
6. Учитывая, что катион-анионная плазма возникает вследствие воздействия мощного лазерного излучения на разные металлы, атомы которых обладают сродством к электрону, возможно определить характеристики длины волны и мощность лазера, воздействие которого на металлическую поверхность, приводит к образованию катион-анионной плазмы, позволяющей полностью исключать проникновение в канал передачи информации вследствие полного отражения или поглощения энергетических радиопомех.

РАЗРЕШИМОСТЬ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ШИРОКОПОЛОСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ЗА СЧЕТ СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИМПЕДАНСА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

SOLVABILITY OF THE CONSTRAINT SYSTEM, WIDEBAND DUE TO THE SYNTHESIS OF MATHEMATICAL MODELS OF THE IMPEDANCE OF RADIO ENGINEERING DEVICES AND THE USE OF MODIFIED APPROXIMATION FUNCTIONS

Бойкачев Павел Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры тактики и вооружения радиотехнических войск учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
pashapasha.boi@mail.ru

Исаев Владислав Олегович – кандидат технических наук, инженер учебной лаборатории кафедры автоматизации, радиолокации и приема-передающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», республика Беларусь
yastasmoz@gmail.com

Янцевич Михаил Александрович – старший инженер учебной лаборатории кафедры автоматизации, радиолокации и приема-передающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
yantsevich1052500@mail.ru

Pavel Boykachev – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Tactics and Weapons of Radio Engineering Troops of the Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
pashapasha.boi@mail.ru

Vladislav Isaev – Ph. D. (Engineering), Engineer of the Educational Laboratory of the Department of Automation, Radar and Receiving and Transmitting Devices of the Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
yastasmoz@gmail.com

Mikhail Yantsevich – Senior Engineer of the Educational Laboratory of the Department of Automation, Radar and Receiving and Transmitting Devices of the Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
yantsevich1052500@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются способы разрешимости системы ограничений на широкополосное согласование за счет использования классических, модифицированных аппроксимирующих функций и выбора математических моделей импеданса радиотехнических устройств. Предлагается альтернативная замена модели импеданса антенны АШ-4 для разрешимости системы ограничений широкополосного согласования обобщенным методом Дарлингтона. Полученное решение задачи широкополосного согласования свидетельствует о том, что аналитические подходы к синтезу согласующих цепей должны сопровождаться рассмотрением различных вариантов схожих математических моделей импеданса радиотехнических устройств и применением модификации аппроксимирующих функций.

Ключевые слова: нагрузка, согласующее устройство, антенна, эквиваленты, аппроксимирующие функции.

Abstract: the paper considers the ways of resolving the system of restrictions on broadband matching, through the use of classic, modified approximating functions and the choice of a resistance model for radio engineering devices. An alternative replacement of the ASH-4 antenna resistance model for the solvability of the broadband matching constraint system by the generalized Darlington method is proposed. The obtained solution to the problem of broadband matching indicates that analytical approaches to the synthesis of matching circuits should be accompanied by consideration of various variants of similar resistance models of radio engineering devices.

Keywords: load, matching device, antenna, equivalents, approximating functions.

Введение

В настоящее время отмечается увеличение количества разрабатываемых широкополосных радиоэлектронных систем (РЭС) различного назначения (космическая, спутниковая, персональная и сотовая связь, телекоммуникация, гигабитные системы передачи данных и т. д.). РЭС, как правило, бывает весьма слож-

ным техническим объектом, включающим большое число составных частей с многообразными связями между ними. Описания таких объектов в процессе их создания и использования должны быть согласованы с возможностями их восприятия человеком. Одним из таких описаний являются эквиваленты радиоэлектронных устройств (РЭУ), входящих в состав РЭС (усилители, частотные фильтры, антенные устройства (АУ) и др.).

Данные эквиваленты дают возможность обеспечить проверку принимаемых технических решений на этапах эскизного и технического проектирования при выполнении опытно-конструкторских работ по созданию и улучшению современных РЭС.

Существующие эквиваленты РЭУ, как правило, удовлетворительно воспроизводят параметры реальных устройств в относительно узком диапазоне частот. Их использование в радиотехническом тракте, работающем в широком диапазоне частот, может привести к повышению коэффициента стоячей волны (КСВ), снижению точности измерения мощности передатчика и даже к выходу из строя транзисторов усилителя мощности. Из-за сложности анализа применения существующих эквивалентов и прогнозирования результата их использования разработчики часто его считают случайным. Влияния подобных эквивалентов, как правило, оценивают для семейства уже готовых РЭУ [1].

В связи с этим имеет место моделирование РЭУ по измеренным реактансным либо рефлектансным параметрам. Моделирование преследует две цели:

- создание эквивалента антенны, необходимого для функционирования передающего устройства без излучения в эфир;
- определение функции входного сопротивления для решения задачи согласования.

В обоих случаях важным представляется точность соответствия модели параметрам реальной антенны.



Рисунок 1 – Монопольная антенна «Штырь 4 м», установленная на кузове К-6-131 автомобиля ЗИЛ-131

Моделирование импедансной характеристики и синтез эквивалента антенны АШ-4

Для подтверждения вышесказанного рассмотрим монопольную антенну «Штырь 4 м» (АШ-4), установленную на кузове К-6-131 автомобиля ЗИЛ-131 и работающую в диапазоне 1,5...30 МГц (рисунок 1).

В таблице представлены результаты измерений параметров импеданса антенны в виде действительной и мнимой составляющих. Измерения проводились с использованием векторного анализатора цепей ZNB4.

Для этой антенны предусмотрен трехдиапазонный усредненный эквивалент входного сопротивления ЭАШ-4м [2], который используется для измерения выходной мощности, отдаваемой передатчиком радиостанции Р-134. Схемы эквивалентов [1] в диапазонах 1,5...6; 6...18 и 18...30 МГц приведены на рисунке 2. Для диапазона 1,5...6 МГц элементы схемы имеют значения $C_1 = 68$ пФ, $C_2 = 1720$ пФ, для диапазона 6...18 МГц соответственно $C_1 = 112$ пФ, $C_2 = 290$ пФ (рисунок 2, а), для диапазона 18...30 МГц элементы схемы равны $C_1 = 33$ пФ, $L_1 = 1$ мкГн (рисунок 2, б). Резистор ($R = 75$ Ом) служит для измерения напряжения с пересчетом в мощность, отдаваемую передатчиком в усредненный эквивалент антенны ЭАШ-4м.

Для оценки соответствия эквивалентов параметрам реальной антенны на рисунке 3 представлены частотные зависимости действительных и мнимых составляющих импеданса согласно таблице (кривые 1 и 2 соответственно) и аналогичные параметры эквивалентов (кривые 3 и 4 соответственно).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что в диапазонах 1,5...6 МГц и 6...18 МГц приемлемое приближение к параметрам реальной антенны имеют только действительные составляющие сопротивлений эквивалентов. В диапазоне 18...30 МГц соответствие

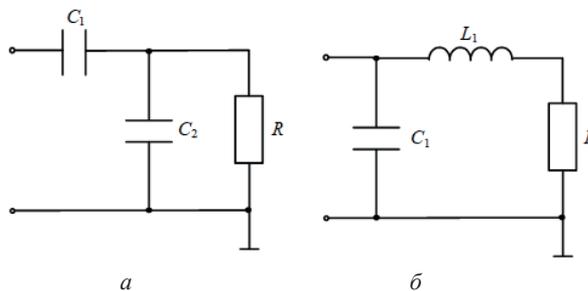


Рисунок 2 – Схемы эквивалентов антенны АШ-4

Таблица – Результаты измерений сопротивления монопольной антенны АШ-4

f , МГц	Re, Ом	Im, Ом	f , МГц	Re, Ом	Im, Ом	f , МГц	Re, Ом	Im, Ом
1,5	3,650	-764	9,0	3,800	-99	20,0	64,000	-108
2,0	2,020	-571	10,0	6,200	-79	21,0	44,000	-98
2,5	1,650	-454	11,0	12,473	-61	22,0	40,000	-92
3,0	1,600	-376	12,0	21,000	-49	23,0	24,000	-91
3,5	1,890	-320	13,0	26,000	-47	24,0	16,000	-78
4,0	1,900	-277	14,0	27,000	-31	25,0	14,000	-68
4,5	2,042	-244	15,0	34,000	-8	26,0	12,000	-63
5,0	3,089	-215	16,0	62,000	18	27,0	11,000	-57
6,0	1,088	-176	17,0	148,000	9	28,0	9,800	-51
7,0	1,857	-143	18,0	195,000	-103	29,0	9,900	-42
8,0	3,073	-121	19,0	96,000	-117	30,0	10,000	-41

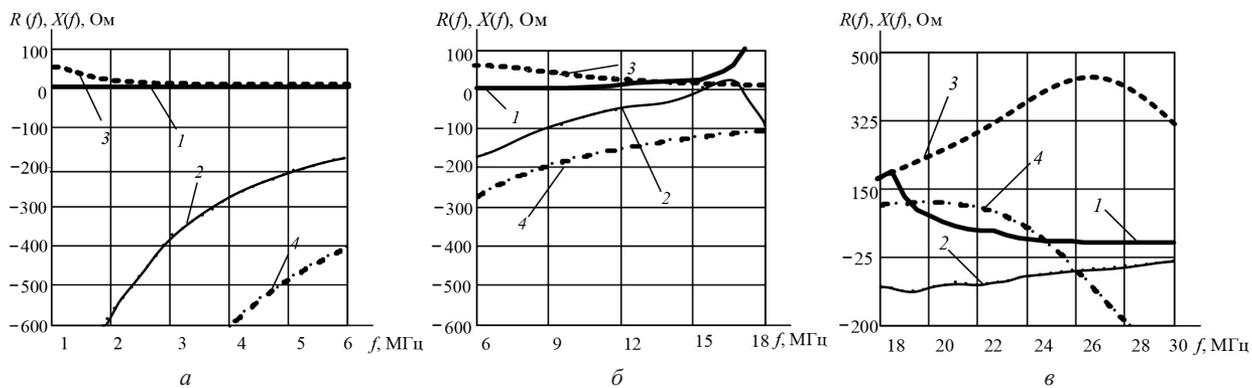


Рисунок 3 – Импедансные характеристики эквивалентов антенны АШ-4 в диапазоне:
 а – 1,5...6 МГц; б – 6...18 МГц; в – 18...30 МГц

эквивалента реальной антенне трудно признать удовлетворительным, поэтому объективно существует необходимость в совершенствовании модели входного сопротивления антенны во всем рабочем диапазоне частот для повышения ее адекватности сопротивлению реальной антенны единым эквивалентом.

Измеренные характеристики радиотехнического устройства (РТУ) могут содержать случайные составляющие самой различной природы (шумы, помехи, дестабилизирующие факторы и ошибки измерений), а также имеют сложный вид и представляются в виде таблиц или графиков. Исходя из этого, для анализа и расчета эквивалентных цепей предлагается использовать математические модели, представляющие собой аналитическое представление характеристик, т. е. представление в виде достаточно простых физически реализуемых функций.

Такой подход основан на использовании методов аппроксимации и подробно рассмотрен в [3, 4]. Суть моделирования сводится к тому, что передаточные и входные функции РТУ, исходя из условий физической реализуемости, являются дробно-рациональными функциями от комплексной частоты (s) вида

$$f(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_k s^k}{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_q s^q}, \quad (1)$$

где все коэффициенты при s должны быть вещественными и неотрицательными, а высшие степени полинома числителя (k) и знаменателя (q), так же как и их низшие степени, не могут отличаться более чем на 1 [5].

С помощью математического преобразования выражение (1) можно представить в виде четной $Ev f(s)$ и нечетной $Od f(s)$ части от $f(s)$:

$$Ev f(s) = \frac{m_1 m_2 - n_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2}; \quad (2)$$

$$Od f(s) = \frac{n_1 m_2 - m_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2}, \quad (3)$$

где

$m_1 = a_0 + a_2 s^2 + \dots + a_{2k} s^{2k}$ – четная часть числителя функции $f(s)$;

$m_2 = b_0 + b_2 s^2 + \dots + b_{2q} s^{2q}$ – четная часть знаменателя функции $f(s)$;

$n_1 = a_1 s + \dots + a_{(2k-1)} s^{(2k-1)}$ – нечетная часть числителя функции $f(s)$;

$n_2 = b_1 s + \dots + b_{(2q-1)} s^{(2q-1)}$ – нечетная часть знаменателя функции $f(s)$.

При $s = i\omega$ имеем

$$Ev f(s)|_{s=i\omega} = \text{Re } f(i\omega); \quad Od f(s)|_{s=i\omega} = i \text{Im } f(i\omega).$$

Выражения (2) и (3) предлагается использовать в качестве аппроксимирующих функций (АФ) $\text{Re } f(s)$ и $\text{Im } f(s)$ импедансных характеристик антенны и сформировать аналитическую модель (АМ) нагрузки с высокой степенью адекватности.

Используя подход, изложенный выше, была получена дробно-рациональная функция, аппроксимирующая измеренные значения импеданса антенны, которая, согласно критерию Гурвица, является устойчивой:

$$Z_{\text{вх}}(s) = \frac{1773 + 128,664s + 10,984s^2 + 0,521s^3 + 0,073s^4}{0,02 + 1,541s + 0,115s^2 + 0,00571s^3 + 0,0003275s^4}.$$

Результат аппроксимации для измеренных значений импеданса антенны (см. таблицу) представлен в виде частотных зависимостей реальной и мнимой составляющих модели (кривые 1 и 2) и измеренных значений реальной антенны (кривые 3 и 4) и приведены на рисунке 3.

Различия приведенных зависимостей импеданса антенн (рисунок 4) предлагается оценить, используя критерий средней ошибки аппроксимации:

$$\Delta R = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \frac{|R(f) - R_{\text{эп}}(f)|}{R_{\text{эп}}(f)} df \cdot 100\%; \quad (4)$$

$$\Delta X = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \frac{|X(f) - X_{\text{эп}}(f)|}{|X_{\text{эп}}(f)|} df \cdot 100\%; \quad (5)$$

где $R(f)$, $X(f)$ – реальная (мнимая) составляющая АМ импеданса РТУ, рассчитанная по методике, представленной в [3, 4];

$R_{\text{эп}}(f)$, $X_{\text{эп}}(f)$ – интерполированная кубическим сплайном реальная (мнимая) составляющая импеданса РТУ.

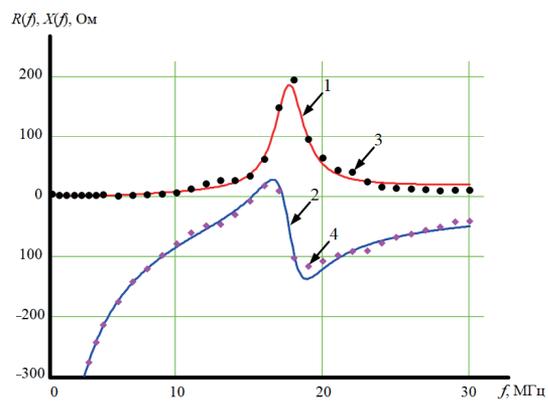


Рисунок 4 – Частотные зависимости активного и реактивного сопротивления модели и реальной антенны

Анализ представленных результатов показал, что разработанная методика формирования импедансных характеристик широкополосных РТУ на основе разложения дробно-рациональной функции импеданса методом Геверца, позволила рассчитать АМ импедансной характеристики антенны АШ-4 и обеспечить среднюю ошибку аппроксимации $\Delta \text{Re}Z_{\text{вх}}(f) = 8,15\%$ и $\Delta \text{Im}Z_{\text{вх}}(f) = 9,6\%$, что позволяет говорить о высокой степени адекватности полученной АМ.

Таким образом, полученные результаты моделирования могут использоваться для составления эквивалентов сопротивления антенны, как во всем частотном диапазоне, так и по поддиапазонам. Данные модели дают возможность использовать для согласования антенн аппарат современной теории широкополосного согласования (ШПС) [6–8]. Также следует отметить, что разработка и изготовление эквивалентов антенн по результатам моделирования (составления эквивалентов сопротивления антенны как во всем частотном диапазоне, так и по поддиапазонам) может обеспечить проверку принимаемых технических решений на этапах эскизного и технического проектирования при выполнении опытно-конструкторских работ по созданию усилителей мощности, антенных согласующих устройств современных радиостанций, использующих помехозащищенный режим программной перестройки рабочей частоты. Показанная методика использовалась при выполнении опытно-конструкторской работы «Разработать и поставить на производство цифровую автоматизированную адаптивную радиостанцию средней мощности КВ диапазона» в макетном образце эквивалента антенны АШ-4, что позволило обеспечить необходимые исходные данные для разработки согласующей индуктивно-емкостной матрицы и проверки функционирования антенного согласующего устройства.

Разработанный эквивалент антенны АШ-4 (рисунок 5) имеет непрерывный диапазон от 1,5 до 30 МГц по сравнению с ранее используемыми эквивалентами из состава радиостанции Р-34 (см. рисунок 2). Частотные зависимости составляющих сопротивления эквивалента дают более точное приближение к результатам измерений, о чем свидетельствуют характеристики, представленные на рисунке 4.

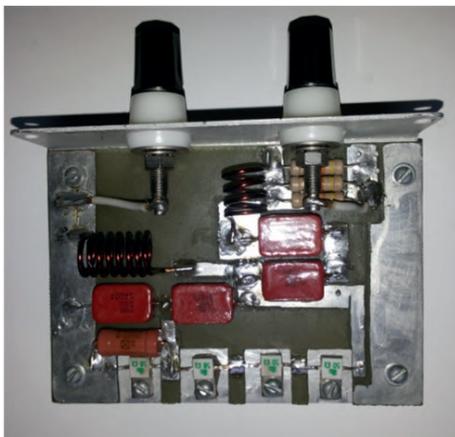


Рисунок 5 — Эквивалент антенны АШ-4

Значение полученных результатов имеет двойственную направленность. Во-первых, как показано выше, они могут использоваться для составления эквивалентов сопротивления антенны, как во всем частотном диапазоне, так и по поддиапазонам. В последнем случае модели будут содержать меньшее количество элементов. Во-вторых,

и в этом заключается главная цель, полученные эквиваленты дают возможность использовать для согласования антенн аппарат современной теории ШПС.

Метод согласования с использованием классических и модифицированных аппроксимирующих функций на примере модели сопротивления антенны АШ-4

Примеры согласования нагрузок подобной сложности в литературе существуют [7, 9]. Однако решение задачи, как правило, носит частный, а не системный характер ввиду проблемы разрешимости системы ограничений на ШПС. Для наглядности рассмотрим метод решения задачи согласования рассматриваемой нагрузки при использовании классической АФ Чебышева [7].

Сопротивление нагрузки, изображенное на рисунке 5, описывается следующим выражением:

$$\left. \begin{aligned} Z_{\text{н}}(s) &= \frac{a_{0\text{н}} + a_{1\text{н}}s + a_{2\text{н}}s^2 + a_{3\text{н}}s^3 + a_{4\text{н}}s^4}{c_{1\text{н}}s + c_{2\text{н}}s^2 + c_{3\text{н}}s^3}, \\ a_{0\text{н}} &= R_{\text{н}}, \\ a_{1\text{н}} &= R_{\text{н}}r_{\text{н}}C_{1\text{н}} + L_{2\text{н}}, \\ a_{4\text{н}} &= R_{\text{н}}L_{1\text{н}}L_{2\text{н}}C_{1\text{н}}C_{2\text{н}}, \\ c_{1\text{н}} &= R_{\text{н}}C_{1\text{н}}, \\ c_{3\text{н}} &= R_{\text{н}}L_{2\text{н}}C_{1\text{н}}C_{2\text{н}}, \\ a_{2\text{н}} &= R_{\text{н}}(L_{1\text{н}}C_{1\text{н}} + L_{2\text{н}}C_{2\text{н}}) + L_{2\text{н}}C_{1\text{н}}(R_{\text{н}} + r_{\text{н}}), \\ a_{3\text{н}} &= L_{2\text{н}}C_{1\text{н}}(R_{\text{н}}r_{\text{н}}C_{2\text{н}} + L_{1\text{н}}), \\ c_{2\text{н}} &= L_{2\text{н}}C_{1\text{н}}. \end{aligned} \right\} (6)$$

Из (6) видно, что сопротивление нагрузки имеет простые нули передачи при $s = 0$ и $s = \infty$. Для определения остальных нулей передачи зададим нормированные значения параметров нагрузки: $r_{\text{н}} = 1$; $L_{1\text{н}} = 0,5$; $C_{1\text{н}} = 0,5$; $L_{2\text{н}} = 1$; $C_{2\text{н}} = 1$; $R_{\text{н}} = 3$. В этом случае функция $Z_{\text{н}}(s)$ примет вид

$$Z_{\text{н}}(s) = \frac{3 + 4s + 8,5s^2 + 3,5s^3 + 1,5s^4}{3s + s^2 + 3s^3}. \quad (7)$$

Числитель вещественной части функции сопротивления (7) равен

$$N_{\text{н}}(-s^2) = -2,25s^2(s^4 + 1,556s^2 + 1). \quad (8)$$

Из (8) находим, что сопротивление рассматриваемой нагрузки помимо указанных выше нулей передачи имеет четверку комплексно-сопряженных нулей $s = \pm \sigma \pm j\omega$, которые образуют последний множитель (8):

$$\begin{aligned} s^4 + 1,556s^2 + 1 &= (s^2 - \alpha s + \beta)(s^2 + \alpha s + \beta), \\ \alpha = 2\sigma = 0,666, \quad \beta &= \sigma^2 + \omega^2 = 1. \end{aligned}$$

Функцию коэффициента отражения на входе согласующей цепи для низкочастотного прототипа третьего порядка представим в виде отношения полиномов:

$$\rho(-s) = \frac{-b_3s^3 + b_2s^2 - b_1s + b_0}{a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + 1}$$

и, применив частотное преобразование $s' = (s^2 + 1)/s$, получим соответствующую функцию для полосно-пропускающей цепи:

$$\rho_{\text{пт}}(-s) = \frac{-b_3(s^2 + 1)^3 + b_2(s^2 + 1)^2 s - b_1(s^2 + 1)s^2 + b_0s^3}{a_3(s^2 + 1)^3 + a_2(s^2 + 1)^2 s + a_1(s^2 + 1)s^2 + s^3}. \quad (9)$$

Классические аппроксимирующие функции содержат нули передачи только на мнимой оси комплексной плоскости, поэтому для совместимости функции сопротивления нагрузки (7) и функции входного сопротивления (9) дополним не влияющим на функцию передачи фазовым множителем

$$\hat{\rho}_{\text{ин}}(-s) = \rho_{\text{ин}}(-s) \frac{s^2 - \alpha s + \beta}{s^2 + \alpha s + \beta} \quad (10)$$

и определим функцию входного сопротивления в следующем виде:

$$Z_{\text{вх}}(s) = \frac{1 - \hat{\rho}_{\text{ин}}(-s)}{1 + \hat{\rho}_{\text{ин}}(-s)} = \frac{\sum_{i=0}^{i=8} A_i s^i}{\sum_{i=7} C_i s^i},$$

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= 2a_3\beta, & A_1 &= \beta(a_2 - b_2), \\ A_2 &= 2a_3 + \alpha(a_2 + b_2) + \beta(a_1 + b_1 + 6a_3), \\ A_3 &= a_2 - b_2 + \alpha(a_1 - b_1) + \beta(1 + 2(a_2 - b_2) - b_0), \\ A_4 &= \alpha[1 + 2(a_2 + b_2) + b_0] + (\beta + 1)(a_1 + b_1 + 6a_3), \\ A_5 &= 1 + 2a_2 - b_0 + \alpha(a_1 - b_1) + \beta(a_2 - b_2), \\ A_6 &= a_1 + b_1 + 6a_3 + \alpha(a_2 + b_2) + 2a_3\beta, \\ A_7 &= (a_2 - b_2), & A_8 &= 2a_3, \\ C_1 &= 2a_3\alpha + \beta(a_2 + b_2), \\ C_2 &= \alpha(a_2 - b_2) + \beta(a_1 - b_1), \\ C_3 &= a_2 + b_2 + \alpha(a_1 + b_1 + 6a_3) + \beta[1 + 2(a_2 + b_2) + b_0], \\ C_4 &= a_1 - b_1 + \alpha[1 + 2(a_2 - b_2) - b_0] + \beta(a_1 - b_1), \\ C_5 &= 1 + 2(a_2 + b_2) + b_0 + \alpha(a_1 + b_1 + 6a_3) + \beta(a_2 + b_2), \\ C_6 &= a_1 - b_1 + \alpha(a_2 - b_2), \\ C_7 &= 2a_3\alpha + a_2 + b_2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Сопротивление нагрузки (7) имеет три нуля передачи, поэтому система ограничений на ШПС должна состоять из трех равенств или неравенств. Для нулей передачи при $s = 0$ и $s = \infty$ ограничения имеют вид соответственно [6]

$$\left. \begin{aligned} B_{M-(r-1)+i} &= 0; & i &= 1, 2, \dots, (r-1); \\ B_{M-(r-1)} &\geq 0; & Z_{\text{н}}(s_{0\text{н}}) &= 0; \\ C_{M-(r-1)} &\geq 0; & Z_{\text{н}}(s_{0\text{н}}) &= \infty; \\ B_i &= 0; & i &= 1, 2, \dots, (r-2); \\ B_{r-1} &\geq 0; & Z_{\text{н}}(s_{0\text{н}}) &= 0; \\ C_{r-1} &\geq 0; & Z_{\text{н}}(s_{0\text{н}}) &= \infty. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В нулях передачи при $s = 0$ и $s = \infty$ сопротивление нагрузки обращается в бесконечность, поэтому соответствующие ограничения обеспечиваются положительностью коэффициентов младшей и старшей степени полинома числителя z -параметра z_{22} согласующей цепи [6]. Можно показать, что для нуля передачи при $s = 0$, обусловленного наличием емкости $C_{\text{ин}}$ (см. рисунок 5), ограничение имеет вид

$$a_2 - b_2 / \beta(a_2 + b_2) \Big|_{s=0} \leq \frac{L_{1\text{н}} + r_{\text{н}} R_{\text{н}} C_1}{R_{\text{н}}}.$$

Ноль передачи в бесконечности создает индуктивность $L_{1\text{н}}$ и соответствующее ограничение можно представить следующим образом:

$$\frac{(a_1 - b_1) + \alpha(a_2 - b_2)}{(a_2 + b_2) + 2\alpha a_3} \Big|_{s=0} \leq \frac{L_{1\text{н}} + r_{\text{н}} R_{\text{н}} C_{2\text{н}}}{R_{\text{н}} L_{1\text{н}} C_{1\text{н}}}.$$

Для четверки комплексно-сопряженных нулей, содержащихся в (8), ограничение имеет вид [6]

$$\frac{d^i}{ds^i}(z_{22\text{н}}) \Big|_{s=s_{0\text{н}}} = \frac{d^i}{ds^i}(z_{22\text{вх}}), \quad i = 0, 1, \dots, (r-1)$$

и по существу сводится к обеспечению нулей полиномов числителя и знаменателя z -параметра z_{22} на частотах, соответствующих комплексным нулям передачи. Это означает, что полиномы имеют в качестве множителей члена $s^4 + 1,556s^2 + 1$, что приводит к соответствующему понижению порядка полиномов.

В качестве функции передачи выберем функцию Чебышева третьего порядка, которой для низкочастотного прототипа соответствует выражение

$$K_p(-s^2) = K / \left[1 + \varepsilon^2 (16s^6 + 24s^4 + 9s^2) \right]. \quad (13)$$

Принимая во внимание соотношение между коэффициентом отражения (9) и функцией передачи мощности (13)

$$K_p(-s^2) = 1 - \rho(s)\rho(-s),$$

находим систему уравнений для определения коэффициентов полиномов выражения (9):

$$\begin{aligned} a_1^2 - 2a_2 &= 9\varepsilon^2; & a_2^2 - 2a_1a_3 &= -24\varepsilon^2; & a_3 &= 4\varepsilon; \\ b_1^2 - 2(1-K)^{0,5} & & b_2 &= 9\varepsilon^2; & b_2^2 - 2b_1b_3 &= -24\varepsilon^2; & b_3^2 &= a_3^2. \end{aligned}$$

В результате решения данной системы совместно с системой ограничений находим функцию входного сопротивления (12):

$$\begin{aligned} Z_{\text{вх}}(s) &= \left(2,277s^8 + 1,361s^7 + 13,204s^6 + 5,728s^5 + \right. \\ &+ 22,582s^4 + 5,728s^3 + 13,204s^2 + 1,361s + \\ &+ 2,277 \Big/ \left(3,365s^7 + 2,012s^6 + 13,098s^5 + \right. \\ &+ 4,629s^4 + 13,098s^3 + 2,012s^2 + 3,365s \Big). \end{aligned}$$

Решение получено при значениях параметров функции передачи (13) $\varepsilon = 0,284$, $K = 0,991$ и коэффициентах полиномов (4) $a_1 = 1,984$, $a_2 = 1,604$, $a_3 = 1,138$, $b_1 = 0,879$, $b_2 = 0,243$. Для проверки соответствия нулей передачи функций $Z_{\text{вх}}(s)$ и $Z_{\text{н}}(s)$ определим числитель четной части $Z_{\text{вх}}(s)$:

$$N_{\text{вх}}(-s^2) = -0,991s^6 (s^4 + 1,556s^2 + 1).$$

Таким образом, функция $Z_{\text{вх}}(s)$ содержит все нули передачи функции $Z_{\text{н}}(s)$ не меньшей кратности. Полосно-пропускающая функция передачи мощности Чебышева третьего порядка содержит нуль шестого порядка при $s = 0$. Введение фазового множителя в (10) обеспечило наличие комплексно-сопряженной четверки нулей в числителе вещественной части функции входного сопротивления (11), совпадающей с соответствующими нулями функции (7). Методика нахождения z -параметров для последующего нахождения функции входного сопротивления представлена [6].

$$\left. \begin{aligned} z_{11} &= \frac{m_1 m_{2\text{н}} - n_1 n_{2\text{н}}}{n_2 m_{2\text{н}} - m_2 n_{2\text{н}}}; & z_{22} &= \frac{m_2 m_{1\text{н}} - n_2 n_{1\text{н}}}{n_2 m_{2\text{н}} - m_2 n_{2\text{н}}}; \\ z_{12} &= \frac{[(m_1 m_2 - n_1 n_2)(m_{1\text{н}} m_{2\text{н}} - n_{1\text{н}} n_{2\text{н}})]^{1/2}}{n_2 m_{2\text{н}} - m_2 n_{2\text{н}}}, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где m_1, m_2, n_1, n_2 — соответственно четные и нечетные части полиномов рациональной функции $Z_{\text{вх}}(s)$;

$m_{1\text{н}}, m_{2\text{н}}, n_{1\text{н}}, n_{2\text{н}}$ — соответствующие четные и нечетные части полиномов $Z_{\text{н}}(s)$.

Подставляя в (14) составляющие функций сопротивлений (7) и (11) после сокращения полиномов z -параметров на множитель $s^4 + 1,556s^2 + 1$ получаем систему z -параметров согласующей цепи:

$$z_{11} = \frac{0,903s^4 + 2,626s^2 + 0,903}{1,335s(s^2 + 1)}, z_{12} = \frac{-1,496s^2}{1,335s(s^2 + 1)},$$

$$z_{22} = \frac{4,385s^4 + 9,479s^2 + 2,377}{1,335s(s^2 + 1)}.$$

Лестничную реализацию согласующей цепи можно получить в результате синтеза выходного сопротивления согласующей цепи. Последнее определяется по найденным z -параметрам:

$$Z_{\text{вых}}(s) = \frac{\Delta_z + z_{11}}{z_{22} + 1},$$

что в результате дает

$$Z_{\text{вых}}(s) = \left(2,963s^6 + 4,38s^5 + 12,064s^4 + 9,479s^3 + 9,48s^2 + 2,377s + 1,608 \right) / \left(0,903s^5 + 1,335s^4 + 2,626s^3 + 1,335s^2 + 0,903s \right).$$

Полученное выходное сопротивление может быть реализовано как сопротивление лестничной схемы, нагруженное на активное сопротивление, с нормированными значениями элементов $C_1 = 5,813, C_2 = 0,894, C_3 = 1,086, C_4 = 0,562, L_1 = 0,678, L_2 = 2,038, L_3 = 3,28, R = 1$. Синтезированная схема широкополосного согласующего устройства (ШСУ) после преобразования Норттона для сопротивления источника сигналов вместе с эквивалентом нагрузки представлена на рисунке 6.

На рисунке 7 показаны частотные характеристики передачи мощности: пунктирной линией – без ШСУ, сплошной – с ШСУ.

Подавляющее большинство опубликованных работ по проблемам ШПС относится к нагрузкам, имеющим нули передачи на мнимой или вещественной оси комплексной частоты. Нагрузки с комплексными нулями передачи вызывают трудности в использовании аналитических методов, поскольку системы ограничений на пределы ШПС оказываются неразрешимыми ввиду ограниченных вариативных возможностей классических АФ [6]. На примере решения задачи было показано, что для выполнения условий согласования необходимо вводить фазовый множитель (10), что в действительности усложняет промежуточные вычисления и не всегда приводит к нужному результату. Более удобным и доступным способом является использование модифицированной АФ [10], в которой

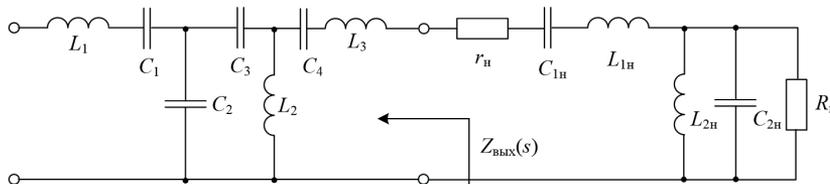


Рисунок 6 – Схема ШСУ для шестиэлементного эквивалента

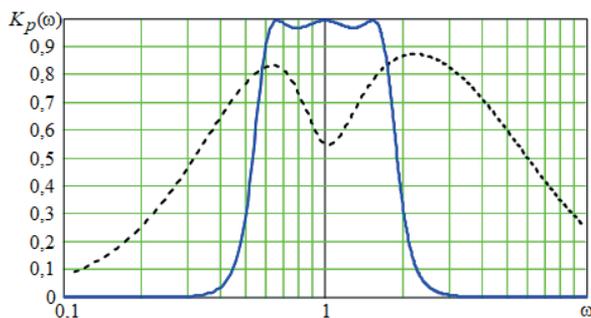


Рисунок 7 – Частотные характеристики передачи мощности: – без ШСУ; — с ШСУ

уже содержатся соответствующие нули передачи нагрузки. Использование модифицированной АФ [10] в обобщенном методе Дарлингтона, позволяет получить тот же результат согласования с меньшим количеством операций. Модифицированная АФ [10] при подстановке в нее соответствующих параметров примет следующий вид:

$$K_m(-s^2) = \left(-1,6s^2 - 8,16s^4 - 16,48s^6 - 8,16s^8 + 1,6s^{10} \right) / \left(3,19 + 22,36s^2 + 60,73s^4 + 79,76s^6 + 60,73s^8 + 22,36s^{10} + 3,19s^{12} \right).$$

Следует отметить, что представленная модифицированная АФ в работе [10] помимо выгодной конструкции имеет более избирательные частотные характеристики при соответствующих заданных параметрах, поэтому использование данной функции в задачах ШПС способствует как разрешению системы ограничений, так и увеличению мощностных характеристик в сравнении с классическими функциями.

Значимость полученного результата состоит в том, что исследованная нагрузка представляет собой один из примеров задач ШПС высокой сложности, имеющих важное прикладное значение, а дальнейшее развитие аналитических методов ШПС возможно при использовании нераскрытого потенциала модифицированных АФ.

Альтернативная модель сопротивления для решения задачи широкополосного согласования

В работе [10] представлены результаты исследований, в которых рассматривается влияние дестабилизирующих факторов реальных условий эксплуатации на импеданс антенны АШ-4, что в действительности вынуждает отказаться от статической модели импеданса антенны (см. рисунок 5) и использовать модель с допущениями к крайевым случаям изменения характеристик импеданса. Исходя из вышесказанного, предлагается скорректированная модель, где изменение параметра емкости в пределах 10 % от номинального значения, позволяет учесть флуктуации характеристик сопротивления реальной антенны при воздействии на нее внешних факторов (рисунок 8).

Однако, рассматривая предельный случай разброса параметров емкости в пределах 10 % от номинальной, согласование нагрузки обобщенным методом Дарлингтона становится невозможным ввиду невыполнения теоретических ограничений (12). В таком случае, можно использовать другой нетривиальный подход, идея которого основана на известном и доказанном факте (теорема Вейерштрасса) [11], что одну и ту же характеристику цепи (непрерывную функцию) можно описать множеством многочленов, каждый из которых позволяет синтезировать эквивалентные электрические схемы.

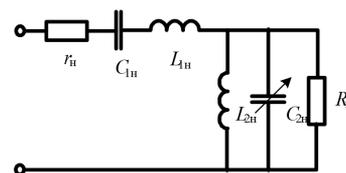


Рисунок 8 – Эквивалентная схема входного сопротивления

В результате использования метода формирования АМ импедансной характеристики [3, 4] была получена следующая функция сопротивления, которая описывает характеристики эквивалентной схемы, показанной на рисунке 8 с высокой степенью адекватности:

$$Z(\omega) = \frac{3 + 4j\omega - 8,5\omega^2 - 3,5j\omega^3 + 1,5\omega^4 - 2,2j\omega^5}{3j\omega - \omega^2 - 3j\omega^3 + \omega^4}. \quad (15)$$

Использование функции (13) в качестве сопротивления нагрузки в обобщенном методе Дарлингтона позволило получить решение задачи согласования при обеспечении чебышевской функции передачи мощности. Ниже приведены схема согласования с нормированными элементами цепи (рисунок 9) и соответствующие частотные характеристики коэффициента передачи мощности (рисунок 10).

Так для эквивалента антенны АПШ-4 использованием АФ Чебышева обобщенным методом Дарлингтона была синтезирована широкополосная согласующая цепь, представленная на рисунке 8. При изменении параметров нагрузки на 10 % решение задачи согласования обобщенным методом Дарлингтона **отсутствует!** При использовании метода формирования импедансной характеристики сопротивления нагрузки с учетом ограничений **согласование возможно** (рисунок 9). Данное утверждение подтверждено экспериментально с использованием разработанного эквивалента, представленного на рисунке 5.

Заклучение

Таким образом, предложен метод синтеза ШСУ на основе обобщенного метода Дарлингтона, который отличается формированием импедансной характеристики сопротивления нагрузки в виде дробно-рациональной функции. Показан способ применения

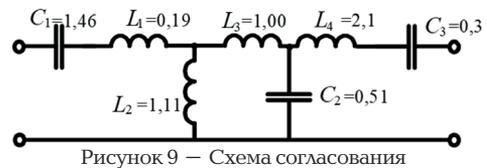


Рисунок 9 – Схема согласования

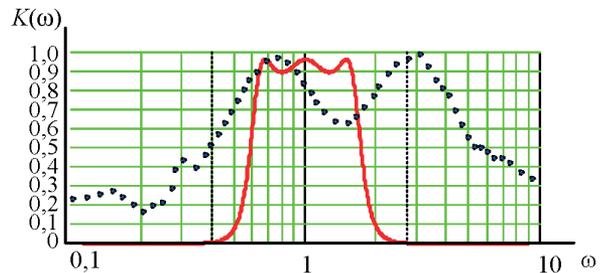


Рисунок 10 – Функция коэффициента передачи мощности:

•••• – нагрузки

— согласованной нагрузки

модифицированных АФ на первом этапе синтеза широкополосных согласующих цепей. В комплексе показанные в статье метод и способ позволяют учесть ограничения, накладываемые параметрами нагрузки в заданном диапазоне частот и синтезировать широкополосные согласующие цепи аналитическими методами в условиях изменений импеданса нагрузки до 10 %.

Полученные результаты, позволяют сделать вывод, что строгое решение аналитических методов, в частности основное на физических ограничениях, значительно ограничивает круг решаемых задач. Представленный выше подход к решению задачи согласования, является комплексным и одним из возможных способов сделать решение более гибким по отношению к жестким условиям ограничений и значимо расширить количество согласуемых РТУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кочержевский, Г. Н. Антенно-фидерные устройства / Г. Н. Кочержевский. – М.: Связь, 1972. – 472 с.
2. Радиостанция Р-134: инструкция по техническому обслуживанию ШИ 1.101.024 ИО. – М., 2001. – 39 с.
3. Математическая модель радиотехнических устройств / В. О. Исаев [и др.] // II Международная Научно-Практическая Конференция «Endless Light in Science», г. Нур-Султан, Казахстан, 2020. – С. 27–33.
4. Исаев, В. О. Способ аппроксимации иммитансных характеристик радиотехнических устройств / В. О. Исаев, П. В. Бойкачев // XIII Машеровские чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 18 октября 2019 г. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2019. – С. 18–20.
5. Карни, Ш. Теория цепей. Анализ и синтез / Ш. Карни. – М.: Связь, 1973. – 269 с.
6. Филиппович, Г. А. Широкополосное согласование сопротивлений / Г. А. Филиппович. – Минск: Воен. акад. Респ. Беларусь, 2004. – 175 с.
7. Белевич, В. Ф. Широкополосные согласующие устройства с равноволновой характеристикой передачи на основе обобщенного метода Дарлингтона: дис.... канд. техн. наук: 05.12.04 / В. Ф. Белевич. – Минск, 2009. – 147 л.
8. Yarman, B. S. A simplified «Real frequency» technique applied to broad-band multistage microwave amplifiers / B. S. Yarman, H. J. Carlin // IEEE Trans. on Microwave Theory a. Techniques. – 1982. – Vol. 30, № 12. – P. 2216–2222.
9. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д. М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 430 с.
10. Бойкачев, П. В. Моделирование сопротивления короткой монополярной антенны диапазона дециметровых волн / П. В. Бойкачев, Е. Л. Крейдик, Г. А. Филиппович // «Вестник ВАРБ». – 2013. – № 3 (40). – С. 69–74.
11. Дзядык, В. К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами / В. Дзядык – М.: Наука, 1977. – 512 с.

REFERENCES

1. Kocherzhevskiy G.N. Antenna-fidernyye ustroystva [Antenna-feeder devices]. Moscow, Svyaz', 1972, 472 p. (in Russian).
2. Radiostancija R-134: instrukcija po tehničeskomu obsluživaniju Shi 1.101.024 IO [Radio station R-134 maintenance instructions SHI 1.101.024]. Moscow, 2001, 39 p. (in Russian).
3. Isayev V.O., Dubovik I.A., Boykachev P.V., Sut'ko A.A. Matematicheskaya model' radiotekhnicheskikh ustroystv [Mathematical model of radio engineering devices]. Endless Light in Science. Materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nur-Sultan, Kazakhstan, 2020, pp. 27-33. (in Russian).
4. Isayev V.O., Boykachev P.V. Sposob approksimatsii immitansnykh kharakteristik radiotekhnicheskikh ustroystv [A method for approximating the immitance characteristics of radio engineering devices]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Vitebsk, 2019, pp. 18-20. (in Russian).
5. Karni S.H. Teoriya tsepey. Analiz i sintez. [The theory of circuits. Analysis and synthesis]. Moscow, Svyaz', 1973, 269 p. (in Russian).
6. Filippovich G.A. Shirokopolosnoye soglasovaniye soprotivleniy [Broadband resistance matching]. Minsk, Voen. akad. Resp. Belarus', 2004, 175 p. (in Russian).
7. Belevich V.F. Shirokopolosnyye soglasuyushchiye ustroystva s rovnovolnovoy kharakteristikoy peredachi na osnove obobshchennogo metoda Darlingтона. [Broadband matching devices with an equal-wave transmission characteristic based on the generalized Darlington method]. Ph. D. thesis. Minsk, 2009. 147 p. (in Russian).
8. Yarman B.S., Carlin H.J. A simplified «Real frequency» technique applied to broad-band multistage microwave amplifiers. IEEE Trans. on Microwave Theory a. Techniques, 1982, vol. 30, no 12, pp. 2216-2222.
9. Sazonov D.M. Antenny i ustroystva SVCH [Antennas and microwave devices]. Moscow, Vysshaja shkola, 1988, 430 p. (in Russian).
10. Boykachev P.V., Kreydik E.L., Filippovich G.A. Modelirovaniye soprotivleniya korotkoy monopol'noy anteny diapazona dekametrovykh voln [Modeling the resistance of a short monopole antenna of the decimeter wave range]. Vestnik Voennoy akademii Respubliki Belarus' = Bulletin of the Military Academy of the Republic of Belarus, 2013, no. 3 (40), pp. 69-74 (in Russian).
11. Dzydik, V.K. Vvedenie v teoriyu ravnomernogo priblizeniy funktsiy polinomami, Moscow, Nauka, 1977, 512 p.

Статья поступила в редакцию
18.03.2024

МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

METHODS FOR POSITIONING UNMANNED AIRCRAFT IN CELLULAR NETWORKS

Скрыпник Олег Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации движения и обеспечения безопасности на воздушном транспорте учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
skripnikon@yandex.ru

Козич Александрович – курсант учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
aliaksanderkozich@gmail.com

Oleg Skrypnik – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Traffic Management and Safety in Air Transport of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
skripnikon@yandex.ru

Alexander Kozich – Cadet of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
aliaksanderkozich@gmail.com

Аннотация: в работе представлен анализ способов позиционирования объектов в сетях сотовой связи. Приведены алгоритмы определения координат, указаны факторы, влияющие на точность позиционирования. Описана методика проведения эксперимента по оценке точности позиционирования объекта в сетях сотовой связи, представлены его результаты.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, сотовая связь, местоположение объекта, методы позиционирования, базовая станция, точность позиционирования.

Abstract: the paper presents an analysis of the methods of positioning objects in cellular networks. Algorithms for determining coordinates are given, and factors affecting positioning accuracy are indicated. The method of conducting an experiment to assess the accuracy of object positioning in cellular networks is described, and its results are presented.

Keywords: unmanned aircraft, cellular communication, object location, positioning methods, base station, positioning accuracy.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант T23-029).

Введение

Одна из характерных особенностей развития мировой авиационной транспортной системы состоит в бурном развитии беспилотной авиации, ее интеграции в общее с пилотируемой авиацией воздушное пространство (ВП) при безусловном сохранении и даже повышении уровня безопасности полетов. Основным инструментом интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в общее ВП является совершенствование системы организации воздушного движения на основе технологий CNS (Communication, Navigation, Surveillance). При этом и сами технологии CNS должны совершенствоваться, обеспечивая совместимость и высокую эффективность для новых пользователей ВП. С этой целью ведутся разработки интегрированной iCNS, в которой расширение возможностей связи, навигации и наблюдения базируется на использовании технологий сотовой связи 4G/5G, доступных при полетах воздушных судов, прежде всего БВС, на малых высотах.

Сервис позиционирования мобильных абонентов, предоставляемый технологиями сотовой связи, может служить если не альтернативой глобальным спутниковым системам навигации (GNSS), то эффективным дополнением к ним. При этом контроль трафика БВС на

основе сетей сотовой связи является одним из наиболее экономически эффективных подходов к решению проблемы организации и управления маловысотным воздушным движением.

Принципы позиционирования беспилотных воздушных судов в сетях сотовой связи

Покрываемость GSM-сетей в развитых странах, как правило, соответствует территории всей страны, что позволяет создавать сплошное и целостное поле позиционирования. При отсутствии сотовой связи в определенном районе развертывание в нем сети станций сотовой связи является более простой задачей, чем обеспечение спутникового покрытия в области, где оно отсутствует или ненадежно. Кроме того, базовые станции (БС) можно размещать, учитывая особенности местности, для обеспечения покрытия определенной зоны и/или наличия прямой видимости в максимально возможных точках. БС могут оснащаться дополнительным оборудованием при необходимости модернизации. Обновление программного обеспечения (ПО) также не является проблемой.

Сотовые технологии привлекательны для использования БВС ввиду небольшой массы и габаритов абонент-

ской аппаратуры, высокой пропускной способности каналов связи, низкого энергопотребления, относительно невысокой стоимости. При этом нет необходимости в дополнительных устройствах для БВС, иногда может понадобиться лишь обновление ПО, а для реализации практически всех методов позиционирования в сетях сотовой связи достаточно лишь иметь SIM-карту и абонентский терминал (АТ).

БВС с интегрированным в состав его оборудования терминалом с SIM-картой, зарегистрированной в сети оператора сотовой связи, может рассматриваться как АТ сети сотовой связи, и ему становятся доступны все сервисы, предоставляемые абонентам сети, в том числе сервис определения местоположения.

Определение местоположения БВС в сети сотовой связи основано на измерении определенных параметров сигналов сотовой связи при известных координатах БС. Решение задачи позиционирования возможно при работе с одной или с сетью БС, при этом измерение параметров сигнала может выполняться как непосредственно на БВС, так и на БС или на специальном сетевом сервере центра коммутации провайдера сотовой связи. Последние два варианта обладают рядом преимуществ: отсутствуют жесткие ограничения на массогабаритные характеристики антенных устройств и приемо-измерительных модулей БС; возможно использование значительных вычислительных ресурсов, в том числе распределенных между БС сети, что позволяет реализовывать более сложные алгоритмы позиционирования в реальном времени; не требуется модификация абонентских терминалов БВС.

Для определения местоположения БВС могут использоваться классические методы радионавигации и радионаблюдения (дальномерный, угломерный, угломерно-дальномерный, разностно-дальномерный, многопозиционный, корреляционно-экстремальный) [1], а также такие методы, как близость, анализ сцен, гибридный, интегрированный и др. Рассмотрим особенности реализации некоторых из указанных способов позиционирования.

Позиционирование с использованием одной базовой станции

Метод идентификации соты (Cell ID). Данный метод является технически наиболее простым для определения положения АТ в сотовой связи. В его основе лежит принцип близости: АТ при наличии сотовой связи всегда обслуживается какой-либо БС, в зоне действия которой он находится. Координаты БС известны заранее, как и ее зона обслуживания (сота). Местоположение АТ определяется с точностью до зоны обслуживания БС, с которой он взаимодействует (рисунок 1, а). Точность позиционирования данным методом составляет сотни метров

и более и зависит от размеров зоны обслуживания БС и плотности сети БС, в которой зарегистрирован АТ [2].

Современные БС имеют секторные антенны, что позволяет определить сектор (рисунок 1, б), в котором находится АТ. Параметры сектора зависят от ширины диаграммы направленности (ДН) антенны (обычно 45–60 град) [3].

Метод идентификации соты и определения направления прихода сигнала (Cell ID + Angle of Arrival (AOA)). Метод основан на уточнении угловой позиции АТ относительно БС в пределах зоны ее действия. Для более точного определения направления вместо секторных антенн как на БС, так и на АТ можно использовать фазовый метод измерения направления на основе фазированных антенных решеток или приема на разнесенные антенны. Поскольку направление измеряется с погрешностью, с увеличением расстояния между БС и АТ зона неопределенности позиционирования АТ будет увеличиваться (рисунок 1, в).

Метод идентификации соты и определения временной задержки (Cell ID + Timing Advance (TA)). Метод основан на определении дальности между БС и АТ путем измерения времени распространения сигнала по радиолинии БС–АТ. Этот метод требует синхронизации шкал времени (ШВ) БС и АТ, что достаточно просто реализуется в стандарте GSM, в котором используется временной метод уплотнения (TDMA) каналов связи. Величина *TA* в этом случае измеряется с точностью около 3,69 мкс, что соответствует погрешности определения расстояния примерно 550 м [4].

Зная расстояние между БС и АТ можно получить линию положения в виде окружности соответствующего радиуса, в центре которой находится БС. Если к этому добавить уже известный сектор соты, то область погрешности позиционирования уменьшается и принимает вид, показанный на рисунке 1, г.

Метод идентификации соты и определения времени приема-передачи (Cell ID + Round Trip Time (RTT)). Данный метод основан на измерении временного интервала *RTT* между отправкой запроса и получением ответа. Расстояние от БС до АТ при этом рассчитывается по формуле

$$R = \frac{RTT}{2} \cdot c,$$

где *RTT* – время распространения сигнала по линии БС–АТ и обратно;

c – скорость распространения сигнала в сети связи [5].

Данный метод не требует синхронизации шкал времени БС и АТ, поскольку измерение временного интервала происходит на одном конце линии связи по шкале времени БС или АТ. Точность позиционирования при этом будет зависеть от точности измерения временного интервала и факторов, влияющих на стабильность ско-

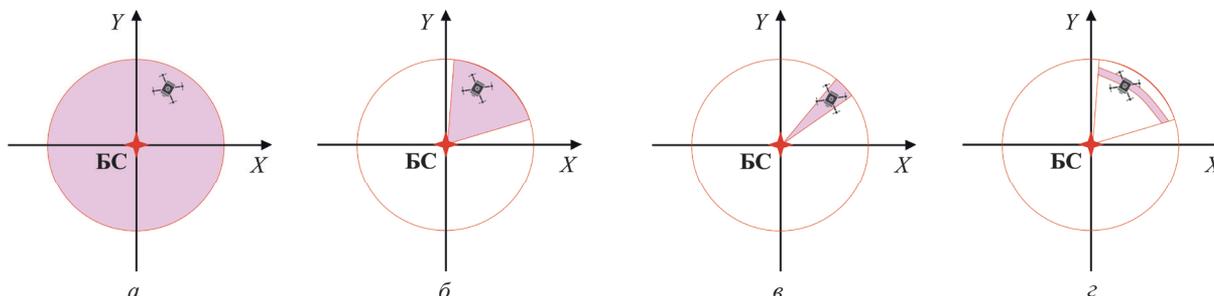


Рисунок 1 – Зоны неопределенности позиции абонентского терминала

рости и траектории распространения сигнала, и в целом будет лучше, чем при методе Cell ID + TA [6].

Метод идентификации соты и определения мощности сигнала (Cell ID + Received signal strength (RSS)) основан на закономерном ослаблении мощности сигнала при распространении в свободном пространстве с увеличением расстояния от источника. Следовательно, расстояние между БС и АТ может быть рассчитано на основе измерения мощности принятого на одном конце канала связи сигнала при известной мощности излученного сигнала. Для этого используется математическая модель потерь мощности при распространении сигнала в свободном пространстве вида

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2,$$

где P_r – мощность сигнала на входе приемной антенны;
 P_t – мощность сигнала на выходе передающей антенны;

G_t, G_r – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно;

λ – длина волны, соответствующая частоте передачи;
 R – расстояние между антеннами [3].

Для использования метода необходимо точно знать характеристики канала связи, что на практике невозможно ввиду воздействия случайных факторов, влияющих на процесс распространения сигнала: затенение, переотражение, многолучевое распространение, шумы, системные и внесистемные помехи, метеосостояние и т. д. Поэтому приемлемая точность оценки дальности между БС и АТ имеет место лишь при незначительных расстояниях между ними и в условиях прямой видимости [6, 7].

Комбинированный метод. Рассмотренные выше методы позволяют определить лишь некоторую, причем достаточно большую область, внутри которой находится АТ. Для решения задачи более точного позиционирования используются комбинированные методы, позволяющие определить направление Θ (метод AOA) и расстояние R (методы TA, RTT, RSS) между БС и АТ. В классической теории радионавигации данный метод называется угломерно-дальномерным (rho-theta) и реализован в системе ближней навигации VOR/DME [1].

Координаты (x, y) АТ в прямоугольной системе координат, ось Ox которой направлена на географический север, при этом определяются выражениями

$$\begin{cases} x = x_i + R \cos \Theta, \\ y = y_i + R \sin \Theta, \end{cases}$$

где (x_i, y_i) – координаты БС;

R – расстояние от БС до АТ;

Θ – угол прихода сигнала (истинный пеленг АТ относительно БС), отсчитываемый от северного направления географического меридиана, проходящего через БС [8].

Среднеквадратическая погрешность (СКП) позиционирования АТ данным методом определяется выражением

$$\sigma_r = \sqrt{R^2 \sigma_\Theta^2 + \sigma_R^2},$$

где σ_Θ – СКП измерения направления;

σ_R – СКП измерения расстояния [1].

Использование комбинированного метода позволяет определить координаты объекта, используя всего одну БС. Данный метод может быть особенно эффективен в сельской местности, где количество БС невелико.

Позиционирование с использованием сети базовых станций

Метод определения времени прибытия сигнала (Time of Arrival (TOA)). Метод основан на измерении расстояний между АТ и несколькими БС по времени распространения сигналов по каналам связи АТ – БС. Он требует синхронизации шкал времени БС и АТ. Данный метод позиционирования получил название дальномерного и широко используется в радионавигации, например в GNSS.

Можно записать уравнение, устанавливающее связь расстояния R_i между АТ и i -й БС с их координатами:

$$R_i = c(t_i - t_0) = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} + c \cdot \delta t_{\text{сх}}, \quad (1)$$

где c – скорость распространения радиоволн;

t_i – время приема сигнала i -й БС;

t_0 – время излучения сигнала АТ;

(x_i, y_i) – координаты БС;

(x_0, y_0) – координаты АТ;

$\delta t_{\text{сх}}$ – погрешность синхронизации ШВ.

Для определения горизонтальных координат АТ при наличии погрешности синхронизации ШВ необходимо получить и решить систему из трех независимых уравнений вида (1). При точной синхронизации ШВ ($\delta t_{\text{сх}} = 0$) достаточно измерений дальностей всего до двух БС.

Существенным недостатком данного метода является обязательная точная временная синхронизация между всеми БС и АТ, что является довольно сложной задачей, требующей использования сторонних систем, например GNSS. Другим способом решения проблемы синхронизации является установка специального оборудования – измерительных модулей (LMU), которые позволяют получать информацию о погрешностях взаимной синхронизации шкал времени БС. Модули размещаются либо на каждой БС, либо таким образом, чтобы была возможность контролировать несколько БС. В среднем один LMU ставится на четыре БС [2]. Отметим, что использование как GNSS, так и LMU повышает затраты на реализацию этого метода позиционирования.

Для корректного определения местоположения данным способом требуется наличие прямой видимости между АТ и БС. В городской среде объекты инфраструктуры могут экранировать прохождение сигнала по линии прямой видимости (кратчайшему пути). В точку приема сигнал приходит путем переотражений от других объектов инфраструктуры, т. е. по более длинному пути, что приводит к увеличению измеренной задержки и, как следствие, к дополнительной погрешности позиционирования.

Метод определения разности времени прибытия сигнала (Time Difference of Arrival (TDOA)). Метод основан на измерении разности расстояний между АТ и парами БС по разности времени прихода на них сигнала от АТ. В этом случае нет необходимости синхронизации шкал времени АТ и БС, однако нужна синхронизация шкал времени БС. Данный метод позиционирования получил название обращенного разностно-дальномерного и используется в многопозиционных системах наблюдения (MLAT) [9].

Можно записать уравнение, устанавливающее связь разности расстояний ΔR_{ij} между АТ и i -й БС, АТ и j -й БС с их координатами:

$$\begin{aligned} \Delta R_{ij} = c(t_i - t_j) = & \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} + \\ & + \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где c — скорость распространения радиоволн;

$(t_i - t_j)$ — разность моментов времени приема сигнала АТ на i -й и j -й БС;

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ — координаты i -й и j -й БС;

(x, y) — координаты АТ.

Для определения горизонтальных координат АТ необходимо получить и решить систему из двух независимых уравнений вида (2), для чего АТ требуется взаимодействовать минимум с тремя БС. Точность позиционирования методом TDOA зависит от наличия прямой видимости между АТ и БС, а также от точности синхронизации шкал времени БС.

К проблемам дальномерного (ТОО) и разностно-дальномерного (ТДОА) методов относится значительное влияние положения АТ относительно БС на точность позиционирования, известное как геометрический фактор [1].

Метод определения наблюдаемой разности времени прихода сигнала (Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)). Метод E-OTD представляет собой классический разностно-дальномерный метод, основанный на синхронизации моментов излучения сигналов БС и измерении разности моментов прихода сигналов от разных БС на АТ. При точной синхронизации шкал времени БС уравнение, устанавливающее связь разности расстояний ΔR_{ij} между АТ и i -й БС, АТ и j -й БС с их координатами, вычисляется по (2).

На практике шкалы времени БС не синхронизированы по времени. В этом случае для использования метода E-OTD требуется наличие дополнительного оборудования в сети — LMU с известным местоположением, которые позволяют определить погрешности синхронизации ШВ [10]. Поскольку координаты БС и LMU известны, то на LMU можно рассчитать время, необходимое сигналу для прохождения расстояния от БС до него и, следовательно, моменты времени излучения сигнала каждой БС. При сравнении этих моментов вычисляется ошибка синхронизации.

Основным недостатком метода можно назвать сложность и дороговизну модулей измерения местоположения.

Метод определения направления прихода сигнала (АОА) от нескольких БС основан на том же принципе (триангуляция), как и при позиционировании относительно одной БС. Определив угол прихода сигнала φ_1 от БС₁ с координатами (x_1, y_1) и φ_2 от БС₂ с координатами (x_2, y_2) , можно составить систему уравнений

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{y - y_1}{x - x_1}, \\ \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{y - y_2}{x - x_2}, \end{cases} \quad (3)$$

где (x, y) — координаты АТ.

Для определения координат выражение (3) можно привести к виду

$$\begin{cases} x = \frac{R \operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1}, \\ y = \frac{R \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1}, \end{cases}$$

где R — фиксированное и известное расстояние между БС₁ и БС₂ [4].

Следует отметить, что данный метод позиционирования (угломерный) при одинаковых условиях распространения сигналов является менее точным, чем

дальномерный, угломерно-дальномерный или разностно-дальномерный.

Метод определения мощности принятого сигнала (RSS) от нескольких БС основан на принципе трилатерации, что требует наличия как минимум трех БС для определения местоположения АТ.

Вокруг каждой базовой станции проводится окружность с радиусом равным расстоянию от АТ до БС. Пересечение данных окружностей и является местоположением АТ. Алгоритмически решение задачи позиционирования сводится к решению системы уравнений вида (1) при исключении из правой части второго слагаемого.

В данном методе существует проблема ближней — дальней зоны в сетях, использующих CDMA технологию, вследствие чего должен применяться контроль мощности сигнала [11].

Метод получил широкое распространение в сетях, работающих на небольшой территории, или в локальных сетях (WLAN, Wi-Fi, Bluetooth, UWB) [3] за счет простоты и относительно высокой точности определения мощности принятого сигнала (т. к. не требуется дополнительное оборудование) и приемлемой точности позиционирования объектов на небольшом расстоянии от БС. Несмотря на то, что метод не может обеспечить требуемую точность определения местоположения АТ на открытой местности, он является хорошим дополнением для позиционирования в сотовых сетях или спутниковой системе навигации за счет использования других беспроводных сетей и технологий связи в плотной городской застройке и при решении логистических задач внутри помещений.

Метод анализа сцен и сопоставления образов или сигнатурный метод (Radio Fingerprinting, Signature Database, Radio Frequency Pattern Matching (RFPM) или Database Correlation. Сущность метода состоит в том, что для определенной точки в пространстве существует уникальный радиоотпечаток (сигнатура). Метод использует технологию анализа параметров сигнала и характеристик его многолучевого распространения. Метод требует предварительного составления баз данных измерений, при сопоставлении которых с текущими измерениями параметров сигнала можно оценить местоположение АТ [12].

Метод RFPM может быть реализован путем измерения фазовых, временных или амплитудных параметров сигнала, принятого в условиях прямой видимости или отраженного от препятствий [5]. Измеренные параметры сигнала формируют образ или радиоотпечаток (сигнатуру). Совокупность радиоотпечатков образует радиокарту. Местоположение АТ определяется путем сравнения образа принятого сигнала с образами из базы данных и выбора наиболее близкого к принятому образа. Поскольку каждая из сигнатур соответствует определенному расположению АТ на местности, точность позиционирования потенциально может быть достаточно высокой и определяется точностью радиокарт.

При реализации метода RFPM измеряются, как правило, уровни RSS принимаемого сигнала. Для измерения мощности сигнала не требуется сложное и дорогостоящее дополнительное оборудование или ПО, временная синхронизация, модернизация АТ, что существенно упрощает этот способ позиционирования. Эффект многолучевого распространения в этом методе, в отличие от всех рассмотренных выше, является полезным, т. к. связан с расположением отражающих объектов на местности, что влияет на специфику параметров

принимаемого сигнала в конкретной точке. Точность позиционирования данным методом не критична к наличию условий прямой видимости АТ и БС. Данная особенность может быть наиболее полезна для позиционирования внутри помещений.

Для обслуживания небольшой территории может использоваться маломощная и миниатюрная станция сотовой связи — фемтосота, которая обеспечивает полное покрытие этого участка (например, этаж офисного здания). Для небольшого пространства легче составить радиокарту, соответственно можно обеспечить довольно высокую точность при условии, что пространство будет оставаться постоянным [3].

Большого распространения этот способ пока не получил, т. к. базы данных требуют обновлений при каких-либо пространственных изменениях, что происходит довольно часто в городских условиях. На сигнал также могут влиять погодные условия и прочие события, прогнозировать которые невозможно.

Факторы, влияющие на точность позиционирования

Точность определения местоположения в сетях сотовой связи будет зависеть от используемого метода позиционирования и влияния дестабилизирующих факторов, связанных, прежде всего, с условиями распространения сигналов.

Практически все описанные методы позиционирования корректно работают только при наличии прямой видимости между АТ и БС, что не всегда возможно. Эффект многолучевого распространения сигналов, изменение параметров по переотраженному сигналу приводят к ошибке измерения информационного параметра сигнала (времени передачи, мощности сигнала и т. д.), что, в свою очередь, приводит к погрешностям позиционирования. Таким образом, точность позиционирования также будет зависеть от характера местности и расположенных на ней объектов.

Для методов, основанных на измерении ТА и ТОА, точность позиционирования существенно зависит от точности временной синхронизации шкал времени БС и АТ. При синхронизации по GNSS точность синхронизации может достигать единиц наносекунд, что обеспечивает высокую точность определения местоположения, однако в различных стандартах сотовой связи требования к временной синхронизации или намного слабее, или отсутствуют вовсе [13].

Снижение точности позиционирования в сетях 3G обусловлено проблемой ближней — дальней зоны, которая характерна для радиосети с кодовым разделением каналов (CDMA). Решение проблемы состоит в контроле мощности сигнала, т. е. БС должна принимать сигналы одинаковой мощности от всех обслуживаемых АТ. Поэтому АТ, расположенные близко к БС, должны излучать сигнал меньшей мощности, чем удаленные АТ. Если АТ расположен близко к обслуживающей БС, то его слабый сигнал будет передан на все БС, участвующие в определении местоположения.

Для некоторых способов позиционирования важным фактором, влияющим на точность, является расстояние между БС и АТ. В методе АООА даже небольшая погрешность определения направления приведет к значительной ошибке определения координат АТ, расположенного на значительном удалении от БС.

Несовершенство оборудования, измеряющего параметр, по которому производится расчеты местоположения, как и несовершенство вычислительной аппаратуры, также отрицательно влияют на точность позиционирования.

Экспериментальные исследования точности позиционирования

Экспериментальные исследования точности позиционирования АТ в сетях сотовой связи проводились в г. Минске при следующих условиях: использовался АТ модели Redmi Note 8, зарегистрированный в сети сотового оператора Life, была выбрана 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», «Google Карты», «Геотрекер», «Network cell info lite». Измерения выполнялись в 13 контрольных точках, координаты которых были определены через приложение «Google Карты», т. е. с точностью GNSS. В каждой контрольной точке выполнялось однократное позиционирование. В постобработку включены данные 15 сеансов измерений.

Трек, соответствующий маршруту движения АТ, и расположение на нем контрольных точек, показаны на рисунке 2. В каждой контрольной точке производились однократные измерения местоположения АТ. Максимальная погрешность позиционирования составила 175,8 м (точка №9, 5-й сеанс измерений), минимальная — 10,9 м (точка №6, 9-й сеанс измерений).

Значения усредненных по всем сеансам измерений погрешностей позиционирования в контрольных точках приведены в таблице.

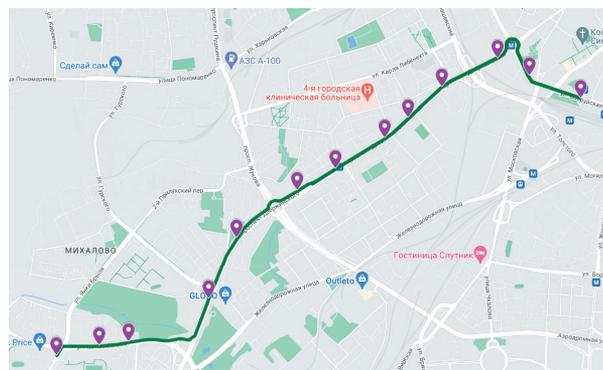


Рисунок 2 — Трек абонентского терминала с контрольными точками

Среднее значение погрешности для всех измерений составило 62,2 м, что хуже погрешности при позиционировании с помощью GNSS, однако может быть приемлемым в ряде случаев. В некоторых контрольных точках значение погрешности значительно меньше, что свидетельствует о лучших условиях распространения сигнала в зоне обслуживания данной БС или более точном методе позиционирования и оборудовании БС.

При проведении экспериментов метод позиционирования, используемый в каждой конкретной точке, и какая конкретная БС использовалась были неизвестны. Также в условиях эксперимента (городская среда) не обеспечивалась постоянная прямая видимость между АТ и БС, наблюдались достаточно частые переходы АТ в зоны обслуживания разных БС, менялись типы

Таблица – 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	22,5	78,9	46,9	84,3	59,5	10,9	39,5	49,1	175,8	122,5	61,2	19,1	38,9

используемых сетей. Эти факторы также могут увеличивать погрешности позиционирования.

При статистическом усреднении (статистической фильтрации) данных ряда измерений, выполняемых в одной точке, наблюдается уменьшение значения погрешности позиционирования. Поскольку АТ проводит достаточно большое количество измерений в единицу времени, статистическая фильтрация возможна в режиме реального времени при наличии специального ПО, что может стать простым способом улучшения точности позиционирования.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что определение местоположения подвижных объектов, в т. ч. и БВС в сетях сотовой связи является возможным. В настоящее время точность позиционирования с использованием сетей сотовой связи значительно уступает точности позиционирования GNSS, однако имеются и преимущества: большая автономность, воз-

можность развития инфраструктуры, простая техническая реализация со стороны пользователя. Наибольшее влияние на точность позиционирования оказывают условия распространения сигнала между АТ и БС, количество БС, участвующих в вычислениях, оборудование сети и используемый метод позиционирования.

Совершенствование методов и повышение точности позиционирования в сетях сотовой связи во многом зависит от заинтересованности операторов сотовой связи, т. к. они создают и совершенствуют сеть.

Среди приоритетных перспектив развития технологий позиционирования находится предоставление услуг трекинга и обмена большими массивами данных для операторов беспилотных авиационных систем, а также определение местоположения объектов, в т. ч. людей в чрезвычайных ситуациях при звонках в аварийные службы.

Решение задачи контроля трафика БВС на основе сетей сотовой связи является одним из наиболее экономически эффективных подходов к данной проблеме.

REFERENCES

- Скрыпник, О. Н. Радионавигационные системы аэропортов и воздушных трасс : учебник / О. Н. Скрыпник. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 325 с.
- Balaram Singh. A Survey of Cellular Positioning Techniques in GSM Networks / Balaram Singh, Soumya Pallai, Susil Kumar Rath. – Bhubaneswar : Utkal University, 2014. – 7 p.
- Ayad M.H. Khalel. Position Location Techniques in Wireless Communication Systems / Ayad M.H. Khalel. – Karlskrona : Blekinge Institute of Technology, 2010. – 53 p.
- Фокин, Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G–4G. Часть 1. Методы позиционирования / Г. Фокин // Первая Миля. – 2020. – Вып. 2. – С. 32–38.
- Фокин, Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G–4G. Часть 2. Стандарты позиционирования / Г. Фокин // Первая Миля. – 2020. – Вып. 3. – С. 30–35.
- Mike Thorpe. LTE Location Based Services Technology Introduction / Mike Thorpe, Ewald Zelmer. – München : Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, 2013. – 23 p.
- Davide Dardari. Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies / Davide Dardari, Pau Closas, Petar M. Djurić. – IEEE, 2013. – 15 p.
- Hybrid TOA/AOA-based Mobile Localization With and Without Tracking in CDMA Cellular Networks / Victoria Ying Zhang [et al.]. – Hong Kong : The Hong Kong University of Science and Technology, 2010. – 7 p.
- Skrypnik, O. N. Radio Navigation Systems for Airports and Airways / O. N. Skrypnik. – Berlin : Springer Aerospace Technology, 2019. – 226 p.
- Mobile Phone Location Determination in Urban and Rural Areas Using Enhanced Observed Time Difference Technique / S.F. Shaukat [et al.] // World Applied Sciences Journal. – 2009. – № 6, iss. 7. – P. 902–907.
- CDMA – Power Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tutorialspoint.com/cdma/cdma_power_control.htm – Дата доступа: 23.03.2024.
- Особенности позиционирования абонентов в сети GSM / А. И. Быбка, А. В. Дерев, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/2(42). – С. 61–63.
- Архитектура и тестирование систем сетевой синхронизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tf.zone/solutions/architecture-and-testing-of-network-synchronization-systems/>. – Дата доступа: 13.11.2022.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Skrypnik, O.N. Radionavigacionnyye sistemy ajeroportov i vozdushnyh trass: Uchebnik [Radio navigation systems of airports and air routes: Textbook]. – Moscow, INFRA-M, 2020, 325 p.
- Balaram Singh, Soumya Pallai, Susil Kumar Rath Survey of Cellular Positioning Techniques in GSM Networks. Bhubaneswar, Utkal University, 2014, 7 p.
- Ayad M.H. Khalel. Position Location Techniques in Wireless Communication Systems. Karlskrona, Blekinge Institute of Technology, 2010, 53 p.
- Fokin G. Jevoljucija tehnologij pozicionirovanija v setjah 2G–4G. Chast' 1. Metody pozicionirovanija [Evolution of positioning technologies in 2G–4G networks. Part 1. Positioning methods]. Pervaja Milja, 2020, iss. 2, pp. 32–38.
- Fokin G. Jevoljucija tehnologij pozicionirovanija v setjah 2G–4G. Chast' 2. Standarty pozicionirovanija [Evolution of positioning technologies in 2G–4G networks. Part 2. Positioning standards]. Pervaja Milja, 2020, iss. 3, pp. 30–35.
- Mike Thorpe, Ewald Zelmer. LTE Location Based Services Technology Introduction. München, Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, 2013, 23 p.
- Davide Dardari, Pau Closas, Petar M. Djurić Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies. IEEE, 2013, 15 p.
- Victoria Ying Zhang [et al.] 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.
- Skrypnik O.N. Radio Navigation Systems for Airports and Airways. Berlin, Springer Aerospace Technology, 2019, 226 p.
- Shaukat S.F. [et al.] Mobile Phone Location Determination in Urban and Rural Areas Using Enhanced Observed Time Difference Technique. World Applied Sciences Journal, 2009, no. 6, iss. 7, pp. 902–907.
- CDMA - Power Control, available at: https://www.tutorialspoint.com/cdma/cdma_power_control.htm (accessed 23.03.2024).
- Zelenin A.N., Derev A.V., Bybka A.I. Osobennosti pozicionirovanija abonentov v seti GSM [Features of positioning of subscribers in the GSM network]. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2009, no. 6/2(42), pp. 61–63.
- Arhitektura i testirovanie sistem setevoy sinhronizacii [Architecture and testing of network synchronization systems], available at: <https://www.tf.zone/solutions/architecture-and-testing-of-network-synchronization-systems/> (accessed 13.11.2022).

Статья поступила в редакцию
25.03.2024

ОЦЕНКА РИСКА ВЫКАТЫВАНИЯ САМОЛЕТА ЗА ПРЕДЕЛЫ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО ДЕРЕВА ОТКАЗОВ

ASSESSMENT OF THE RISK OF AN AIRCRAFT OVERRUN USING A FUZZY FAILURE TREE

Коршак Сергей Александрович – кандидат технических наук, военный служащий учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
sergey.korshak.92@mail.ru

Малеронок Владимир Владимирович – кандидат технических наук, военный служащий учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь

Вашкевич Владимир Ромуальдович – кандидат технических наук, военный служащий учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь

Медведев Виталий Вячеславович – военный служащий учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь

Sergey Korshak – Candidate of Technical Sciences, Serviceman of the Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
sergey.korshak.92@mail.ru

Vladimir Maleronok – Candidate of Technical Sciences, Serviceman of the Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus

Vladimir Vashkevich – Candidate of Technical Sciences, Serviceman of the Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus

Vitaliy Medvedev – Serviceman of the Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus

Аннотация: в статье приведены результаты разработки алгоритма оценки риска выкатывания самолета Су-25 за пределы взлетно-посадочной полосы с использованием комбинирования методов дерева отказов и теории нечетких множеств, позволяющего получить количественную оценку риска с учетом логической схемы развития авиационного события и неопределенности входных данных.

Ключевые слова: безопасность полетов, риск для безопасности полетов, авиационное событие, дерево отказов, теория нечетких множеств.

Abstract: the article describes the development of an algorithm for assessing the risk of the Su-25 aircraft overrun using a combination of launch flight methods and fuzzy set theory, which allows obtaining a quantitative assessment taking into account the logical pattern of development of aviation events and the uncertainty of input data.

Keywords: flight safety, flight safety risk, aviation event, number of failures, fuzzy set theory.

Введение

Одним из прогрессивных инструментов обеспечения безопасности полетов (БзП) в мировой практике является система управления рисками. При этом БзП определяется как состояние, при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, снижены и поддерживаются на приемлемом уровне (концепция приемлемого риска) [1]. В рекомендациях Международной организации гражданской авиации (ИКАО от англ. ICAO – International Civil Aviation Organization) как инструмент для оценки рисков предлагается только матрица риска, применение которой имеет следующие ограничения: не предназначена для количественных оценок; не обеспечивается возможность исследования причинно-следственных связей, которые в свою очередь приводят к возникновению авиационных событий (АС).

В настоящее время, одним из актуальных подходов для оценки надежности и безопасности сложных тех-

нических систем является применение метода «Анализа дерева неисправностей» (Fault Tree Analysis (FTA)) [2–4].

В [5, 6] приведены результаты применения метода FTA для оценки рисков различных АС. Несмотря на достоинства метода FTA, такие как количественная оценка риска, возможность анализа причинно-следственных связей между исследуемым и базовыми событиями, его применение имеет свои недостатки, которые накладывают ограничения на его использование. Для создания дерева отказов требуются точные и надежные данные о вероятностях отказов базовых событий. Часто такая информация может быть недоступной или неточной ввиду отсутствия достаточного объема статистической информации об исследуемом процессе, что в свою очередь приводит к неопределенности данных при расчете риска конкретного события.

Описанных выше недостатков лишены методы, основанные на использовании математического аппарата теории нечетких множеств (ТНМ). Так в работах [5, 7]

рассмотрено применение ТНМ для оценки рисков для БзП. Несмотря на вышеизложенные достоинства, такие как возможность учета неопределенности входных данных, использование качественных характеристик при расчете риска, применение методов на основе ТНМ не позволяет оценивать риск по совокупности опасных факторов, моделировать и анализировать логические схемы развития АС.

Разрешение противоречий существующих методов анализа и оценки рисков может быть получено путем комбинирования методов FTA и ТНМ.

В данной статье предлагается алгоритм оценки риска АС на примере сценария выкатывания самолета Су-25 за пределы взлетно-посадочной полосы (ВПП) с применением комбинирования методов FTA и ТНМ. АС, связанные с выкатыванием самолета за пределы ВПП, могут иметь серьезные последствия по степени тяжести (гибель экипажей и потеря дорогостоящей техники), таким образом, задача оценки его риска является важной и актуальной. Комбинирование методов FTA и ТНМ позволит учитывать не только конкретные сценарии отказов элементов авиационной техники и ошибок экипажа, но и неопределенность и нечеткость входных данных при оценке риска выкатывания самолета за пределы ВПП.

Задачи, полученные результаты и их обсуждение, связанные с применением методов FTA и ТНМ для оценки риска выкатывания самолета за пределы ВПП, приведены в основной части статьи.

Основная часть

Метод анализа дерева неисправностей представляет собой организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих или способствующих возникновению определенного результата, называемого конечным событием [3]. На рисунке 1 показано «дерево» сценария выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке.

Сценарий дерева разработан по результатам анализа материалов расследования АС в государственной авиации Республики Беларусь [8], руководящих документов и наставлений [9], статистических и аналитических исследований в области обеспечения БзП.

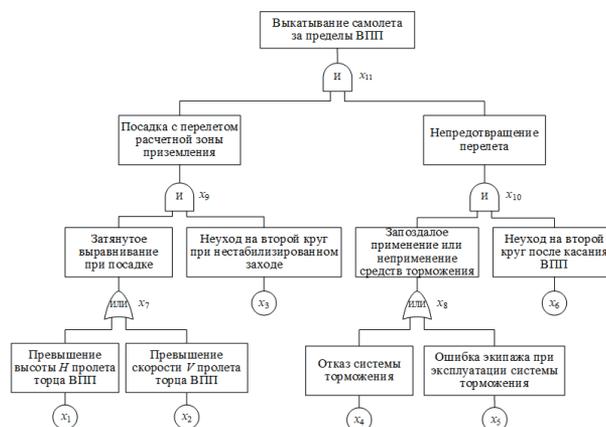


Рисунок 1 – Дерево сценария выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке

В диаграмме дерева отказов (см. рисунок 1) используются два логических элемента: «И» (конъюнкция) означает, что вероятность промежуточного или конечного события зависит от наступления всех предшествующих событий, и «ИЛИ» (дизъюнкция) означает, что исходные события действуют независимо.

Описание факторов (первичные события дерева) и показателей (промежуточные и конечное события) риска выкатывания воздушного судна (ВС) за пределы ВПП приведено в таблице 1.

Математическая модель сценария выкатывания самолета за пределы ВПП описывается следующими уравнениями:

$$P_{11} = P_9 \cdot P_{10}, \quad (1)$$

$$P_9 = P_7 \cdot P_3, \quad (2)$$

$$P_7 = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2), \quad (3)$$

$$P_{10} = P_8 \cdot P_2, \quad (4)$$

$$P_8 = 1 - (1 - P_4) \cdot (1 - P_5), \quad (5)$$

где P_i – вероятности базовых, промежуточных и конечного событий x_i ; $i = 1, 2, \dots, 11$.

Количественный FTA может быть применен только тогда, когда известны вероятности $P_1 - P_5$ возникновения всех первичных событий [3]. В этом случае, вероят-

Таблица 1 – Факторы и показатели риска выкатывания ВС за пределы ВПП

Обозначение	Описание	Событие
<i>Факторы риска</i>		
x_1	Превышение экипажем ВС рекомендованной высоты H пролета торца ВПП	Первичное событие
x_2	Превышение экипажем ВС рекомендованной скорости V пролета торца ВПП	
x_3	Непринятие экипажем ВС решения по уходу на второй круг при нестабилизированном заходе на посадку	
x_4	Отказ системы торможения	
x_5	Ошибка экипажа ВС в эксплуатации системы торможения самолета	
<i>Показатели риска</i>		
x_6	Непринятие экипажем ВС решения по уходу на второй круг после касания ВПП	Промежуточное событие
x_7	Затянутое выравнивание самолета перед посадкой	
x_8	Запоздалое применение либо неприменение средств торможения (для самолета Су-25 это основная система торможения, тормозные щитки и тормозной парашют)	
x_9	Посадка самолета с перелетом расчетной зоны приземления	
x_{10}	Непредотвращение перелета при посадке перелетом расчетной зоны приземления	Конечное событие
x_{11}	Выкатывание самолета за пределы ВПП	

ности всех промежуточных событий $P_6 - P_{10}$ и конечного события P_{11} (выкатывание самолета за пределы ВПП при посадке) могут быть рассчитаны в соответствии с выражениями (1) – (5).

Количественная оценка вероятностей P_1 и P_2 первичных событий x_1 и x_2 может быть определена по результатам статистической обработки зарегистрированной бортовыми накопителями полетной информации [10]. Количественная оценка вероятности P_4 события x_4 характеризуется по частоте подобных событий в результате анализа состояния надежности авиационной техники [8].

Применение классических методов математической статистики для оценки вероятностей P_3 и P_5 событий x_3 и x_5 , заключающихся в ошибочных действиях экипажа ВС, невозможно по причине отсутствия статистической информации. В этом случае единственным возможным источником информации могут служить оценки и суждения экспертов в предметной области о возможности данных событий.

Применение комбинации методов FTA и ТНМ для анализа процессов, связанных с безопасностью и надежностью, является актуальным. Применение методов ТНМ позволяет учитывать как количественные, так и качественные характеристики событий, включая неопределенность и субъективные оценки экспертов. В рамках данного подхода представляется разработка алгоритма выкатывания «нечеткого дерева» выкатывания самолета за пределы ВПП, который включает построение функций принадлежности (ФП) лингвистических переменных (ЛП), формирование нечеткой продукционной базы знаний, математическое описание процесса нечеткого логического вывода и моделирование результатов в среде MATLAB/Simulink.

Построение ФП. В качестве входных нечетких переменных для разработки модели нечеткого логического вывода используются ЛП «Вероятность» и «Возможность», которые представляют первичные события с известной или неизвестной статистической оценкой вероятности соответственно. ЛП «Риск» является выходной нечеткой переменной, а также входной переменной для промежуточных и конечных событий. Для построения ФП необходимо определить количество элементов терм-множеств для каждой ЛП («Риск», «Вероятность», «Возможность») и универсальное множество значений.

На основании требований руководящих документов по безопасности и надежности, терм-множества ЛП «Вероятность» и «Возможность» представлены пятью термами: Т(Вероятность/Возможность) = {низкая; ниже средней; средняя; умеренно высокая; высокая}. Универсальное множество значений представлено совокупностью вели-

чин вероятностей p на универсальном множестве $P = [0...1]$, рассмотренных в [1, 11]. Так как количественная оценка возможности прогнозируемого события предполагает обработку результатов экспертного опроса, данные значения определены условной величиной степени возможности v на универсальном множестве $V = [0...10]$, упомянутых в [4, 12].

Количество термов ЛП «Риск» равно пяти, Т(Риск) = {низкий; ниже среднего; средний; высокий; очень высокий}, требование к увеличению числа правил в базе знаний и точности вычисления рассмотрено в [1, 2]. Значения риска r определены условной величиной степени риска на универсальном множестве $R = [0...1]$.

Для построения ФП был применен метод, основанный на статистической обработке мнений группы экспертов [13]. Полученные графики ФП были аппроксимированы стандартными функциями, заданными в параметрической форме и представлены на рисунках 2–4.

Следует отметить, что при построении ФП ЛП «Вероятность» учитывалось экспоненциальное увеличение размеров диапазонов вероятностей, а графики ФП для наглядности приведены в логарифмическом масштабе.

Формирование базы знаний системы нечеткого логического вывода. Механизм нечеткого логического

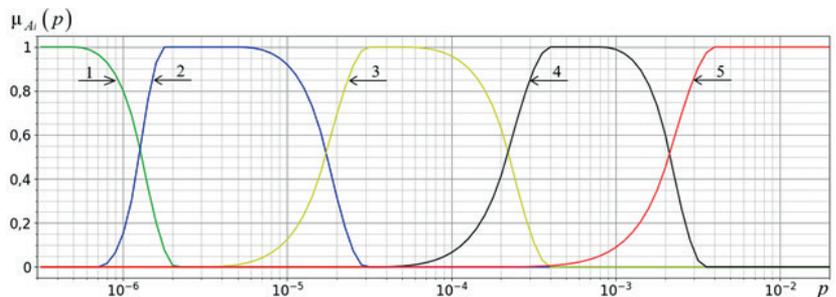


Рисунок 2 – Функции принадлежности терм-множества ЛП «Вероятность»: 1 – низкая $\mu_A(p)$; 2 – ниже средней $\mu_A(p)$; 3 – средняя $\mu_A(p)$; 4 – умеренно высокая $\mu_A(p)$; 5 – высокая $\mu_A(p)$

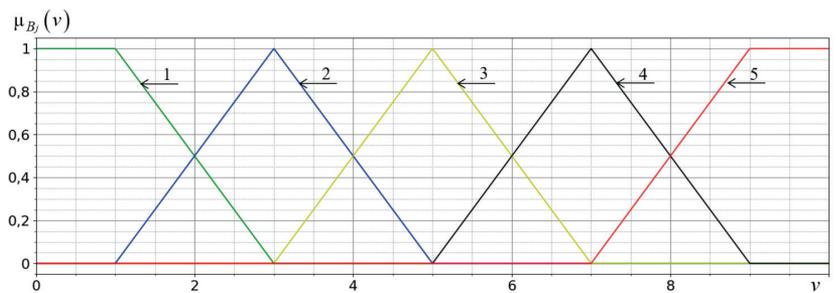


Рисунок 3 – Функции принадлежности терм-множества ЛП «Возможность»: 1 – низкая $\mu_B(v)$; 2 – ниже средней $\mu_B(v)$; 3 – средняя $\mu_B(v)$; 4 – умеренно высокая $\mu_B(v)$; 5 – высокая $\mu_B(v)$

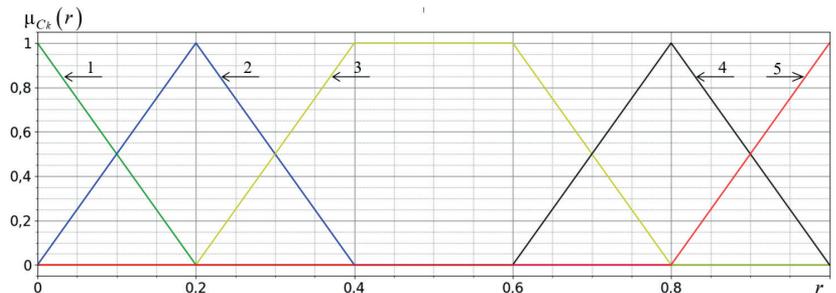


Рисунок 4 – Функции принадлежности терм-множества ЛП «Риск»: 1 – низкий $\mu_C(r)$; 2 – ниже среднего $\mu_C(r)$; 3 – средний $\mu_C(r)$; 4 – высокий $\mu_C(r)$; 5 – очень высокий $\mu_C(r)$

вывода основан на базе знаний, формируемой в виде конечного множества совокупности нечетких продукционных правил $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n\}$ для каждого узла «И» и «ИЛИ» дерева, основанных на лингвистических высказываниях «Если — то», и логических операциях над нечеткими множествами. Нечеткие множества ЛП представлены выражениями

$$\left. \begin{aligned} &A_i(p, \mu_{A_i}(p)), p \in P, j=1, 2, \dots, m_1, \\ &B_j(v, \mu_{B_j}(v)), v \in V, v=1, 2, \dots, m_2, \\ &C_k(r, \mu_{C_k}(r)), r \in R, l=1, 2, \dots, m_3, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где A_i, B_j, C_k — нечеткие множества ЛП «Вероятность», «Возможность» и «Риск» соответственно;

p, v, r — величины вероятности, степени возможности и риска;

P, V, R — универсальные множества значений величин p, v, r ;

$\mu_{A_i}(p), \mu_{B_j}(v), \mu_{C_k}(r)$ — ФП, которые указывают степень принадлежности величин p, v, r нечетким множествам A_i, B_j, C_k ;

m_1, m_2, m_3 — количество элементов терм-множеств (термов) ЛП «Вероятность», «Возможность» и «Риск» соответственно.

Так например, если значение вероятностей p_1 и p_2 событий x_1 и x_2 (превышение экипажем ВС рекомендованной высоты H или скорости V пролета торца ВПП) $p_1 \in A_1$ (вероятность низкая) или $p_2 \in A_1$ (вероятность низкая), то существует высокая степень уверенности в том, что риск события x_7 (затянутое выравнивание самолета перед посадкой) $r \in C_1$ (риск низкий).

Если значение $p_1 \in A_5$ (вероятность высокая) или $p_2 \in A_5$ (вероятность высокая), то существует высокая степень уверенности в том, что риск события $x_7, r \in C_5$ (риск очень высокий). В (7) приведено математическое описание представленных правил:

$$\left. \begin{aligned} &\Pi_{1.1} : \text{if } p_1 \in A_1 \cup p_2 \in A_1 \Rightarrow r \in C_1, \\ &\Pi_{1.2} : \text{if } p_1 \in A_5 \cup p_2 \in A_5 \Rightarrow r \in C_5, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В результате анализа состояния и функционирования авиационной системы на предмет обеспечения безопасности при посадке самолета Су-25, требований руководящих документов [1, 9, 11], опыта специалистов в эксплуатации предметной области для моделирования «нечеткого дерева» выкачивания самолета за пределы ВПП было разработано пять независимых нечетких продукционных баз знаний. При разработке продукционных правил в каждой базе знаний также учитывалась необходимость соблюдения условий обеспечения их полноты и непротиворечивости [14].

Математическое описание процесса нечеткого логического вывода. В общем виде схема процесса нечеткого логического вывода представлена на рисунке 5. Для построения «нечеткого дерева» отказов необходимо процедуру нечеткого логического вывода применить к каждому узлу дерева (см. рисунок 1).

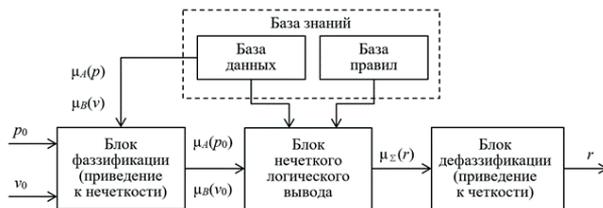


Рисунок 5 — Схема процесса нечеткого логического вывода оценки риска

На этапе *фаззификации* выполняется процедура нахождения значений ФП нечетких множеств на основе обычных исходных данных (этап введения нечеткости), т. е. определение степени срабатывания (истинности) каждой предпосылки каждого правила для заданных значений входных параметров p_0 и v_0 вида

$$\mu_{A_i}(p_0), \mu_{B_j}(v_0). \quad (8)$$

Нечеткий логический вывод включает в себя три этапа: агрегирование степени истинности, активизацию заключений каждого продукционного правила и аккумулярование активизированных заключений [14].

Агрегирование — это процесс нахождения степени истинности α_b по всем предпосылкам каждого b -го правила при конкретных значениях входных параметров p_0, v_0 . Определяется выражениями:

- для каждого узла «нечеткого дерева» «И» применяется T -норма (min-конъюнкция):

$$\alpha_b = \mu_{A_i}(p_0) \cap \mu_{B_j}(v_0), b=1, 2, \dots, n_l; \quad (9)$$

- для каждого узла «нечеткого дерева» «ИЛИ» применяется S -норма (max-дизъюнкция):

$$\alpha_b = \mu_{A_i}(p_0) \cup \mu_{B_j}(v_0), b=1, 2, \dots, n_l, \quad (10)$$

где n — общее количество правил в l -й нечеткой базе знаний;

$l = 5$ — количество баз знаний «нечеткого дерева».

Активизация заключений нечетких продукционных правил состоит в определении модифицированных функций принадлежности $\mu_b(r)$ для каждого b -го правила в соответствии с выражением

$$\mu_b(r) = \alpha_b \cap \mu_{D_k}(r), \quad (11)$$

где $\mu_{D_b}(r)$ — ФП ЛП «Риск» b -го правила нечеткой базы знаний [14].

Аккумулярование активизированных заключений — это нахождение комбинированной ФП путем объединения всей совокупности правил, определенных по (11).

Выражение для комбинированной ФП всей совокупности правил определено по формуле

$$\mu_\Sigma(r) = \mu_1(r) \cup \mu_2(r) \cup \mu_3(r) \dots \cup \mu_b(r). \quad (12)$$

Дефаззификация (приведение к четкости) заключается в преобразовании нечеткого значения выходной переменной в четкую искомую величину риска ФП. Выходная комбинированная ФП $\mu_\Sigma(r)$ при этом преобразуется в четкое число r_0 в соответствии с выражением (центроидный метод) [14]

$$r_0 = \frac{\int_R r \mu_\Sigma(r) dr}{\int_R \mu_\Sigma(r) dr}, R = [0 \dots 1]. \quad (13)$$

Физическим аналогом этой формулы является нахождение центра тяжести плоской фигуры, ограниченной осями координат и графиком ФП нечеткого множества.

На рисунке 6 приведена разработанная в MATLAB/Simulink структурная модель «нечеткого дерева» выкачивания самолета за пределы ВПП.

Каждый модуль Fuzzy logic Controller № 1 — 5 представляет собой систему нечеткого логического вывода, описываемую выражениями (8) — (13) и реализующую

функциональную зависимость, определенную на основании лингвистических высказываний «Если – то» и логических операций над нечеткими множествами.

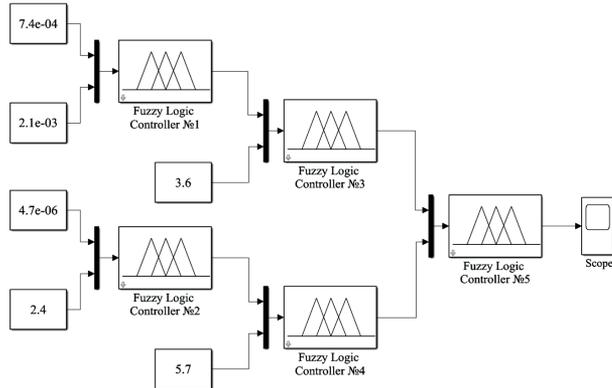


Рисунок 6 – Структурная модель «нечеткого дерева» выкатывания самолета за пределы ВПП

На рисунке 7 в качестве примера приведены результаты расчета риска (13) выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке для различных экипажей самолета Су-25 в среде MATLAB/Simulink.

Вероятности p_1 и p_2 событий x_1 и x_2 (превышение экипажем ВС рекомендованной высоты H и скорости V пролета торца ВПП) рассчитаны по результатам статистического анализа зарегистрированной полетной информации [10].

Вероятность p_4 события x_4 (отказ системы торможения) определена по результатам анализа надежности систем торможения самолетов Су-25(УБ) [8].

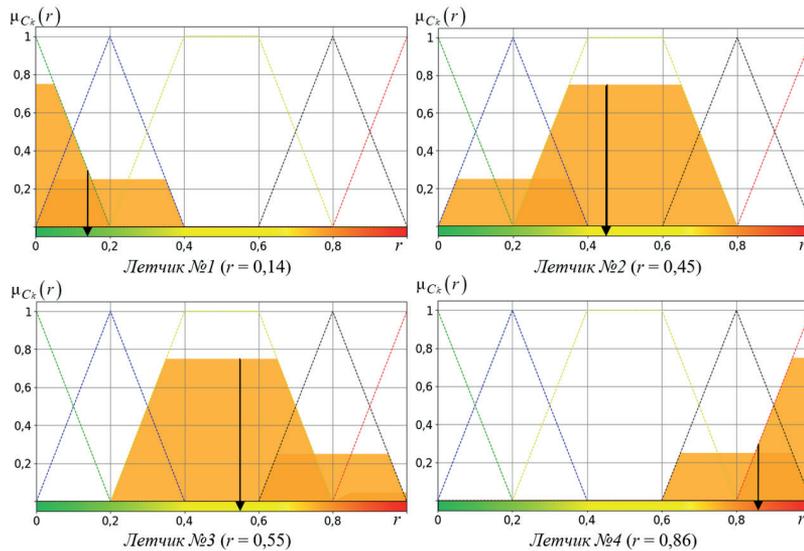


Рисунок 7 – Результаты расчета риска выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке для различных экипажей самолета Су-25

Таблица 2 – Описание уровней риска

Уровень риска	R	Описание
Недопустимый	$R \geq 0,6$	Риск неприемлем ни при каких условиях, требует принятия незамедлительных мер по его снижению
Допустимый	$0,2 \leq R < 0,60$	Риск приемлем при условии реализации адекватных компенсационных мер, требуется контроль
Приемлемый	$R < 0,2$	Не требует никаких действий, но контролируем

Степень возможности v_3, v_5 и v_6 событий x_3, x_5 и x_6 , соответственно, определена в балах (от 0 до 10) по результатам экспертного опроса специалистов в предметной области с использованием разработанной методики экспертного оценивания [15].

Риск $r_7 - r_{10}$ промежуточных и конечного r_{11} событий $x_7 - x_{11}$ определен в условных единицах (от 0 до 1) в соответствии с выражениями (9) – (13).

Оценка приемлемости риска r_{11} события x_{11} (выкатывание самолета за пределы ВПП при посадке) осуществляется путем сравнения расчетного значения с установленными уровнями приемлемого, допустимого и неприемлемого риска (таблица 2) [1].

Уровни приемлемого $R_{пр}$ и допустимого $R_{доп}$ риска определяются на основании нормирования частот и вероятностей опасных факторов, требований международных руководящих документов по БзП [1, 11] и соотношением затрат и выгод по его уменьшению, а для военной авиации – еще и особым периодом и уточняются в процессе эксплуатации.

Анализ рисунка 7 показывает, что риск выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке для летчика № 4 является недопустимым (красная зона) и требует от руководящего летного состава принятия управленческих решений по его уменьшению или устранению. Риск выкатывания для летчика № 1 приемлемый (зеленая зона), не требуется никаких действий от руководящего состава. Для летчиков № 2 и 3 риск выкатывания определен как допустимый (желтая зона), воздействие на риск должно учитывать соотношение затрат и выгод на его уменьшение.

Заключение

В результате проведенных исследований разработано «нечеткое дерево» для количественной оценки риска выкатывания самолета за пределы ВПП при посадке. При этом комбинирование методов ФТА и ТНМ позволяет учесть как количественные, так и качественные характеристики входных данных событий, включая неопределенность и субъективные оценки экспертов, а также логическую схему развития авиационного события.

Полученные выражения, описывающие ФП ЛП и характеризующие степень принадлежности входных переменных нечетким множествам, позволяют учесть неопределенность входных данных, обусловленную отсутствием достаточного объема статистической информации.

Разработан перечень нечетких продукционных правил, логических выражений, связывающих значения входных и выходной ЛП. Произведено моделирование схемы логического вывода разработанного «нечеткого дерева» для оценки риска выкатывания за пределы ВПП при посадке для различных летчиков самолета Су-25(УБ).

Использование разработанной модели «нечеткого дерева» для оценки риска позволит своевременно выявлять угрозы для БзП при посадке, для принятия корректирующих мер и управленческих решений в целях уменьшения или устранения их влияния.

Рассмотренный алгоритм на основе комбинирования методов ФТА и ТНМ может быть адаптирован для разработки сценариев развития и «нечетких деревьев» оценки рисков иных авиационных событий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по управлению безопасностью полетов. Международная организация гражданской авиации. – 3-е изд. – Квебек : ИКАО, 2013. – 300 с.
2. ГОСТ СТБ IEC 61025/PR_1 Управление надежностью. Анализ дерева неисправностей. – Минск : Изд-во гос. стандартов. 2005. – 40 с.
3. ГОСТ СТБ ISO/IEC 31010 Менеджмент риска. – Минск : Изд-во гос. стандартов. 2011. – 79 с.
4. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: учебник / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М. : Логос, 2001. – 208 с. : ил.
5. Шаров, В. Д. Методология управления риском безопасности полетов на уровне авиапредприятия : дис. ... докт. тех. наук : 05.22.14 / В. Д. Шаров. – М., 2016. – 398 л.
6. Куклев, Е. А. Управление безопасностью полетов воздушных судов на основе нечетких оценок рисков возникновения нештатных условий полета / Е. А. Куклев // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – №4 (Т. 19). – С. 199–205.
7. Матвеев, Г. Н. Метод упреждающего управления безопасностью полетов воздушных судов в авиационных предприятиях : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.22.14, 05.26.03 / Г. Н. Матвеев ; ГосНИИ ГА. – М., 2010. – 34 с.
8. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников Соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2021 г. – М. : Межгосударственный авиационный комитет, 2022. – 66 с.
9. Памятка летчику. Руководство по летной эксплуатации самолета Су-25. – М., 2007. – 576 с.
10. Разработка требований к программно-алгоритмическому обеспечению для автоматизированной оценки соблюдения условий безопасности полетов по материалам объективного контроля : отчет о НИР (заключ.) (шифр «Исloch-BA») / Воен. акад. Респ. Беларусь ; рук. В. Р. Вашкевич ; исполн.: С. А. Коршак [и др.]. – Минск, 2019. – 155 с. – Инв. № 576494.
11. Национальная программа по безопасности полетов гражданской авиации Республики Беларусь : утв. пост. Совета Министров Республики Беларусь от 22 авг. 2019 г., № 563.
12. ГОСТ 23554.1–79 Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции : введ. СССР 01.01.81. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 29 с.
13. Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование. Экспертные оценки : учебник / А. И. Орлов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – Ч. 2. – 486 с.
14. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети. / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – 2-е издание. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
15. Коршак, С. А. Экспертная оценка вероятностей парирования экипажами воздушных судов особых ситуаций в полете с учетом фактических условий эксплуатации / С. А. Коршак, В. Р. Вашкевич // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2021. – № 2 (71). – С. 53–63.

REFERENCES

1. Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnost'yu poletov [Flight safety management manual], 3th ed., Quebec, ICAO, 2013, 300 p.
2. GOST STB IEC 61025/PR_1 Upravlenie nadezhnost'ju. Analiz dereva neispravnostej [GOST STB IEC 61025/PR_1 Reliability management. Fault tree analysis]. Minsk, Izd-vo gos. Standartov, 2005, 40 p.
3. GOST STB ISO/IEC 31010 Menedzhment riska [GOST STB ISO/IEC 31010 Risk management]. Minsk, Izd-vo gos. Standartov, 2011, 79 p.
4. Aleksandrovskaia L.N., Afanas'ev A.P., Lisov A.A. Sovremennye metody obespechenija bezotkaznosti slozhnykh tehniceskikh sistem: uchebnik [Modern methods for ensuring the reliability of complex technical systems: Textbook]. Moscow, Logos, 2001, 208 p.
5. Sharov V.D. Metodologija upravlenija riskom bezopasnosti poletov na urovne aviapredpriatija [Methodology of flight safety risk management at the airline level]. Doctor's degree dissertation. Moscow, 2016. – 398 p.
6. Kuklev E.A. Upravlenie bezopasnost'ju poletov vozdushnykh sudov na osnove nechetkikh ocenok riskov vozniknovenija neshtatnykh uslovij poleta [Flight safety control of the basis of uncertain risk evaluation with non-routine flight conditions involved]. Nauchnyj vestnik MGTU GA, 2016, no. 4, vol. 19, pp. 199-205.
7. Matveev G.N. Metod uprezhdajushhego upravlenija bezopasnost'ju poletov vozdushnykh sudov v aviacionnykh predpriatijah [Method of proactive management of aircraft flight safety in aviation enterprises]. Ph. D. thesis. Moscow, GosNII GA, 2010, 34 p.
8. Sostojanie bezopasnosti poletov v grazhdanskoj aviacii gosudarstv-uchastnikov soglashenija o grazhdanskoj aviacii i ob ispol'zovanii vozdušnogo prostranstva v 2021 g. [The state of flight safety in civil aviation of the states parties to the agreement on civil aviation and on the use of airspace in 2021]. Moscow, Mezghosudarstvennyj aviacionnyj komitet, 2022, 66 p.
9. Pamjatka letchiku. Rukovodstvo po letnoj jekspluatácii samoleta Su-25 [Memo to the pilot. Flight manual for the Su-25 aircraft]. Moscow, 2007, 576 p.
10. Vashkevich V.R. Korshak S.A. [et al.] Razrabotka trebovanij k programmno-algoritmicheskomu obespečeniju dlja avtomatizirovannoj ocenki sobljudenija uslovij bezopasnosti poletov po materialam ob'ektivnogo kontrolja : otchet o NIR [Development of requirements for software and algorithmic support for automated assessment of compliance with flight safety conditions based on objective control materials]. Minsk, Voen. akad. Rесп. Belarus', 2019, 155 p.
11. Nacional'naja programma po bezopasnosti poletov grazhdanskoj aviacii Respubliki Belarus' [National Program for Civil Aviation Safety of the Republic of Belarus]. utv.post. Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 22 aug. 2019 g., no. 563.
12. GOST 23554.1-79 Jekspertnye metody ocenki kachestva promyshlennoj produkcii. Organizacija i provedenie jekspertnoj ocenki kachestva produkcii [Expert methods for assessing the quality of industrial products. Organization and conduct of expert assessment of product quality]. Moscow, Izd-vo standartov, 1980, 29 p.
13. Orlov A.I. Organizacionno-jekonomicheskoe modelirovanie. Jekspertnye ocenki : uchebnik [Organizational and economic modeling. Expert assessments: textbook]. Moscow, Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2011, part 2, 486 p.
14. Borisov V.V., Kруглов V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti [Fuzzy models and networks]. Moscow, Gorjachaja linija – Telekom, 2012, 284 p.
15. Korshak S.A., Vashkevich V.R. Jekspertnaja ocenka verojatnostej parirovanija jekipazhami vozdushnykh sudov osobykh situacij v polete s uchetoм fakticheskikh uslovij jekspluatácii [Expert assessment of the probabilities of aircraft crews parrying special situations in flight, taking into account actual operating conditions]. Vestn. Voen. akad. Rесп. Belarus', 2021, no. 2 (71), pp. 53-63.

*Статья поступила в редакцию
14.03.2024*

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

EVALUATION OF THE RESULTS OF USING THE INTERFACE OF THE AUTOMATED WORKSTATION OF THE AIR TRAFFIC CONTROLLER

Дубовский Алексей Викторович – старший преподаватель кафедры организации движения и обеспечения безопасности на воздушном транспорте учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
alekseya59@mail.ru

Alexey Dubovsky – Senior Lecturer at the Department of Traffic Management and Safety in Air Transport of the Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
alekseya59@mail.ru

Рабченко Дмитрий Иванович – ведущий инженер ОАО «ВОЛАТАВТО», Республика Беларусь

Dzmitry Rabchenok – Senior Engineer of JSC VOLATAVTO, Republic of Belarus

Аннотация: необходимость совершенствования системы управления воздушным движением обусловлена ростом интенсивности воздушного движения и, как следствие, увеличением нагрузки на диспетчера, многовариантностью его действий в различных условиях. Поскольку ключевым фактором опасности при управлении воздушным движением является пропуск диспетчером потенциально конфликтных ситуаций сближения воздушных судов, то целесообразным является усовершенствование пользовательского интерфейса автоматизированного рабочего места. В статье рассмотрены экспериментальные результаты использования синтезированного прототипа интерфейса на автоматизированном рабочем месте диспетчера районного диспетчерского центра управления воздушным движением. Экспериментально показано, что разработанная схема является эффективной при исследованиях инженерно-психологических факторов взаимодействий человек – машина в системах специального назначения.

Ключевые слова: управление воздушным движением, автоматизированное рабочее место, эффективность действий диспетчера.

Abstract: the need to improve the air traffic control system is due to an increase in the intensity of air traffic and, as a consequence, an increase in the load on the air traffic controller and the variety of his actions in various conditions. Since the key factor of danger in air traffic control is the controller's failure to allow potentially conflicting situations of approaching aircraft, it is advisable to improve the user interface of the automated workstation. The article discusses the experimental results of using a synthesized interface prototype at an automated workstation of air traffic controller at a regional air traffic control center. It has been experimentally shown that the developed scheme is effective in studying the engineering and psychological factors of human-machine interactions in special-purpose systems.

Keywords: air traffic control, automated workstation, the effectiveness of the air traffic controller's actions.

Введение

По оценкам ведущих авиаперевозчиков, к 2025 году прогнозируется рост интенсивности воздушного движения в мире. При этом увеличится и количество авиационных происшествий, три четверти которых обусловлены человеческим фактором [1–3]. В автоматизированной системе управления воздушным движением (АСУВД) ошибки персонала при взаимодействии человека и машины могут быть предопределены на этапе проектирования. Одним из элементов АСУВД, предназначенным для решения задач обработки значительных информационных потоков, является автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера управления воздушным движением (УВД). В состав АРМ входит

пользовательский интерфейс (ПИ), оптимизация которого будет способствовать повышению эффективности деятельности диспетчера, что является актуальной задачей в современных условиях. Увеличение интенсивности воздушного движения диктует необходимость формирования на АРМ диспетчера УВД такого ПИ, который по функциям и возможностям обеспечивал бы диспетчера сбалансированной информацией. Сложность решения этой задачи связана с трудоемкими экспериментальными исследованиями многовариантности действий диспетчера в различных условиях обстановки. Поэтому для оценки параметров ПИ было проведено апробирование экспертами и специалистами УВД функциональных динамических прототипов.

Постановка эксперимента

В рамках отечественных разработок, направленных на повышение эффективности деятельности человека в эргатических системах, группой исследователей был проведен полунатурный эксперимент [1]. В эксперименте использовался синтезированный ранее функциональный динамический прототип интерфейса на АРМ районного диспетчерского центра (РДЦ) (рисунок 1), позволивший имитировать деятельность диспетчера в условиях высокой интенсивности воздушного движения. Синтез осуществлялся согласно методике синтеза информационной модели боевой обстановки [2].

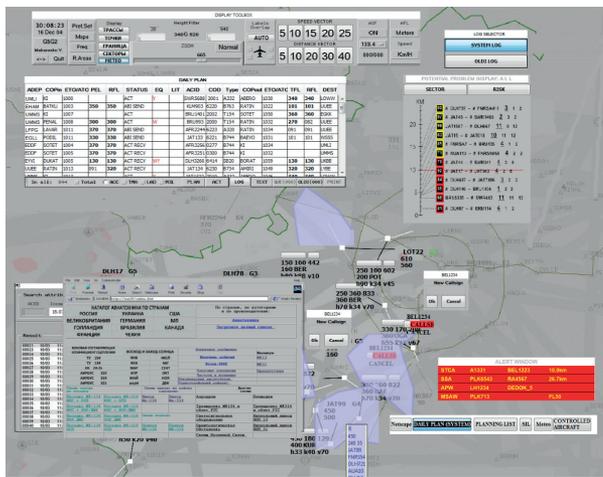


Рисунок 1 — Функциональный динамический прототип интерфейса на АРМ диспетчера в АСУВД

Моделируемый процесс представлял собой автоматизацию деятельности диспетчера при выполнении им управляющих функций на АРМ РДЦ. Общей целью моделирования являлся анализ эффективности действий диспетчера в синтезированном прототипе интерфейса [3].

Физическая сущность моделируемого процесса состояла в последовательном выполнении диспетчером необходимых действий с элементами интерфейса в зависимости от предъявляемых условий, связанных с объектами управления и внешней средой. В рамках моделируемого процесса диспетчер обеспечивался необходимой информацией для оценки обстановки, принятия решений и выполнения указаний вышестоящего руководства. Диспетчер радиолокационного контроля РДЦ осуществлял обслуживание воздушного движения в секторе ответственности «Запад». Управленческие решения принимались в соответствии с критерием Вальда [4].

Правильность выбора полностью ложилась на диспетчера. Контроль действий диспетчера осуществлялся руководителем полетов.

Каждому испытуемому выдавались команды на выполнение определенного действия. Испытуемый находил необходимую информацию на экране, принимал решение, производил поиск требуемого органа управления и воздействовал на него. За счет варьирования аргументов действий и действий между собой (путем применения унифицированного тестового материала) были исследованы различные варианты обработки информации диспетчером. Адекватность функционирования синтезированного прототипа интерфейса на предмет согласованной пространственно-временной работы программных блоков контролировалась визуально. В случае выявления неадекватности фрагмент эксперимента повторялся заново.

Характеристики состояний процесса являлись детерминированными, а параметры случайными. В результате моделирования определялись временные [5, 6] и точностные характеристики выполнения действий диспетчером в процессе управления в АСУВД.

Для участия в эксперименте были отобраны эксперты и специалисты из предметно-ориентированной группы испытуемых в количестве восьми человек. Испытуемые отбирались исходя из следующих соображений:

- эксперты имели специализации, предполагающие соответствующий исследованию опыт деятельности на типовых АРМ УВД [7, 8];
- возраст экспертов соответствовал возрасту рассматриваемого диспетчера и гарантировал наличие у них определенных стереотипов эксплуатации АРМ;
- специалисты имели необходимый опыт деятельности на исследуемых АСУВД и их тренажерных средствах;
- возраст специалистов предполагал наличие у них следующих важных с точки зрения проводимого исследования психофизиологических характеристик: высокой сенсорной и моторной активности; адаптированности к требованиям, предъявляемым современными информационными технологиями по отношению к пользователям ПЭВМ; отсутствием устойчивой стереотипности мышления при осуществлении управленческих действий на АРМ.

Характеристики испытуемых представлены в таблице 1.

Испытуемые на момент проведения эксперимента находились в фазе устойчивой работоспособности. Испытания выполнялись в комфортных условиях обитания при средней шумовой нагрузке на анализаторы испытуемых. Обстановка на рабочем месте была стереотипной,

Таблица 1 — Характеристики испытуемых

Испытуемый	Специализация	Наименование изученного образца АСУВД	Возраст, лет
Эксперт 1	Диспетчер УВД 1-го класса	Аэродромно-районная АСУВД «Синтез-АР2», КСА УВД «Агата»	31
Эксперт 2	Диспетчер УВД 3-го класса	Аэродромно-районные АСУВД «Синтез-АР2» и «Альфа», КСА УВД «Агата»	27
Специалист 1	Студент 4-го года обучения. Специальность «Организация движения и обеспечение полетов на воздушном транспорте»	Тренажер аэродромно-районной АСУВД «Синтез-АР2», онлайн симулятор службы УВД «IvAc»	20
Специалист 2			19
Специалист 3			20
Специалист 4			20
Специалист 5			19
Специалист 6			20

мышление носило алгоритмический характер, рабочие действия осуществлялись преимущественно в определенном порядке. Темповая информационная загруженность испытуемых была подобрана таким образом, чтобы поддерживать нормальный режим деятельности последних на протяжении всего эксперимента, в том числе за счет предоставления отдыха между подходами. Были обеспечены однородность получаемой выборки и необходимые условия проведения моделирования.

Анализ полученных результатов

В результате анализа деятельности испытуемых было отмечено следующее.

Элемент «запрос-ответ» обеспечивал наибольшую безошибочность деятельности, низкую нагрузку на память испытуемых, что говорит о целесообразности выбора данного элемента при формировании интерфейса. Однако избыточность использования элемента привела к снижению скорости деятельности.

Элемент «меню» обеспечивал высокую скорость деятельности, но наличие в поле зрения всех альтернатив зачастую приводило к нарушению плана решения и значительному количеству смысловых ошибок. Тем не менее, благодаря высоким временным показателям, данный элемент очень эффективно использовался испытуемыми.

Элемент «ввод по шаблону» был связан с наибольшим количеством ошибок, главным образом «забывания» и перекодирования. Несмотря на хорошие временные показатели, данный элемент оказался наименее удобен для испытуемых.

«Команда с подсказкой» – элемент, получивший неоднозначную оценку. Наибольшая успешность его использования достигалась при вызове подсказки только в случае необходимости. Успешная работа с данным элементом отражала такую черту испытуемых, как склонность к гибкости мышления и самостоятельности ведения диалога.

Были установлены следующие закономерности:

- уменьшение времени восприятия событий диспетчером связано с повышением заметности событий

в интерфейсе и улучшением соответствия пар «стимул – реакция» для событий;

- уменьшение величины времени принятия решения диспетчером достигается сокращением количества условных обозначений, упрощением логической и математической обработки данных, уменьшением порядка обрабатываемых диспетчером чисел и разделением когнитивных блоков информации паузами, сопровождающимися отсутствием событий в интерфейсе;

- сокращение времени поиска необходимого органа управления достигается при условии формирования объема зрительного восприятия исходя из того, что в зоне ясной видимости диспетчера должно быть не менее шести целевых анализируемых элементов интерфейса одновременно, а в качестве условных обозначений используются простые геометрические фигуры;

- уменьшение длительности осуществления моторного акта диспетчера связано с сокращением количества элементарных управляющих действий, увеличением линейных размеров целевых элементов до значений, ограниченных объемом зрительного восприятия и сокращением дистанции до целевых позиций элементов одноуровневых задач.

Замечания и рекомендации испытуемых, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 2 [1].

Необходимо отметить, что на точностные характеристики действий диспетчера оказывала влияние скорость предъявления ему информации о необходимости управляющих воздействий с его стороны [9].

Частота ошибочного воздействия диспетчера на орган управления, определяется эмпирическим соотношением

$$f_{од} \approx 0,021/T_{отв}^4,$$

где $T_{отв}$ – период следования сигналов, требующих ответных действий со стороны диспетчера [10].

Математическое ожидание частоты ошибочного воздействия диспетчера на орган управления определяется выражением

$$M_{од} = \frac{1}{n_b} \sum_{i=1}^{n_b} f_{од,i},$$

где n_b – количество совершенных воздействий на орган управления [9].

Таблица 2 – Замечания и рекомендации испытуемых

Испытуемый	Замечание, рекомендация
Эксперт 1	В окне конфликтных ситуаций необходимо произвести группировку ситуаций по оставшемуся до встречи расстоянию. Следует исключить информацию о потенциальных конфликтах из окна конфликтных ситуаций. Необходимо уменьшить стереотипность предъявляемой информации, делая акцент на современном представлении пользовательского интерфейса.
Эксперт 2	Команды, вводимые с клавиатуры, необходимо представить в формализованном виде и обеспечить всплывающие подсказки. Следует повысить топологическую унификацию таблиц и отсортировать табличную информацию по приоритету или алфавиту.
Специалист 1	Отсутствует возможность масштабирования цифровой карты местности. Необходимо повысить разрешающую способность средства отображения информации и контрастность отображения.
Специалист 2	Отсутствует возможность оперативного измерения расстояний на цифровой карте местности. В окне конфликтов необходимо отображать контекстные меню. Отсутствует возможность масштабирования цифровой карты местности.
Специалист 3	Расширенный формуляр необходимо отображать в момент нахождения курсора графического указателя в центре основного формуляра воздушного судна. Отсутствует возможность масштабирования и скроллинга цифровой карты местности.
Специалист 4	В таблице команд и донесений отсутствует возможность получить дополнительную информацию по воздушному судну.
Специалист 5	Отсутствуют.
Специалист 6	Активацию элемента необходимо сопровождать выделением его на общем фоне цветом или градацией яркости.

На рисунке 2 представлены графики зависимости указанных величин от периода следования сигналов, требующих ответных действий со стороны диспетчера.

Исходя из продолжительности непрерывной работы диспетчера РДЦ в условиях повышенной нагрузки [11], в рамках эксперимента было опробовано значение периода следования сигналов, составляющее 3,7 с (обозначено на рисунке 2 пунктирной линией). При данном значении периода следования испытуемые не допускали ошибок при воздействии на орган управления на протяжении около 3600 с.

Заключение

Разработанная схема эксперимента пригодна для исследований инженерно-психологических факторов диалога в человеко-машинных системах специального назначения.

Выбор предпочтительного элемента диалога человек — машина зависит от используемого критерия и индивидуальных психофизиологических особенностей диспетчера. В связи с этим целесообразно обеспечить последнего возможностью выбора варианта диалога в интерфейсе. При ограниченных возможностях проектирования рекомендуется следующий порядок элементов интерфейса по приоритетности использования:

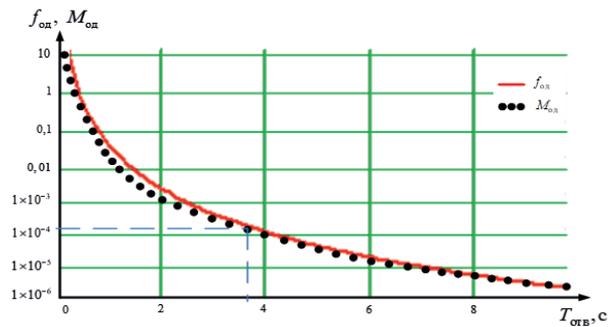


Рисунок 2 — Графики зависимости $f_{оп}$ и $M_{оп}$ от периода следования сигналов

«меню», «запрос-ответ», «команда с подсказкой», «ввод по шаблону».

Замечания и рекомендации испытуемых могут быть использованы разработчиками интерфейсов АРМ АСУВД с целью повышения эффективности процесса управления сложной системой в условиях дефицита времени и высокой стоимости ошибки.

При определении темпа предъявления диспетчеру информации о необходимости управляющих воздействий с его стороны, целесообразно использовать выражение для определения частоты ошибочного воздействия диспетчера на орган управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Капцевич, О.А. Экспериментальные исследования интерфейса, разработанного с использованием методики синтеза информационной модели на автоматизированном рабочем месте диспетчера управления воздушным движением / О.А. Капцевич, Д.И. Рабченко, К.Ю. Пономарев // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7-8. – С. 149–158.
- Рабченко, Д.И. Методика синтеза информационной модели боевой обстановки / Д.И. Рабченко // Информатика. – 2017. – № 1. – С. 78–91.
- Капцевич, О.А. Оценка эффективности деятельности диспетчера в автоматизированной системе управления воздушным движением / О.А. Капцевич, Д.И. Рабченко // Сборник Военной академии Республики Беларусь. – 2018. – № 35. – С. 92–102.
- Макаров, И.М. Теория выбора и принятия решений : учебник / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
- Капцевич, О.А. Временная составляющая аналитической модели действий диспетчера управления воздушным движением / О.А. Капцевич, А.В. Дубовский, Д.И. Рабченко // Доклады БГУИР. – 2019. – № 5. – С. 79–85.
- Аюпов, Р.Р. Оценка временных затрат диспетчера управления воздушным движением по определению необходимых значений минимальных интервалов горизонтального эшелонирования / Р.Р. Аюпов, В.В. Купин, А.П. Плясовских // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2012. – № 186. – С. 118–122.
- Руководство оператора РМ-Д УВД: утв. ЕИРВ.51298-01 34 01-ЛУ. – Минск, 2018. – 113 с.
- Руководство по эксплуатации изделия СИНТЕЗ-АР2. Ч. 2.: утв. ТАЛМ.461214.003 РЭ2-ЛУ. – СПб, 2003. – 185 с.
- Кругликов, С.В. Аналитическая модель взаимодействия оператора с информационной моделью автоматизированного рабочего места в условиях динамично меняющейся обстановки / С.В. Кругликов, Д.И. Рабченко // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – № 3. – С. 37–44.
- Шибанов, Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника / Г.П. Шибанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
- Авиационные правила «Методика определения пропускной способности органов диспетчерского обслуживания воздушного движения»: утв. Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 31.03.2008. – Минск, 2008. – 15 с.

REFERENCES

- Kapcevic O.A., Rabchenok D. I., Ponomarev K. Ju. Jeksperimental'nye issledovanija interfejsa, razrabotannogo s ispol'zovaniem metodiki sinteza informacionnoj modeli na avtomatizirovannom rabochem meste dispetchera upravlenija vozdušnym dvizheniem [Experimental studies of the interface developed using the information model synthesis technique on an automated workstation of an air traffic controller]. Doklady BGUIR, 2019, no. 7-8, pp. 149-158.
- Rabchenok D. I. Metodika sinteza informacionnoj modeli boevoj obstanovki / D. I. Rabchenok [Methodology for synthesizing an information model of a combat situation]. Informatika, 2017, no. 1, pp. 78-91.
- Kapcevic O. A., Rabchenok D. I. Ocenka jeffektivnosti dejatel'nosti dispetchera v avtomatizirovannoj sisteme upravlenija vozdušnym dvizheniem [Assessing the efficiency of the dispatcher in an automated air traffic control system]. Sbornik Voennoi akademii Respubliki Belarus', 2018, no. 35, pp. 92-102.
- Makarov I. M., Vinogradskaja T. M., Rubchinskij A. A. Teorija vybora i prinjatija reshenij: uchebnik [Theory of choice and decision making: textbook]. Moscow, Nauka, 1982, 328 p.
- Kapcevic O. A., Dubovskij A. V., Rabchenok D. I. Vremennaja sostavljajushhaja analiticheskoj modeli dejstvij dispetchera upravlenija vozdušnym dvizheniem [Temporal component of the analytical model of actions of an air traffic controller]. Doklady BGUIR, 2019, no. 5, pp. 79-85.
- Ajupov R. R., Kupin V. V., Pljjasovskih A. P. Ocenka vremennyh zatrat dispetchera upravlenija vozdušnym dvizheniem po opredeleniju neobhodimyh znachenij minimal'nyh intervalov gorizontalnogo jeshelonirovanija [Estimation of time costs of an air traffic controller to determine the required values of minimum horizontal separation intervals]. Nauchnyj vestnik moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta grazhdanskoj aviacii, 2012, no. 186, pp. 118–122.
- Rukovodstvo operatora RM-D UVD: utv. EIRV.51298-01 34 01-LU [Operator's manual RM-D ATC: approved. EIRV.51298-01 34 01-LU]. Minsk, 2018, 113 p.
- Rukovodstvo po jekspluatácii izdelija SINTEZ-AR2. Ch. 2.: utv. TALM.461214.003 RJe2-LU [Operating manual for the product SINTEZ-AR2. Part 2: approved. TALM.461214.003 RE2-LU]. Sankt Peterburg, 2003, 185 p.
- Kruglikov S. V., Rabchenok D. I. Analiticheskaja model' vzaimodejstvija operatora s informacionnoj model'ju avtomatizirovannogo rabocheho mesta v uslovijah dinamično menjajushhejsja obstanovki [Analytical model of operator interaction with the information model of an automated workstation in a dynamically changing environment]. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy, 2016, no. 3, pp. 37-44.
- Shibanov G. P. Kolichestvennaja ocenka dejatel'nosti cheloveka v sistemah chelovek-tehnika [Quantitative assessment of human activity in human-technology systems]. Moscow, Mashinostroenie, 1983, 263 p.
- Aviacionnye pravila «Metodika opredelenija propusknoj sposobnosti organov dispetcherskogo obsluzhivaniya vozdušnogo dvizhenija»: utv. Ministerstvom transporta i kommunikacij Respubliki Belarus' 31.03.2008 [Aviation rules "Methodology for determining the capacity of air traffic control services": approved. Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus 03.31.2008]. Minsk, 2008, 15 p.

Статья поступила в редакцию
20.03.2024

П. В. БОЙКАЧЕВ, И. А. ДУБОВИК, А. А. СУТЬКО, М. И. ПОЛЕЩУК

P. BOYKACHEV, I. DUBOVİK, A. SUTKO, M. POLESHCHUK

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСТАНЦИИ R-181-5НУ

DEVELOPMENT OF A BROADBAND MATCHING DEVICE FOR ANTENNA SYSTEM OF RADIO STATION R-181-5NU

Бойкачев Павел Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры тактики и вооружения радиотехнических войск факультета противовоздушной обороны учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
pashapasha.boi@mail.ru

Дубовик Илья Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры тактики и вооружения радиотехнических войск факультета противовоздушной обороны учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
dubailia94@gmail.com

Сутько Анна Александровна – магистр технических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории военного факультета учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
anyasutiko6403938@gmail.com

Полещук Мария Ивановна – магистр технических наук, старший инженер кафедры тактики и вооружения радиотехнических войск факультета противовоздушной обороны учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», Республика Беларусь
chebotarenokm@mail.ru

Pavel Boykachev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Tactics and Weapons of Radio Engineering Troops of the Faculty of Air Defense of Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
pashapasha.boi@mail.ru

Ilya Dubovik – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Tactics and Weapons of Radio Engineering Troops of the Faculty of Air Defense of Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
dubailia94@gmail.com

Anna Sutko – Master of Technical Sciences, junior researcher at the research laboratory of the military faculty of the Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
anyasutiko6403938@gmail.com

María Poleshchuk – Master of Technical Sciences, senior engineer of Department of Tactics and Weapons of Radio Engineering Troops of the Faculty of Air Defense of Military Academy of the Republic of Belarus, Republic of Belarus
chebotarenokm@mail.ru

Аннотация: представлено адаптивное широкополосное согласующее устройство антенны AD-25/CW-3512 с приемопередатчиком радиостанции тактического звена управления R-181-5НУ диапазона ультракоротких волн, учитывающее отклонение импеданса нагрузки и параметров согласующей цепи, что позволило уменьшить потери уровня коэффициента передачи мощности от приемопередатчика радиостанции к антенне AD-25/CW-3512 на 3–26 % и увеличить потенциальную дальность радиолинии от 2 % до 15 % в рамках представленных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: радиостанция, антенная система, адаптация, широкополосное согласующее устройство, коэффициент передачи мощности.

Abstract: the article presents a broadband matching device for the AD-25/CW-3512 antenna of the R-181-5NU tactical control radio station, taking into account the deviation of the load impedance and the parameters of the matching circuit, which made it possible to reduce the loss of the power transfer coefficient level from the input path of the radio station to the AD-25/CW-3512 by 3–26 % from frequency ranges I to III and by 3–9 % from IV to VI and thus increase the potential range of the radio link from 2 % to 15 % within the framework of the presented experimental studies.

Keywords: radio station, antenna system, adaptation, broadband matching device, power transmission coefficient.

Введение

Конструирование высокочастотных радиотехнических трактов передачи и приема полезного сигнала с оптимальными характеристиками частот является одной из ключевых задач в области радиотехники. Ее важность возрастает в контексте использования новых диапазонов частот и сложных сигналов в современных системах радиолокации, радионавигации, телевидения и мобильной связи. В радиосистемах, играющих критическую роль в обеспечении эффективного управления в условиях современного боя, таких как связь между объектами вооруженных сил, разведыватель-

ных подразделений, командного состава, в ходе специальных операций широко применяются радиостанции в диапазонах VHF (very high frequency) / UHF (ultra high frequency), способные работать в широком спектре частот (30–3000 МГц) в различных условиях эксплуатации [1, с. 5–8]. Важно отметить, что изменение условий эксплуатации приводит к изменению импеданса антенной системы (АС), что в свою очередь влияет на уровень передачи мощности между приемно-передающими модулями (ППМ) и антенной [2]. Это снижает эффективность применения радиостанций и их потенциальные возможности, включая дальность связи [3]. Таким образом, становится актуальной задача разработки устройств, способных обе-

спечить оптимальную работу радиотехнических систем (РТС) связи в различных эксплуатационных условиях.

Постановка задачи

Так как изменение импеданса приводит к снижению энергетической эффективности РТС, то необходимо использовать методологию синтеза согласующего устройства, учитывающего нестабильность импеданса антенного устройства (АУ).

В [3] с помощью методики синтеза согласующих устройств (СУ), учитывающей отклонения импеданса нагрузки, было синтезировано СУ для АУ радиостанции Р-180, обеспечивающее уровень передачи мощности не менее 0,9 в различных условиях эксплуатации (отклонения импеданса нагрузки до 50 % от номинального значения). Однако использование подхода [3] для синтеза подобного рода цепей применительно к АУ радиостанции Р-181-5НУ не представляется возможным, так как реальная составляющая импеданса АУ радиостанции Р-181-5НУ изменяется в диапазоне от 10 до 160 Ом [2] в различных наиболее вероятных условиях эксплуатации. В таких случаях положительный эффект функционирования может быть гарантирован только при наличии в системе адаптации [3].

Таким образом, выдвинем гипотезу, что для разрешения представленной проблемы целесообразно разработать СУ для АУ радиостанции Р-181-5НУ, обеспечивающее требуемый уровень передачи мощности (не менее 0,8 [80 %]), адаптивное к изменению импеданса нагрузки в различных условиях эксплуатации в рабочем диапазоне частот.

Результаты экспериментального исследования по влиянию изменений условий эксплуатации на импеданс антенного устройства радиостанции Р-181

В [2] представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение изменений импеданса АУ в различных сценариях эксплуатации переносимых радиостанций. Эти сценарии включали использование радиостанции внутри помещения, в лесном массиве, около техники и в безэховой камере (считались эталонные). Результаты исследования представлены на рисунке 1 в виде графиков, отображающих зависимость реальной и мнимой составляющих импеданса нагрузки от частоты. Диапазоны частот были выбраны с учетом спецификаций работы радиостанции Р-181-5НУ [4].

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- изменение условий эксплуатации приводит к изменению импеданса АУ относительно эталонного значения. Значительное изменение активной и реактивной составляющих импеданса АУ AD-25/CW-3512 наблюдается в помещении в IV диапазоне (220 – 380 МГц);

- существенное изменение импеданса приводит к изменению функции коэффициента передачи по мощности от частоты (КПМ). Особенно это наблюдается во II – VI диапазонах работы радиостанции (рисунок 2), несмотря на то, что АУ изначально согласованно на линию с сопротивлением в 50 Ом [5].

Кроме импеданса нагрузки и уровня КПМ в экспериментальном исследовании было рассмотрено влияние условий эксплуатации на дальность радиосвязи,

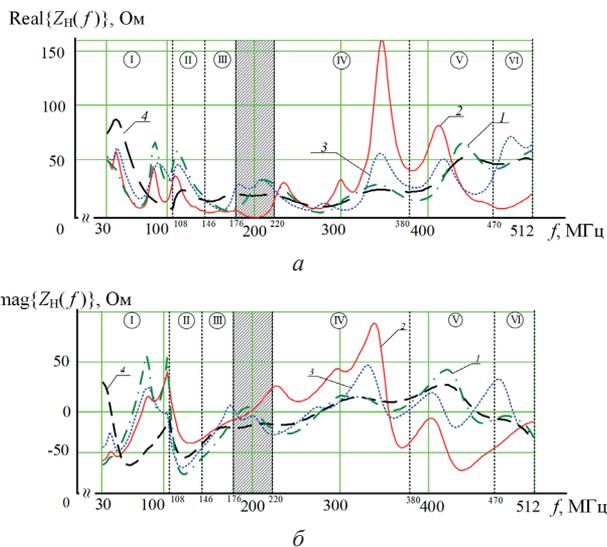


Рисунок 1 – Зависимость изменения активной (а) и реактивной (б) частей импеданса антенны AD-25/CW-3512 в рабочей полосе частот: 1 – в экранизированной безэховой камере; 2 – в помещении; 3 – в лесном массиве; 4 – в непосредственной близости к технике

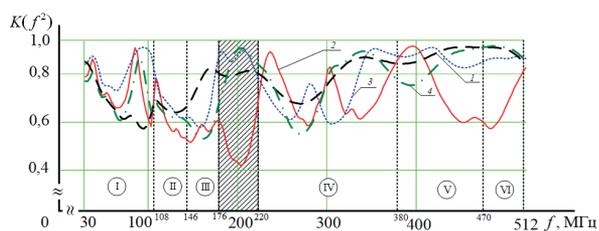


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента передачи по мощности антенны AD-25/CW-3512: 1 – в экранизированной безэховой камере; 2 – в помещении; 3 – в лесном массиве; 4 – в непосредственной близости к технике

потенциальные возможности которой можно оценить с помощью дальности радиолинии [6, с. 215].

В связи с тем, что работа посвящена уменьшению потерь передаваемой энергии полезного сигнала, расчет дальности радиолинии осуществлялся при условии, что все параметры радиостанции остаются неизменными, за исключением мощности передачи полезного сигнала от ПП-У к АУ. Изменение передачи мощности (см. рисунок 2) приводит к уменьшению дальности радиолинии на 15,8 – 22,2 %, что может привести к потере связи между подразделениями в ходе ведения боевых действий [2]. Полученные результаты подтверждают актуальность поставленной задачи. Для ее решения синтезируем согласующее устройство адаптивное к вариациям импеданса, показанным на рисунке 1.

Согласующее устройство, адаптивное к изменению импеданса нагрузки

Под адаптивным устройством согласования комплексной нагрузки с радиотехническим устройством понимают систему с отрицательной обратной связью (рисунок 3), анализирующую качество согласования и подстраивающую свои элементы в сторону улучшения согласования по заданному критерию [4; 7, с. 215].

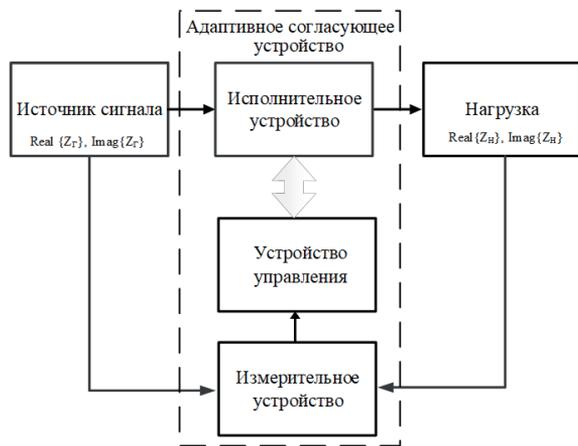


Рисунок 3 – Структурная схема адаптивного согласующего устройства

Адаптивное устройство согласования (см. рисунок 3) включает в себя измерительное устройство, предназначенное для измерения входных (выходных) параметров нагрузки (импедансные характеристики); управляющее устройство, преобразующее по определенному алгоритму информацию с измерительного устройства и формирующее команды исполнительному устройству; исполнительное устройство, предназначенное для изменения величин элементов согласующей цепи по команде управляющего устройства [8].

Из [5, с. 138] следует, что для синтеза адаптивной системы необходимо выбрать критерии оптимальности на основании заданных технических требований к качеству работы системы. Так как основным предназначением системы является обеспечение требуемого уровня передачи мощности при наличии изменяющегося импеданса нагрузки, то необходимо определить оптимальное значение параметров широкополосного согласующего устройства (ШСУ), при котором суммарная среднеквадратичная ошибка уровня КПМ по отношению к требуемому значению будет минимальна [5, с. 136], т. е.

$$\int_{f_n}^{f_b} [K(f)_{\text{треб}} - K(f, Z_n, Z_{\text{сц}})]^2 df \rightarrow \min, \quad (1)$$

где f_n, f_b – верхняя и нижняя частота рабочего диапазона;
 $K(f)_{\text{треб}}$ – требуемый уровень передачи мощности в нагрузку;

$K(f, Z_n, Z_{\text{сц}}) = 1 - |S_{\text{ин}}(f, Z_n, Z_{\text{сц}})|^2$ – функция КПМ;

$S_{\text{ин}}(f, Z_n, Z_{\text{сц}}) = \frac{Z_n(f) - Z_{\text{сц}}(-f)}{Z_n(f) + Z_{\text{сц}}(f)}$ – функция коэф-

фициента отражения;

$Z_n(f)$ – комплексное сопротивление нагрузки;

$Z_{\text{сц}}(f)$ – комплексное сопротивление согласующего устройства.

В [3] было установлено, что для обеспечения требуемого уровня передачи мощности при наличии изменяющегося импеданса нагрузки необходимо, чтобы синтезируемое СУ обладало свойством минимальной чувствительности [9, с. 51] функции коэффициента отражения к изменению параметров нагрузки. Следует отметить, что кроме изменения импеданса нагрузки необходимо еще и рассматривать влияние отклонения параметров ШСУ от заданного значения [12]. Это обусловлено тем, что для проектирования СУ применяются схемные элементы, номиналы которых в процессе экс-

плуатации могут изменяться [10, с. 146, 147]. Исходя из того, что функция импеданса нагрузки подчиняется нормальному закону распределения (в силу «Центральной предельной теоремы» [11]), дисперсию относительного изменения модуля функции коэффициента отражения можно определить с помощью выражения

$$\sigma_k(f)^2 = |S_{z_n}^{S_{\text{ин}}}(f)|^2 \sigma_{z_n}^2 + \sum_{i=0}^{N_c} |S_{c_i}^{S_{\text{ин}}}(f)|^2 \sigma_{c_i}^2 + \sum_{i=0}^{N_L} |S_{L_i}^{S_{\text{ин}}}(f)|^2 \sigma_{L_i}^2, \quad (2)$$

где $\sigma_{z_n}^2 = (\sigma^2 \{ \text{Real}[\Delta Z_{\text{нзм}}] \} + \sigma^2 \{ \text{Real}\{Z_n(f_i)\} \}) + j(\sigma^2 \{ \text{Imag}[\Delta Z_{\text{нзм}}] \} + \sigma^2 \{ \text{Imag}\{Z_n(f_i)\} \})$ – дисперсия реальной и мнимой составляющих функции сопротивления нагрузки с учетом погрешности измерителя ($\sigma^2 \{ \text{Real}[\Delta Z_{\text{нзм}}] \}, \sigma^2 \{ \text{Imag}[\Delta Z_{\text{нзм}}] \}$);

$S_{c_i}^{S_{\text{ин}}}(f), S_{L_i}^{S_{\text{ин}}}(f)$ – чувствительность модуля функции коэффициента отражения к изменению индуктивности, емкости согласующей цепи;

$\sigma_{c_i}, \sigma_{L_i}$ – среднеквадратичное отклонение импеданса номиналов элементов согласующей цепи (E24 {±5 %}, E48 {±2 %} и т. д.).

Для того, чтобы обеспечить наименьшее влияние изменения импеданса нагрузки и элементов согласующей цепи необходимо, чтобы выражение (2) было минимизировано, ограничиваясь при этом номиналами элементов цепи, находящихся в магазине элементов исполнительного устройства. Таким образом, в качестве критерия оптимальности может быть использовано следующее выражение [12]:

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ K(f)_{\text{треб}} - [K(f^2) - \sigma_k(f)] \right\}^2 \leq \varepsilon, f_n \leq f \leq f_b; \\ & \sigma_k(f)^2 \rightarrow \min f_n \leq f \leq f_b; \\ & C_{\min} \leq C_i \leq C_{\max}; \\ & L_{\min} \leq L_i \leq L_{\max}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где C_{\min}, C_{\max} – диапазон изменения элементов емкости конденсаторов;

L_{\min}, L_{\max} – диапазон изменения индуктивности дроселей.

В качестве задаваемых параметров используется допустимое отклонение уровня КПМ ε от требуемого значения.

Применение выражения (3) в качестве целевой функции позволяет уменьшить степень влияния изменения импеданса нагрузки и номиналов элементов СУ, в результате чего повышается эффективность работы радиотехнических устройств в различных условиях эксплуатации. В дополнение к этому учет отклонения импеданса нагрузки позволит находить параметры СУ, обеспечивающие меньшее количество переключений (коммутаций) магазина элементов, что увеличит время наработки на отказ согласуемого радиотехнического устройства. Структура адаптивного согласующего устройства (исполнительного устройства) может быть найдена с помощью методики синтеза, представленной в [3].

Так как диапазон изменения импеданса нагрузки не всегда значительный при нахождении радиостанции Р-181 в различных условиях эксплуатации, то не всегда есть необходимость в применении адаптивного ШСУ. Таким образом, на основании полученных результатов и результатов, представленных в [2, 3, 12–14], была разработана методика автоматизированного синтеза ШСУ с перестраиваемыми и неперестраиваемыми параметрами, обобщенный алгоритм работы которой показан на рисунке 4.

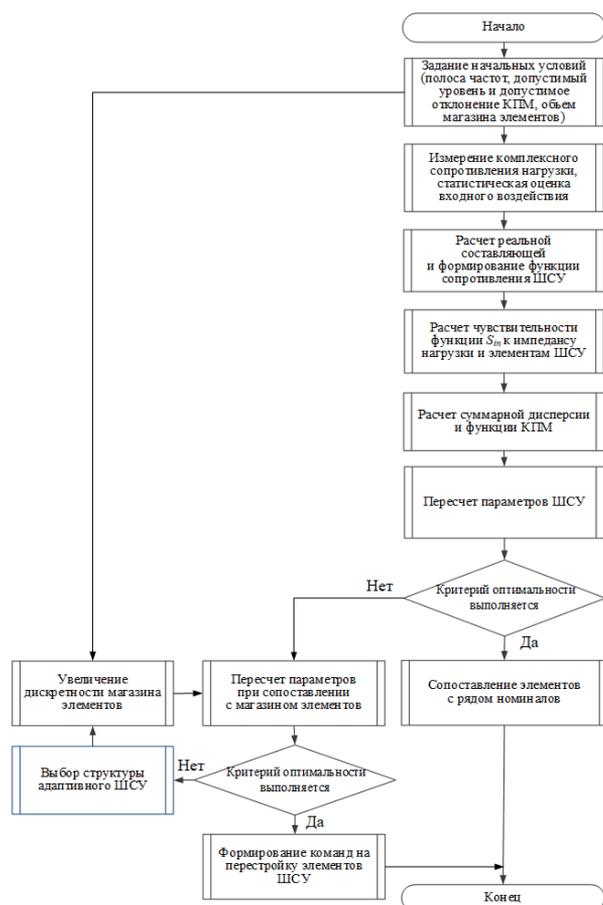


Рисунок 4 – Обобщенный алгоритм автоматизированного синтеза ШСУ с перестраиваемыми и неперестраиваемыми параметрами

Результатом работы разработанной автоматизированной методики является ШСУ с перестраиваемыми и неперестраиваемыми параметрами (адаптивное ШСУ), обеспечивающее выполнение критерия оптимальности (3), ограничиваясь при этом допустимым магазином элементов.

Достоинство автоматизированной методики заключается в предварительном расчете параметров ШСУ, значение которых обеспечивает требуемый уровень передачи мощности в различных условиях эксплуатации радиотехнических устройств и не осуществляет поиск значения параметров методом перебора. Еще одно немаловажное достоинство адаптивного устройства согласования, синтезированного с использованием предложенной методологии, — способность системы согласовывать нагрузку с радиотехническим устройством не во всей полосе частот, а только в той, где станция работает в текущий момент времени. Это позволяет уменьшить полосу согласования и применять ШСУ более эффективно.

Для автоматизации процесса синтеза ШСУ был разработан специализированный экспериментальный комплекс расчета и контроля функционирования согласующих устройств в РТС, состоящий из измерительного устройства, устройства управления (программно-имитационная модель) и средства индикации (рисунок 5).

Экспериментальный комплекс позволяет контролировать изменения уровня передачи мощности между трактами РТС, вызванные разбросом значений номиналов элементов цепи и вариаций импеданса нагрузки, а также рассчитывать параметры СУ по заданному кри-



Рисунок 5 – Специализированный экспериментальный комплекс расчета и контроля функционирования согласующих устройств в РТС

терию, что обеспечивает устойчивую работу РТС в условиях изменяющегося импеданса нагрузки.

Синтез согласующего устройства для антенны AD-25/CW-3512 радиостанции P-181-5НУ адаптивного к изменяющемуся импедансу нагрузки

На основании поставленной задачи с помощью методики автоматизированного синтеза было разработано адаптивное ШСУ для АУ радиостанции P-181. К ШСУ предъявлялись следующие требования: $K(f) \geq 0,8$; $\varepsilon = 0,025$; $3,5 \leq C_i \leq 300$ нФ; $3,5 \leq L_i \leq 300$ нГн (ограничения по размеру магазина элементов).

Так как магазин элементов невелик, было принято решение в выборе исходной структуры ШСУ, обладающей большей вариативностью и эффективностью по трансформации активного сопротивления и компенсации реактивного сопротивления. Таким образом, электрическая схема исполнительного устройства адаптивного ШСУ, состоящая из шести реактивных элементов, представлена на рисунке 6.

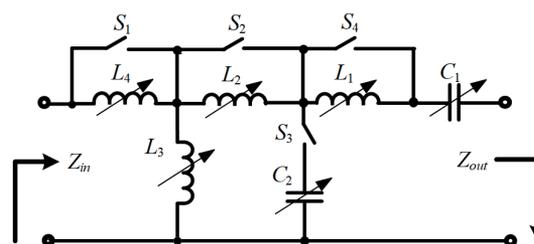


Рисунок 6 – Электрическая схема исполнительного устройства адаптивного ШСУ

Следует отметить простоту и вариативность (наличие ключей в исполнительном устройстве) структуры ШСУ. При этом предложена цепь шестого порядка, что упрощает вычислительные затраты на расчеты параметров ШСУ. Параметры исполнительного устройства, значения которых приведены под ряд номиналов E24 для рабочих диапазонов частот радиостанции P-181-5НУ, представлены в таблице 1.

Следует отметить, что с IV по VI диапазоны работы АУ радиостанции P-181-5НУ добиться требуемых характеристик одной реализацией согласующей цепи невозможно. По этой причине в данных диапазонах ШСУ преобразуется в перестраиваемое и выполняет функции адаптивного ШСУ, адаптация которого осуществляется перестройкой структуры и параметров цепей согласо-

вания, что обеспечивает требуемый уровень КГМ от источника в нагрузку в данных диапазонах частот. Таким образом происходит адаптация не только к изменению работы РТС по диапазонам частот, но и к внешним возмущающим воздействиям.

Принципиальная схема, представленная на рисунке 6, может быть выполнена на реактивных элементах, реле или рpn-диодах в SMD исполнении. Устройство управления может быть реализовано на ПЛИС или микроконтроллере, а измерительное устройство – в виде радиочастотного измерительного моста (микропроцессора). В качестве примера на рисунке 7 представлена 3D-модель возможного варианта исполнения разработанного адаптивного СУ размерами 52,5×42,5×2 мм³, реализованная в среде моделирования радиотехнических устройств CST Studio [15].

В виде реактивных элементов используются SMD элементы 0805 серии, в виде измерительного устройства и устройства управления – микропроцессор в корпусе QFP, а в виде коммутирующих устройств – аналоговые мультиплексоры в корпусе PDIP.

На рисунке 8 представлен внешний вид разработанной ШСУ совместно с радиостанцией P-181-5НУ, где функции устройства управления выполняет ПЭВМ.

Моделирование характеристик синтезированного ШСУ проводилось в AWR Microwave Studio 14 [16]. Результаты моделирования представлены на рисунке 9 в виде зависимости КГМ для различных условий обстановки. Прерывистыми линиями показаны КГМ АУ без синтезированного ШСУ, а сплошными линиями – с синтезированным ШСУ.

Особое внимание следует уделить диапазонам частот с IV по VI (рисунок 9). Более детально рассмотрим поддиапазон IV (рисунок 10, а) и поддиапазоны V, VI (рисунок 10, б). Анализируя зависимости на рисунках 9 и 10, можно сделать вывод, что синтезированное адаптивное ШСУ обеспечивает более высокий уровень передачи мощности при работе радиостанции в широком спектре естественных условий эксплуатации относительно штатного устройства согласования антенны. Так, при расположении АУ радиостанции в помещении (наихудший случай [17, с. 36–38]) потери уровня КГМ составляют 39,7 % (в III диапазоне без ШСУ) от максимального значения (19,7 % в дальности радиолинии [6, с. 215]),

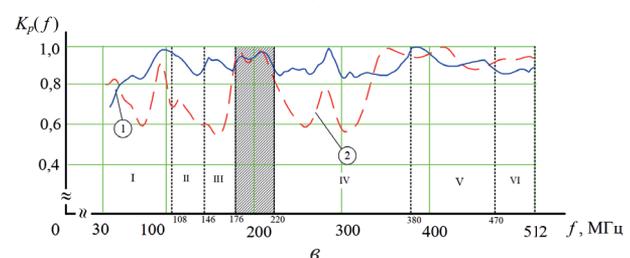
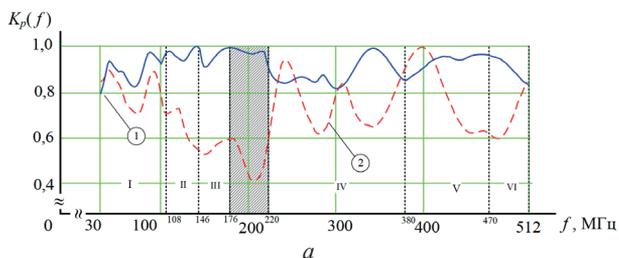


Рисунок 9 – Зависимость КГМ от частоты АУ AD-25/CW-3512:

а – в помещении; б – в непосредственной близости к технике; в – в лесном массиве;
1 – с применением адаптивного устройства; 2 – без применения адаптивного устройства

Таблица 1 – Параметры исполнительного устройства адаптивного ШСУ

Элементы	Диапазоны частот, МГц					
	I (30–108)	II (108–146)	III (146–174)	IV (220–380)	V (380–470)	VI (470–512)
C_1 , нФ	200	200	62	9,6–270	9,5–95	6–15,6
L_1 , нГн	18,6	66	4	0–9	–	0–3,5
L_2 , нГн	26,2	–	–	–	0–7,5	–
L_3 , нГн	300	35	52	0–24	120–130	29–65
L_4 , нГн	11,3	–	3	0–14,2	0–2,5	7–28
C_2 , нФ	32	10	0	3,5–11,7	–	–

« – » – элемент равен нулю и исключается из согласующей цепи

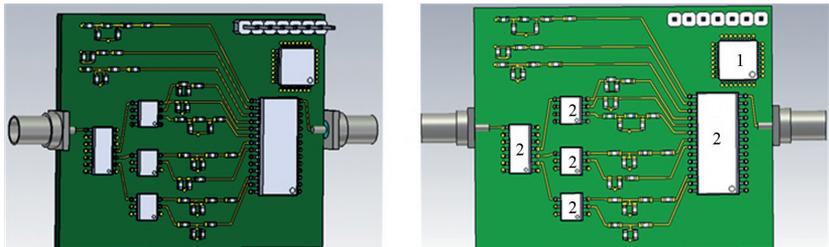


Рисунок 7 – Пример 3D-модели разработанного адаптивного согласующего устройства:

1 – микропроцессор; 2 – аналоговый мультиплексор

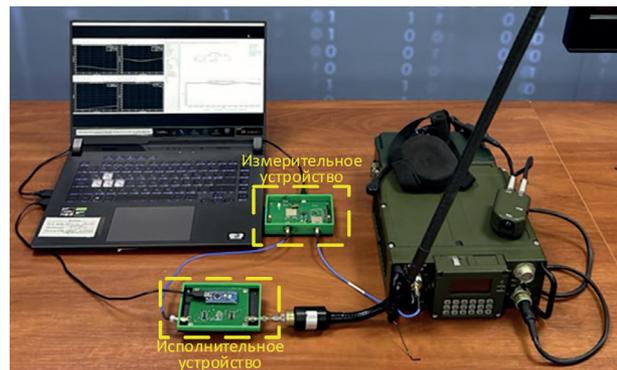


Рисунок 8 – Внешний вид синтезированного ШСУ совместно с радиостанцией P-181-5НУ

а при использовании ШСУ – 8,6 % (4,4 % в дальности радиолинии). Следует отметить, что применение ШСУ в режиме адаптации обеспечивает уровень КПМ $\geq 0,8$ в диапазонах с IV по VI по сравнению со штатной антенной ($0,58 \leq \text{КПМ} \leq 1$).

В таблице 2 представлены усредненные значения потерь в уровне передачи мощности $\Delta K(f^2)$ и в дальности радиолинии ΔR_{\max} для различных диапазонов частот.

Таким образом, использование синтезированного адаптивного ШСУ уменьшает потери уровня КПМ от ПП-У к антенне AD-25/CW-3512 на 5–26 % с I по III диапазон частот и на 3–9 % с IV по VI диапазон в режиме адаптации в различных условиях эксплуатации. Это обеспечивает усредненный выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии [6, с. 215] для радиостанции P-181-5НУ от 2 % до 15 % (что составляет 250–2300 м при потенциально достижимой дальности радиолинии 15000 м [18]) в рамках полученных экспериментальных исследований, что делает работу радиостанции P-181-5НУ более устойчивой и эффективной в широком спектре естественных условий ее эксплуатации.

Заключение

Для решения проблемы, представленной в статье, была применена методология, позволяющая синтезировать адаптивное к внешним возмущающим воздействиям ШСУ, обеспечивающее оптимизацию по заданному критерию уровня передачи мощности в различных условиях эксплуатации за счет уменьшения дисперсии модуля функции коэффициента отражения. Синтезированное адаптивное ШСУ для АУ радиостанции P-181-5НУ обеспечило сохранение потенциально достижимой дальности радиолинии до 15 %, что соответствует 2300 м в рамках представленных экспериментальных исследований.

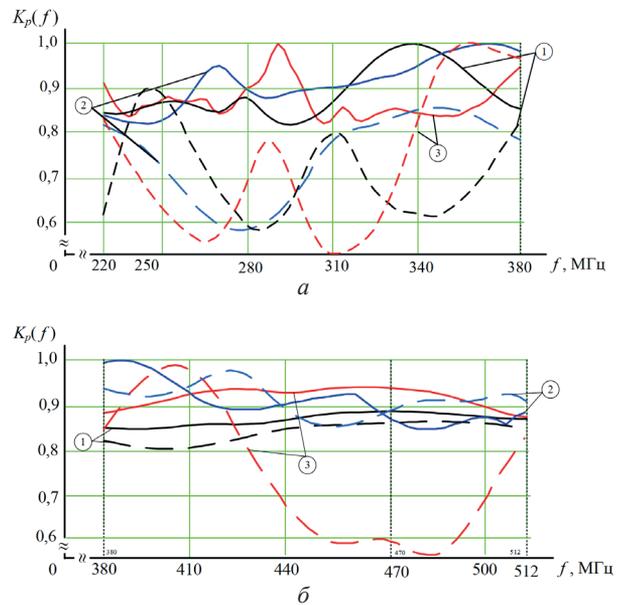


Рисунок 10 – Зависимость КПМ от частоты АУ AD-25/CW-3512:

1 – в помещении; 2 – в непосредственной близости к технике; 3 – в лесном массиве

Таблица 2 – Потери уровня передачи мощности и дальности радиолинии				
Диапазоны частот	Условия эксплуатации			
	Со штатным ШСУ		С адаптивным ШСУ	
	$\Delta K(f^2)$	ΔR_{\max}	$\Delta K(f^2)$	ΔR_{\max}
Без режима адаптации				
I (30–108 МГц)	21,3 %	11,3 %	16,4 %	8,6 %
II (108–146 МГц)	31,4 %	17,2 %	9,6 %	4,9 %
III (146–174 МГц)	36,3 %	20,2 %	9,8 %	5,0 %
С режимом адаптации				
IV (220–380 МГц)	19,0 %	10,0 %	9,8 %	4,1 %
V (380–470 МГц)	11,3 %	5,8 %	8,1 %	4,1 %
VI (470–512 МГц)	12,2 %	6,3 %	7,8 %	4,0 %

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дик, А. М. Радиостанции малой и средней мощности / А. М. Дик, А. В. Кашкаров, А. В. Макатерчик. – Минск : БГУИР, 2014. – 107 с.
2. Бойкачев, П. В. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазонов / П. В. Бойкачев, И. А. Дубовик, В. О. Исаев // «Вестник» ВАРБ. – 2019. – № 2 (63). – С. 32–40.
3. Дубовик, И. А. Согласующая цепь для широкополосного антенного устройства радиостанции P-180 на основе инварианта чувствительности функции коэффициента отражения / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев // Сборник научных трудов НИИ ВС. – 2020. – № 2 (10). – С. 111–120.
4. Руководство по эксплуатации радиостанции P-181-5НУ КЛСИ.464429.003-01 РЭ.
5. Datasheet AD-25/CW-3512 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/AD-25-CW-3512%20ANG.pdf>. – Дата доступа: 20.02.2024.
6. Гришин, В. П. Радиотехнические системы / В. И. Гришин, Ю. М. Ипатов, Ю. М. Казаринов [и др.]. – М. : Высш. шк. 1990. – 496 с.
7. Полушин, П. А. Адаптация цепей согласования импеданса высокочастотных нагрузок / П. А. Полушин, А. Г. Самойлов, С. А. Самойлов // Аэрокосмические приборные технологии: симпозиум с международным участием. – Москва, 1999. – С. 34–35.
8. Коновалов, Г. Ф. Радиоавтоматика / Г. Ф. Коновалов. – М. : Высш. шк., 1990. – 335 с.
9. Теория чувствительности и допусков электронных цепей / К. Гехер; ред. Ю. Л. Хотунцева. – М. : Сов. Радио, 1973. – 250 с.
10. Филановский, И. М. Схемы с преобразователем сопротивления / И. М. Филановский, А. Ю. Персианов, В. К. Рыбин. – Ленинград : Энергия, 1973. – 180 с.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королук и др. – М. : Наука, 1985. – 640 с.
12. Адаптивное согласование широкополосных радиотехнических устройств к изменяющемуся импедансу нагрузки / И. А. Дубовик [и др.] // Междунар. науч. конф. по воен.-техн. проблемам, проблемам обороны и безопасности, использования технологий двойного применения: сб. науч. статей 8-й Междунар. науч. конф., Минск, 16–17 мая 2017 г. – Минск, 2019. – С. 50–53.
13. Дубовик, И. А. Методы синтеза согласующих цепей для широкополосных радиотехнических устройств с нестабильным импедансом нагрузки / И. А. Дубовик [и др.] // Доклады БГУИР. – 2021. – № 19 (1). – С. 61–69.
14. Дубовик, И. А. Комплексный критерий синтеза широкополосных согласующих устройств на основе инварианта чувствительности / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев // Информационные радиосистемы и радиотехнологии. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 41–44.
15. Курушин, А. А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio / А. А. Курушин, А. Н. Пластикова. – М. : Издательство МЭИ, 2011. – 155 с.
16. Руководство по MWO: NI AWR Design Environment v14 Edition. El Segundo, CA – 2018. – 748 с.
17. Ланнэ, А. А. Оптимальный синтез линейных электрических цепей / А. А. Ланнэ. – М. : Связь, 1969. – 294 с.
18. Техника связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://t-c.by/wp-content/uploads/2019/10/Katalog-TVN.pdf>. – Дата доступа: 17.03.2024.

REFERENCES

1. Dik A.M., Kashkarov A.V., Makaterchik A.V. Radiostantsii maloy i sredney moshchnosti [Low and medium power radio station]. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 107 p. (in Russian).
2. Boykachev P.V., Dubovik I.A., Isaev V.O. Rezul'taty issledovaniya vliyaniya usloviy ekspluatatsii na impedans antenykh ustroystv radiostantsiy OVCH/UVCH diapazonov [Results of a study of the influence of operating conditions on the impedance of antenna devices of VHF/UHF radio stations]. // «Vestnik» Voennoy akademii Respubliki Belarus' = "Bulletin" of the Military Academy of the Republic of Belarus, 2019, no. 2(63), pp.32-40 (in Russian).
3. Dubovik I.A., Boykachev P.V. Soglasuyushchaya tsep' dlya shirokopolosnogo antennogo ustroystva radiostantsii R-180 na osnove invarianta chuvstvitel'nosti funktsii koeffitsiyenta otrazheniya [Matching circuit for the broadband antenna device of the R-180 radio station based on the sensitivity invariant of the reflection coefficient function]. Sbornik nauchnykh trudov NII VS = Collection of scientific works of the Research Institute of Armed Forces, 2020, no. 2(10), pp. 111-120 (in Russian).
4. Rukovodstvo po ekspluatatsii radiostantsii R-181-5NU (Operating manual for radio station R-181-5NU) KLSI.464429.003-01 RE (in Russian).
5. Datasheet AD-25/CW-3512 (Communication technology) Available at: <https://www.trival-antennas-masts.com/sites/default/files/brochures/AD-25-CW-3512%20ANG.pdf> (accessed 20 February 2024).
6. Grishin V.P., Ipatov Yu. M., Kazarinov Yu. M. Radiotekhnicheskiye sistemy [Radio systems]. Moscow, 1990, 496 p. (in Russian).
7. Polushin P.A., Samoilov A.G., Samoilov S.A. Adaptatsiya tsepey soglasovaniya impedansa vysokochastotnykh nagruzok [Adaptation of impedance matching circuits for high-frequency loads]. Simpozium s mezhdunarodnym uchastiyem Aerokosmicheskiye pribornyye tekhnologii [Symposium with international participation Aerospace instrument technologies]. Moscow, 1999, pp. 34-35. (in Russian).
8. Kononov G.F. Radioavtomatika [Radio automation]. Moscow, Vysshaya shkola, 1990, 335 p. (in Russian).
9. Geher K. Teoriya chuvstvitel'nosti i dopuskov elektronnykh tsepey [Theory of sensitivity and tolerances of electronic circuits]. Moscow Soviet Radio, 1973, 200 p. (in Russian).
10. Filanovsky I.M., Persianov A.Yu., Rybin V.K. Skhemy s preobrazovatelem soprotivleniya [Circuits with resistance converter]. Leningrad, Energy, 1973, 192 p. (in Russian).
11. Korolyuk V.S. Spravochnik po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [Handbook of Probability Theory and Mathematical Statistics]. Moscow, Science, 1985, 640 p. (in Russian).
12. Dubovik I.A., Boykachev P.V., Isaev V.O., Yantsevich M.A. Adaptivnoye soglasovaniye shirokopolosnykh radiotekhnicheskikh ustroystv k izmenyayushchemusya impedansu nagruzki [Adaptive matching of broadband radio devices to changing load impedance]. Po voyenno-tekhnicheskim problemam, problemam oborony i bezopasnosti, ispol'zovaniya tekhnologii dvoynogo primeneniya. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya. Minsk, 2019, pp. 50-53 (in Russian).
13. Dubovik I.A., Boykachev P.V., Isaev V.O., Dmitrenko A.A. Metody sinteza soglasuyushchikh tsepey dlya shirokopolosnykh radiotekhnicheskikh ustroystv c nestabil'nym impedansom nagruzki [Methods for synthesizing matching circuits for broadband radio devices with unstable load impedance]. // Doklady BGUIR = BSUIR reports, 2021, no. 1(19), pp. 61-96. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2021-19-1-61-69>.
14. Dubovik I.A., Boykachev P.V., Isaev V.O. Kompleksnyy kriteriy sinteza shirokopolosnykh soglasuyushchikh ustroystv na osnove invarianta chuvstvitel'nosti [A complex criterion for the synthesis of broadband matching devices based on the sensitivity invariant]. Informatsionnyye radiosistemy i radiotekhnologii 2020. Materialy konferentsii. Minsk, 2020, pp. 41-44 (in Russian).
15. Kurushin A.A., Plasticov A.N. Proyektirovaniye SVCH ustroystv v srede CST Microwave Studio [Design of microwave devices in the CST Microwave Studio environment]. Moscow, Publishing House MPEI, 2011, 155 p. (in Russian).
16. NI AWR Design Environment v14 Edition. EL Segundo, CA, 2018, 748 p.
17. Lanne A. A. Optimal'nyy sintez lineynykh elektricheskikh tsepey [Optimal synthesis of linear electrical circuits]. Moscow, Connection, 1969, 294 p. (in Russian).
18. Tekhnika svyaziy (Communication technology), available at: <https://t-c.by/wp-content/uploads/2019/10/Katalog-TVN.pdf> (accessed 17 March 2024) (in Russian).

*Статья поступила в редакцию
19.03.2024*

МОДЕЛЬ КОМПЕТЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

MODEL OF COMPETENT-ORIENTED SYSTEM FOR AIR TRAFFIC CONTROL PROFESSIONAL TRAINING

Скрыпник Олег Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации движения и обеспечения безопасности на воздушном транспорте учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
skripnikon@yandex.ru

Мацкевич Анна Михайловна – заведующий кафедрой языковой подготовки учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
krukovich.am@gmail.com

Oleg Skrypnik – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Traffic Management and Safety in Air Transport of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
skripnikon@yandex.ru

Anna Matskevich – Head of the Language Training Department of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
krukovich.am@gmail.com

Аннотация: статья посвящена обоснованию компетентно-ориентированной модели системы профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения. Приведены данные, характеризующие влияние системы профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения на безопасность полетов. Проведен анализ систем профессиональной подготовки авиационных специалистов в международных авиационных организациях. Предложена структурно-логическая модель системы подготовки специалистов по организации воздушного движения, характеризующаяся актуализированной профессиональной мотивацией и ориентированная на использование цифровых образовательных ресурсов и сервисов, включая систему поддержки принятия решений.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, специалист по организации воздушного движения, безопасность полетов, автоматизированное обучение, компетентностный подход.

Abstract: the article is devoted to the substantiation of the competent-oriented system model for air traffic control specialists professional training. Presenting data characterize the influence of the air traffic control specialists professional training system on flight safety. The analysis of aviation specialists professional training systems in international aviation organizations is carried out. The authors propose the structural and logical model of air traffic control specialists professional training characterized by actualized professional motivation and focused on the use of digital educational resources and services including decision support system.

Keywords: professional training, air traffic control specialists, flight safety, automated training, competency-based approach.

Введение

Гражданская авиация является элементом транспортной системы, все виды деятельности которой осуществляются в строгом соответствии с положениями Стандартов и рекомендованной практики ИКАО, нормативных документов EUROCONTROL и других, регламентирующих в том числе деятельность в области подготовки авиационного персонала.

Общие требования к организации и содержанию процесса подготовки авиационного персонала, к которому относятся также специалисты по организации воздушного движения (ОрВД), изложены в нормативных документах национального уровня, в частности, в Воздушном кодексе Республики Беларусь (ст. 37, 38).

Профессиональная подготовка специалистов по организации воздушного движения ведется в соответствии с Постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 02.11.2010 № 70 «Об утверждении авиационных правил «Профессиональная подготовка авиационного персонала по организации воздушного движения» (в редакции Постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 27.05.2011 № 34) [1].

Процесс профессиональной подготовки специалистов по ОрВД строится с учетом документов, ориентирующих на инновационное развитие транспортного комплекса и системы профессионального образования Беларуси. Ключевой задачей государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021 – 2025

годы является «создание благоприятных условий для обеспечения и сопровождения процессов цифрового развития» и «обеспечение доступности образования, основанного на применении современных информационных технологий как для повышения качества образовательного процесса, так и для подготовки граждан к жизни и работе в условиях цифровой экономики» [2]. К приоритетным задачам государственной программы «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы (от 23 марта 2021 г. № 165) подпрограммы 4 «Гражданская авиация» относится «модернизация системы подготовки кадров, ее инновационное обновление в части разработки новых учебных программ, приведения их в соответствие с международными стандартами и развитие научных исследований в интересах отрасли» [3].

Роль и место системы профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения в обеспечении безопасности полетов

Международная гражданская авиация развивается в рамках концепции блочной модернизации авиационной системы (ASBU), что сопровождается значительными изменениями в принципах использования воздушного пространства, организации воздушного движения, внедрении новых, более эффективных технологий управления производственными процессами. Возникает объективная необходимость освоения авиационным персоналом новых, ориентированных на инновационное развитие отрасли, компетенций. Следовательно, перед современной системой профессиональной подготовки авиационных специалистов по ОрВД стоит задача оперативного реагирования на изменяющиеся требования, качественного использования имеющихся ресурсов и внедрения новых эффективных образовательных технологий.

Анализ статистических данных последних десятилетий указывает на очевидную связь безопасности полетов с человеческим фактором (авиационным персоналом), проявляющимся в тех или иных ошибочных действиях, вызванных широким спектром причин, в том числе недостаточным уровнем компетенций (рисунк 1).

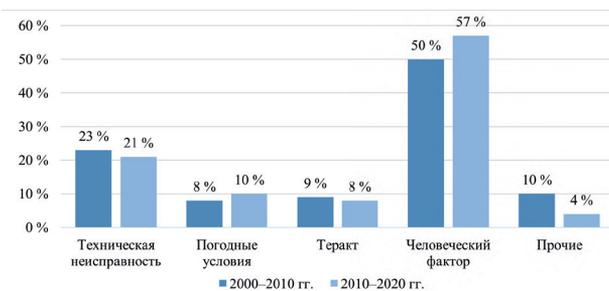


Рисунок 1 – Статистика причин авиакатастроф

Анализ приведенных на рисунке данных показывает, что человеческий фактор является основной причиной авиационных происшествий и инцидентов, и его влияние на обеспечение безопасности полетов имеет тенденцию возрастать [4]. Значительные успехи, достигнутые авиационной промышленностью и эксплуатантами в обеспечении надежности авиационной техники, снизили влияние данного фактора на безопасность

полетов. При этом повышение интенсивности и плотности воздушного движения, усложнение технологий процессов управления им являются драйвером роста ошибок авиационного персонала, в том числе специалистов по ОрВД.

При осуществлении процессов управления воздушным движением в современных условиях особенно важна профессиональная подготовка специалистов по ОрВД, ориентированная на освоение компетенций, причем не только профессиональных [2]. Она выполняет важную функцию повышения безопасности полетов, поскольку позволяет сформировать у специалиста по ОрВД устойчивые и эффективные алгоритмы работы в различных психофизиологических состояниях, а следовательно, способствует предупреждению авиационных происшествий и инцидентов [3].

Совершение ошибок свойственно всем людям, в том числе и при выполнении профессиональных функций. Ошибочные действия могут происходить по абсолютно разным причинам. Как правило, ошибки появляются непреднамеренно, в силу сложившихся факторов, которые могут быть вызваны физическим или психологическим состоянием, а также отсутствием информации о возникновении определенного рода конфликтной ситуации. В большей степени эта проблема проявляется в экстремальных ситуациях, в условиях отсутствия необходимого количества времени на принятие решения либо недостаточного уровня профессиональной подготовки [4].

В период первоначального освоения основных образовательных программ профессионального образования у каждого обучающегося должен быть выработан необходимый набор качеств по выбранной специальности – компетенций, что позволит ему выполнять должностные обязанности по предназначению в соответствии с квалификационными требованиями. При этом становится актуальной задача контроля уровня сформированности компетенций и управления процессом их формирования на основе соответствующих измерений и их обработки с использованием современных цифровых образовательных сервисов и ресурсов.

Дальнейшая профессиональная деятельность и приобретаемый при этом практический опыт должны способствовать укреплению и развитию сформированных компетенций.

Если рассматривать появление ошибок у специалистов, имеющих большой опыт, то оно сводится к потере выработанных алгоритмов работы. Это явление связано с особенностями человеческой памяти. Поэтому специалист по ОрВД, как и любой авиационный специалист, должен постоянно поддерживать и совершенствовать достигнутый уровень компетенций в своей профессиональной сфере деятельности.

Зависимость уровня безопасности воздушного движения от стажа работы специалиста по ОрВД можно просчитать согласно методике, изложенной в Руководстве по обучению в области человеческого фактора (Doc 9683-AN/950/ИКАО. 1998):

$$K_k = \frac{S}{N} \cdot \frac{n_c}{s_c},$$

где K_k – коэффициент безопасности воздушного движения;

S – количество персонала по ОрВД;

Обоснование облика компетентностно-ориентированной модели профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения

N — количество нарушений, допущенных персоналом по ОрВД;

n_c — количество нарушений, допущенных специалистами с определенным стажем работы;

s_c — количество специалистов с определенным стажем работы (менее 3 лет, от 3 до 5, от 5 до 10 лет, более 10 лет).

Исследования, проводимые В. Е. Борисовым, В. В. Борсоевым, С. М. Степановым, А. И. Степановой [4], показывают, что зависимость уровня безопасности воздушного движения связана с нарушениями, допущенными специалистами с определенным стажем работы.

Стаж работы специалистов по ОрВД менее 3 лет:

$$K_k = \frac{559}{32} \cdot \frac{3}{53} = 0,98.$$

Стаж работы специалистов по ОрВД от 3 до 5 лет:

$$K_k = \frac{559}{32} \cdot \frac{1}{34} = 0,5.$$

Стаж работы специалистов по ОрВД от 5 до 10 лет:

$$K_k = \frac{559}{32} \cdot \frac{2}{71} = 0,5.$$

Стаж работы специалистов по ОрВД более 10 лет:

$$K_k = \frac{559}{32} \cdot \frac{22}{401} = 0,96.$$

Проведенные расчеты показывают, что больше всего нарушений приходится на специалистов, проработавших менее 3 лет, и специалистов, проработавших более 10 лет (рисунок 2).

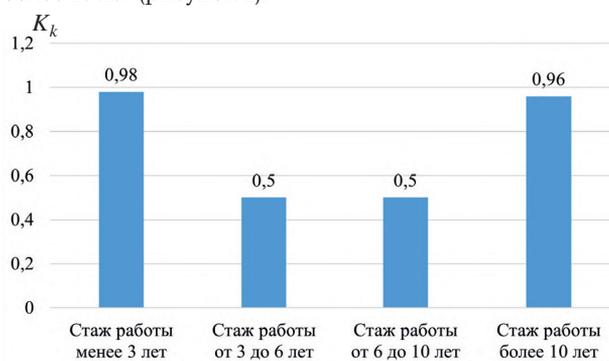


Рисунок 2 — Коэффициент безопасности воздушного движения в соответствии со стажем работы специалистов по ОрВД

По мнению В. Е. Борисова [4], специалисты со стажем работы более 10 лет имеют огромный опыт в разрешении той или иной конфликтной или проблемной ситуации, возникающей при управлении воздушным движением, но вместе с тем, происходит потеря таких качеств, как внимательность, восприимчивость к изменениям в структуре воздушного пространства, документах, регламентирующих выполнение должностных функций, автоматизированных операций.

Специалист по ОрВД, который привык работать по определенному алгоритму, менее приспособлен к инновационным изменениям в аэронавигационной системе: изменению функциональных возможностей оборудования на рабочем месте, объемов и форм представления информации о воздушной обстановке; норм эшелонирования и порядка использования воздушного пространства; правил ведения радиообмена, что, в свою очередь, может сказаться на безопасности полетов.

Многие зарубежные организации гражданской авиации постоянно внедряют новые подходы к подготовке авиационных специалистов. Среди них:

- методология компетентностного обучения Международной организации гражданской авиации (ICAO);
- передовая квалификационная программа Федерального управления гражданской авиации США (FAA);
- альтернативная программа обучения и сертификации Европейского агентства авиационной безопасности (EASA);
- система профессиональной подготовки на основе системы авиационных квалификаций Управления по безопасности в гражданской авиации Австралии (CASA).

В начале 1990-х годов ИКАО создала программу TRAINAIR, которая позволила охватить обучение во всех областях гражданской авиации путем глобального внедрения концепции стандартизированного учебного пакета (STP), подробно описанной в Руководстве по обучению и развитию (TDG), ICAO DOC 9941. В 2012 году программа TRAINAIR трансформировалась в программу TRAINAIR PLUS (TPP), которая расширилась за счет включения более крупного авиационного учебного сообщества, международных организаций и университетов.

Программа TPP усовершенствовала основанную на компетенциях методологию и в настоящее время применяется почти в 80 государствах — членах ICAO, используется более чем в 100 учебных центрах и образовательных организациях. TPP включает в себя виртуальную библиотеку, содержащую около 160 курсов, в том числе учебные пакеты, которые создают карьерные пути, сочетающие профессиональную сертификацию и ученые степени.

На основе адаптации положений, изложенных в ряде документов ICAO и EUROCONTROL, анализа тенденций в подготовке авиационных специалистов (например, материалов регионального симпозиума ICAO и TRAINAIR PLUS относительно подготовки следующего поколения авиационных специалистов (NGAP)) можно выделить следующие основные направления усовершенствования первоначальной подготовки специалистов по ОрВД:

- обеспечение «бесшовности» обучения: объединение типов учебных действий, касающихся теоретических знаний, с типами учебных действий, отнесенных к практической подготовке специалистов по ОрВД;
- совершенствование процесса тренажерной подготовки специалистов по управлению воздушным движением по фразеологии радиообмена;
- оптимизация объемов и сроков подготовки за счет применения интеллектуальных технологий;
- индивидуализация процесса подготовки;
- снижение уровня субъективизма при оценивании компетентности обучающихся;
- обмен информационными ресурсами между учебными организациями и аэрокосмическими университетами в рамках проектов ALICANTO, PEGASUS.

Опыт подготовки специалистов по ОрВД свидетельствует, что есть определенные пробелы в цепи, связывающей теоретическую и практическую части подготовки.

Проанализировав современные исследования в области профессиональной подготовки авиационных специалистов В. А. Борсова, В. Е. Борисова, А. А. Бондаренко, О. Г. Захаровой, Ф. А. Колокольникова, Лю Джонда и других [5–8], авторы пришли к выводу, что оптимальное объединение теории и практики становится все более актуальным, учитывая текущие и перспективные требования к уровню профессиональной компетенции специалистов по ОрВД и необходимости оптимизации затрат (временных и финансовых) организатора профессиональной подготовки.

Включение в программы профессиональной подготовки современных цифровых образовательных сервисов и ресурсов, тренажерной подготовки с использованием процедурных тренажеров, технологий виртуальной и дополненной реальности дает возможность отойти от жесткого разделения обучения на теоретическую и практическую части.

Примерами современных инновационных программ, основанных на цифровых технологиях, являются: Case Study – изучение ситуаций; Computer Web-Based Training – подготовка с применением электронных учебных материалов и Web-технологий (набора технических, коммуникационных и программных методов информационного сопровождения задач подготовки на основе использования сети Internet); Skill Acquisition (SA) – приобретение профессиональных навыков.

Можно указать на такой вид образовательной деятельности, как предтренажерная подготовка, позволяющая слушателю отрабатывать отдельные практические действия, необходимые для выполнения операционных задач. При этом подготовка может осуществляться в искусственной рабочей среде (например, на макете аэродрома). Примеры: Part-Task Practice (PTP) – практика частичного выполнения производственных функций; предтренажерная подготовка, позволяющая в ограниченном или в реальном режиме времени отрабатывать фрагменты операционных задач, например, на РТТ – Part-Task Trainer – тренажер для выполнения частичных заданий.

Современный подход к профессиональной подготовке позволяет создать связывающее звено между теоретическим обучением и практической подготовкой на комплексном диспетчерском тренажере и оптимизировать процесс профессиональной подготовки специалистов по ОрВД.

Особое внимание следует уделить процедуре оценивания уровней сформированных компетенций по результатам прохождения того или иного этапа обучения. Она требует постановки конкретных задач каждого этапа подготовки, определенных количественных критериев оценивания уровня компетенций и четких показателей качества подготовки.

Понятие компетентностного обучения было введено в десятой версии Приложения 1 к Конвенции о международной гражданской авиации «Выдача свидетельств авиационному персоналу. Подготовка персонала» в 2006 г. В 2011 г. был выпущен документ ICAO 9941 «Руководство по разработке обучения. Методология компетентностного обучения» (Training Development Guide. Competency-based Training Methodology), дополняющий документ 9868 обновленной методологией компетентностного обучения и оценивания на основе методики ISD, базирующейся на этапах анализа, проектирования, разработки и оценки.

Зарубежные авиационные организации, авиакомпании, учебные центры на протяжении последних десятилетий успешно внедряют инновационные методы профессиональной подготовки специалистов по ОрВД, основой которой является использование компетентностного подхода. Данный подход позволяет выявить профессиональную проблему, разработать профессиональные стандарты должности, сформировать соответствующие образовательные стандарты и создать высокоэффективные, практикоориентированные образовательные ресурсы, направленные как на теоретическую, так и на практическую подготовку в контексте непрерывного профессионального обучения.

Анализ современных подходов к обучению авиационных специалистов позволил выделить общие конструктивные элементы и принципы построения компетентностно-ориентированной модели профессиональной подготовки (рисунок 3).

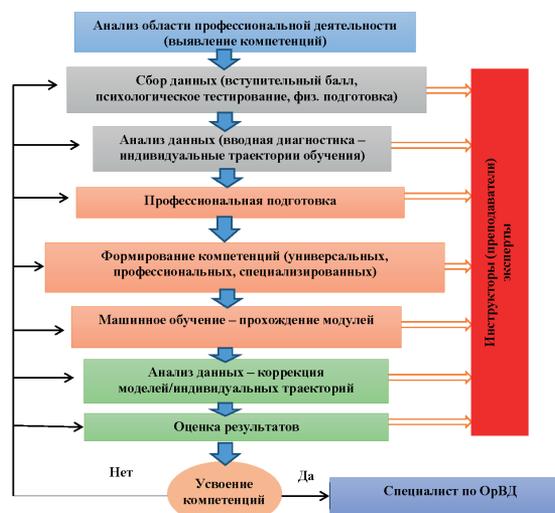


Рисунок 3 – Модель процесса профессиональной подготовки специалиста по ОрВД

Данная модель демонстрирует необходимость адаптации системы к индивидуальным траекториям обучения, что может быть обеспечено путем разработки автоматизированного ресурса (электронной обучающей программы) с использованием системы поддержки принятия решений для выработки управляющих воздействий на обучаемого.

Первым шагом в модели профессиональной подготовки авиадиспетчера является определение необходимых компетенций, которыми должен обладать специалист в данной области. Это поможет определить основные модули обучения.

Следующий этап – это разработка модулей обучения, которые будут включены в программу подготовки авиадиспетчеров. Каждый модуль должен содержать необходимую информацию, практические задания и тестовый материал для оценки знаний.

Программа должна иметь интуитивно понятный интерфейс и базу упражнений, конструктивно разрабатываться по модульному принципу с возможностью изменения материала и наращивания количества модулей.

Автоматизированная система позволит анализировать уровень знаний и обеспечивать построение индивидуальных траекторий обучения для эффективной подготовки каждого обучаемого, что дает возможность

эффективно оптимизировать процесс подготовки и достичь лучших результатов.

Ключевым элементом компетентностно-ориентированной модели является интеллектуальная система поддержки принятия решений для оценочной деятельности преподавателя (инструктора). Данный элемент модели предоставляет информацию о сформированных компетенциях каждого обучаемого, что позволяет вовремя выявлять слабые места и принимать корректирующие действия.

Заключение

В процессе исследования проблем профессиональной подготовки специалистов по организации воздушного движения пришли к выводу, что использование цифровых технологий и системы поддержки принятия решений для подготовки авиадиспетчеров, а также теоретическое закрепление знаний с помощью обучающей программы заключается в выработке сложных навыков по обслуживанию воздушного движения, декомпозированных на более простые навыки. Это дает обучаемому возможность доведения до автоматизма навыков, кото-

рые необходимы специалисту по ОрВД. При этом, степень освоения навыков оценивает преподаватель или инструктор, анализируя результаты прохождения обучающей программы, которая предусматривает построение индивидуальной траектории обучения с предоставлением отчетной информации по каждому модулю.

Применение интеллектуальной системы поддержки принятия решений в компетентностно-ориентированной модели профессиональной подготовки специалистов по ОрВД перспективно с точки зрения обработки больших объемов данных и анализа полученной информации, что существенно сократит время обучения специалистов и повысит эффективность и качество их подготовки.

Одной из наиболее сложных задач на пути реализации данного проекта является автоматизация и объективизация итоговой проверки достигнутых уровней компетенций. Основные трудности при решении задачи автоматизации проверки теоретического закрепления пройденного материала специалистов по ОрВД заключаются в отсутствии программ и обоснованной процедуры измерения уровня подготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авиационные правила «Профессиональная подготовка авиационного персонала по организации воздушного движения»: утв. пост. Министерства транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2 ноября 2010 г., № 70 (ред. от 27.05.2011) // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
2. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 2 февраля 2021 г., № 66 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100066&p1=1>. – Дата доступа: 26.02.2024.
3. Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: утв. пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 23 марта 2021 г. № 165 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа: 26.02.2024.
4. Борисов, В. Е. Анализ влияния профессиональных качеств персонала ОВД на безопасность воздушного движения / В. Е. Борисов, В. В. Борсоева, С. М. Степанов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 8–17.
5. Борисов, В. Е. Разработка перспективных тренажеров, имеющих голосовую поддержку, с функцией автоматизации оценки навыков диспетчеров по управлению воздушным движением / В. Е. Борисов, В. В. Борсоева, А. А. Бондаренко // Научный вестник МГТУ ГА. – 2020. – Т. 23, № 6. – С. 8–18.
6. Захарова, О. Г. Разработка модели процесса профессиональной подготовки авиационного персонала гражданской авиации Российской Федерации на основе компетентностного подхода и инновационных образовательных технологий / О. Г. Захарова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4–2. – С. 613–619.
7. Колокольников, Ф. А. Анализ международных требований при построении системы подготовки авиационных специалистов / Ф. А. Колокольников, С. Н. Яблонский, Лю Джонда, С. С. Теренин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. – № 219(9). – С. 85–88.
8. Reva, O. Ergonomic assessment of instructors' capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATC) personnel / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2020. – Vol. 964. – P. 783–793.

REFERENCES

1. Aviacionnye pravila «Professional'naja podgotovka aviacionnogo personala po organizacii vozdušnogo dvizhenija»: utv. post. Ministerstva transporta i kommunikacij Rosp. Belarus'; 2 nojabrja 2010 g., № 70 (red. ot 27.05.2011) [Aviation rules "Professional training of aviation personnel in air traffic management": utv. post. Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, November 2, 2010, No. 70 (as amended on May 27, 2011)]. *Jetalon. Zakonodatel'stvo Respubliki Belarus' / Nac. centr pravovoj inform. Rosp. Belarus'. Minsk, 2024.*
2. Gosudarstvennaja programma "Cifrovoe razvitie Belarusi" na 2021-2025 gody: utv. post. Soveta Ministrov Rosp. Belarus'; 2 fevralja 2021 g., № 66 [State program "Digital Development of Belarus" for 2021-2025: approved post. Council of Ministers of the Republic of Belarus, February 2, 2021, No. 66]. *Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'*; available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100066&p1=1> (accessed 26.02.2024).
3. Gosudarstvennaja programma "Transportnyj kompleks" na 2021-2025 gody: utv. post. Soveta Ministrov Rosp. Belarus'; 23 marta 2021 g. № 165 [State program "Transport complex" for 2021-2025: approved post. Council of Ministers of the Republic of Belarus, March 23, 2021 No. 165]. *Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'*; available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165> (accessed 26.02.2024).
4. Borisov V.E., Borsoeva V.V., Stepanov S.M., Stepanova A.I. Analiz vtijanija professional'nyh kachestv personala OVD na bezopasnost' vozdušnogo dvizhenija [Analysis of the influence of the ATM staff personnel qualities on air traffic safety]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 8-17.
5. Borisov V.E., Borsoeva V.V., Bondarenko A.A. Razrabotka perspektivnyh trenazherov, imejushih golosovuju podderzhku, s funkciej avtomatizacii ocenki navykov dispetčerov po upravleniju vozdušnym dvizheniem [Development of advanced voice-supported simulators with the function of automated estimation of air traffic controllers skills]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2020, vol. 23, no. 6, pp. 8-18.
6. Zaharova O.G. Razrabotka modeli processa professional'noj podgotovki aviacionnogo personala grazhdanskoj aviacii Rossijskoj Federacii na osnove kompetentnostnogo podhoda i innovacionnyh obrazovatel'nyh tehnologij [Development of professional training model for aviation personnel of the Russian Federation in terms of the competency-based approach and innovative learning technologies]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 4-2, pp. 613-619.
7. Kolokol'nikov F. A., Jablonskij S. N., Dzhonda Lju, Terenin S. S. Analiz mezhdunarodnyh trebovanij pri postroenii sistemy podgotovki aviacionnyh specialistov [International requirements analysis applied at program systems design for aeronautical specialists training]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2015, no. 219(9), pp. 85-88.
8. Reva O., Borsuk S., Shulgin V., Nedbay S. Ergonomic assessment of instructors' capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATC) personnel. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 964, pp. 783-793.

Статья поступила в редакцию
26.03.2024

Уважаемые авторы, приглашаем к публикации!



Какие преимущества дает публикация в научно-практическом журнале «Авиационный вестник»?

- Допуск к защите диссертации;
- публикация в издании, зарегистрированном ВАК Республики Беларусь;
- повышение рейтинга в академическом и научном сообществах;
- возможность участия в научных дискуссиях с профессионалами;
- создание положительного имиджа исследователя;
- возможность продвинуться вверх по карьерной лестнице.



ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ ИНСТИТУТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В КОНТЕКСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОВЕТСКОГО ВОЗДУШНОГО ПРАВА

THE HISTORY OF THE FORMATION OF THE INSTITUTE OF FLIGHT SAFETY IN THE CONTEXT OF THE FORMATION OF SOVIET AIR LAW

Гринец Игорь Викторович – соискатель кафедры теории и истории государства и права юридического факультета Белорусского государственного университета, Республика Беларусь
greeteorlaw@yandex.ru

Igor Grinov – Postgraduate student of the Department of Theory and History of State and Law of the Faculty of Law of the Belarusian State University, Republic of Belarus
greeteorlaw@yandex.ru

Аннотация: в настоящее время в современном мире сложилась ситуация, когда санкционное давление и отказ в разрешении использования воздушного пространства недружественными странами ставят вопросы о покупке авиационной техники в дружественных странах, дальнейшего развития взаимной кооперации, организации собственного производства и в перспективе организации собственной разработки авиационной техники. Появляется задача создания собственной правовой школы, вобравшей в себя все лучшее, что было создано предыдущими поколениями, в том числе учеными советского периода.

В статье исследованы вопросы воздушного права. На основе сравнительно-правового и историко-правового анализа советского воздушного законодательства: Декрета СНК РСФСР «О воздушных передвижениях» от 17.01.1921, воздушных кодексов СССР 1932, 1935, 1961, 1983 гг., иных нормативных правовых актов определена структура и классификация его правовых институтов. Раскрывается особая значимость правового института обеспечения безопасности полетов, его системообразующий характер. Указано, что советский опыт правового регулирования преемственно воспринят современным воздушным законодательством Республики Беларусь. Отмечено его важное значение, определившее рамки общего законодательного регулирования, в свете обсуждаемой Концепции национальной безопасности Республики Беларусь.

Ключевые слова: история права, правовой институт, безопасность полетов, воздушное право.

Abstract: currently, in the modern world, there is a situation where sanctions pressure and refusal to allow the use of airspace by unfriendly countries raise the issue of purchasing aviation equipment in friendly countries, developing cooperation, organizing their own production and, in the future, organizing their own development of aviation equipment. The task of creating our own law school appears, which has absorbed all the best that was created by previous generations, including scientists of the Soviet period.

The article examines the issues of air law. Based on the comparative legal and historical-legal analysis of the Soviet air legislation: The Decree of the Council of People's Commissars of the RSFSR "On Air Movements" dated 01/17/1921, the USSR Air Codes of 1932, 1935, 1961, 1983, and other normative legal acts, defined the structure and classification of its legal institutions. The special importance of the legal institution for ensuring flight safety and its system-forming nature is revealed. It is indicated that the Soviet experience of legal regulation has been successfully adopted by the modern air legislation of the Republic of Belarus. Its importance was noted, which defined the framework of general legislative regulation in the light of the discussed Concept of National Security of the Republic of Belarus.

Keywords: history of law, legal institution, flight safety, air law.

Введение

Провозглашение суверенитета Республики Беларусь и образование Содружества независимых государств выдвинуло на повестку дня вопросы обеспечения государственной безопасности и авиационного суверенитета, особенно в условиях санкций и усложнения международной обстановки.

В контексте Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, требующей устойчивого поступательного развития, актуальной и важной остается научная и практическая задача организации обеспечения безопасности полетов воздушных судов. Указан-

ным вопросам посвящены труды В. Д. Бордунова [1], М. М. Волкова [2], А. Г. Ляхова [3], Ю. Н. Малеева [4], И. С. Перетерского [5], С. В. Трофимова [6], в которых рассматривались в основном проблемы правового регулирования обеспечения безопасности полетов при использовании воздушного пространства. При этом не проводилось комплексное изучение правовых институтов воздушного права, их структуры и классификации. Являясь реализацией общего принципа обеспечения безопасности воздухоплавания, обеспечение безопасности полетов формирует вокруг себя структуру воздушного права, как отдельной отрасли, имеющей отдельный предмет и метод правового регулирования, что

становится важным при разработке, кодификации правовых норм и совершенствовании общественных отношений указанной сферы. В основе совершенствования воздушного права и обеспечения безопасности полетов в Республике Беларусь лежит советский опыт развития авиации и правового регулирования.

Основная часть

С начала своего возникновения советское государство стремилось к развитию воздушного флота и воздушных сообщений, о чем свидетельствует создание Управления Военного Воздушного флота в РСФСР (Главвоенвоздухфлот) в 1918 г., а также начало работ по выработке законопроектов, касающихся воздушного права, как писал первый начальник Главной инспекции Военного Воздушного флота, профессор И. С. Перетерский [5]. Однако только после окончания Гражданской войны РСФСР смогла уделить внимание развитию авиации, использованию ее в народном хозяйстве и в целом воздушным сообщениям. В начале 1920-х годов гражданская авиация начала выполнять первые перелеты с пассажирами на борту по ряду маршрутов: Москва — Петроград; Москва — Харьков; Смоленск — Гжатск — Москва и др. В 1922 г. была открыта первая международная воздушная линия Москва — Ковно — Кенигсберг. Как отмечают исследователи, к 1923 году протяженность внутренних воздушных линий составляла уже 420 км [2, с. 20]. Это способствовало развитию воздушного законодательства РСФСР.

В 1920 г. научно-технический отдел Главвоенвоздухфлота разработал и опубликовал проект Декрета о воздушных передвижениях, рассмотренный Советом Народных Комиссаров РСФСР (СНК). 17 января 1921 г. за подписью В. И. Ленина СНК утвердил Правила о воздушных передвижениях в воздушном пространстве над территорией РСФСР и ее территориальными водами [7]. Несмотря на небольшой объем Декрета (4 раздела и 26 статей) он в систематизированном виде регулировал основные направления применения авиации. Например, в первом разделе устанавливалось, что пилоты, совершающие полеты, подлежат обязательной регистрации и приписке к аэродрому (ст. 3); воздушные суда также подлежали регистрации и приписке к аэродрому (ст. 2); эксплуатация аэродромов допускалась только при наличии свидетельств об их регистрации (ст. 1) и др.

Второй раздел Декрета регламентировал правила полетов в воздушном пространстве РСФСР. Так, статья 6 определяла требования к лицам, пилотирующим воздушные суда. Акцентировалось, что воздушные суда должны иметь опознавательные знаки и соответствующие судовые документы (ст. 14). На воздушных судах запрещалось иметь фотоаппаратуру, радиоаппаратуру, взрывчатые вещества и почтовых голубей (ст. 10).

Декрет устанавливал специальные правила полетов в запретных зонах: пилот, оказавшийся в запретной зоне, должен был совершить посадку по первому сигналу компетентных органов (ст. 8).

Третий раздел Декрета определял правила полетов иностранных воздушных судов в воздушном пространстве РСФСР. Статья 15 устанавливала разрешительную систему международных полетов. Полеты иностранных воздушных судов могли осуществляться только с таможенных аэродромов по заранее определенному маршруту (ст. 16). В случае нарушения действующих правил пилоты иностранных воздушных судов несли

ответственность по законам РСФСР в установленном порядке (ст. 17, 21).

Четвертый раздел регламентировал вопросы ответственности владельцев воздушных судов и пилотов за причиненные убытки (ст. 22). Статьи 24, 26 касались подведомственности и мер обеспечения исков [2, с. 21, 22].

В целом Декрет о воздушных передвижениях 1921 г. стал важным нормативным актом, заложившим основы советского воздушного законодательства как для военных, так и для гражданских воздушных судов.

С образованием СССР в 1922 г. стало все более активно развиваться воздушное движение и воздушное законодательство. Развитию способствовала Парижская международная конференция 1925 г., в которой впервые принимал участие Советский Союз. Целью конференции была разработка проекта Конвенции об унификации некоторых правил международных воздушных перевозок пассажиров и грузов и установление ответственности предприятий воздушного транспорта перед пассажирами и грузовладельцами [2, с. 19]. Хотя Конвенция не была подписана участниками конференции, она дала направление дальнейшему развитию воздушного законодательства.

Особенно важным в нормативном регулировании воздушного движения стало принятие ЦИК и СНК СССР 27 апреля 1932 г. первого Воздушного кодекса СССР (ВК СССР), который включал 9 глав (68 статей) и регулировал только полеты гражданских воздушных судов (ст. 3) [8].

Требования к безопасности полетов регламентировались в нем четырьмя статьями (ст. 16, 19, 20, 64): об обязательности наличия на каждом воздушном судне свидетельства о годности; специальной подготовке экипажа; возложении обязанности принятия всех мер для безопасности полета на командира воздушного судна и правомочия Главного управления гражданского воздушного флота (ГВФ) издавать обязательные правила.

В статьях 22, 23, 36, 38 Кодекса приводились нормы, регулирующие вопросы поиска и спасания: об обязанности принятия всех мер для спасения пассажиров, экипажа, документов, имущества и груза; об обязанности оказания помощи морскому и (или) воздушному судну, терпящему бедствие, когда это не угрожает своему судну и находящимся на нем людям (аналогичные существовавшим в Брюссельских конвенциях 1910 года: О столкновении судов [9], Об оказании помощи и спасания на море [10]), О последствиях потери ориентировки и обязанности местных властей осуществлять охрану и оказывать содействие воздушному судну на месте аварии.

Авиационная безопасность регулировалась статьями 24, 65 Кодекса, которые содержали положения О недопущении захвата неприятелем воздушного судна и находящихся на нем людей, документов и груза, а также О полномочиях Главного управления ГВФ по изданию постановлений по вопросам охраны порядка и безопасности гражданской авиации и воздухоплавания.

Из анализа отмеченных выше норм вытекает, что субъектами обеспечения безопасности полетов являлись все органы СССР, занимавшиеся организацией полетов, в том числе в определенных случаях и местные власти, а также соответствующие должностные лица и экипаж воздушных судов. Сфера их обязанностей регламентировалась кодексом.

В целом ВК СССР 1932 года не только содержал важнейшие положения касательно полетов воздушных судов

и воздушных перевозок, но и регламентировал вопросы обеспечения безопасности полетов.

7 августа 1935 г. постановлением ЦИК и СНК СССР был утвержден новый ВК СССР, который включал 10 глав (96 статей) [11]. Принятие его через сравнительно короткий срок было обусловлено стремительным ростом гражданской авиации и необходимостью более детального и четкого регулирования деятельности ГВФ, в том числе вопросов, связанных с регулированием воздушных перевозок и обеспечением безопасности полетов.

Продолжая тенденцию, начатую ВК СССР 1932 года по регулированию только полетов гражданских воздушных судов, новый кодекс отразил деление воздушного транспорта и воздушных линий на воздушный транспорт, подведомственный и подконтрольный Главному управлению ГВФ (ст. 8) и Главному управлению Северного морского пути (ст. 5). Из этого следовало, что в СССР появились новые органы, занимающиеся организацией полетов.

Новый кодекс значительно увеличил содержание и количество глав. Глава «Полеты» увеличилась до 12 статей. При этом непосредственному регулированию обеспечения безопасности полетов было посвящено тоже 12 статей (ст. 19, 23, 32, 43–49, 63, 67). Глава «Поиск и спасание» увеличилась с 3 до 6 статей (ст. 24, 25, 52, 53, 60, 61). Вопросы авиационной безопасности регулировались статьями 23, 26, 72. Также в ВК СССР 1935 появлялись главы: VIII «Воздушные перевозки пассажиров, багажа, груза и почты» (ст. 68–75) и XII «Штрафы, налагаемые в административном порядке органами гражданского воздушного флота» (ст. 93–96). Кроме того, содержание главы IV «Условия труда и ответственность работников гражданского воздушного флота» и главы IX «Имущественная ответственность при воздушных передвижениях и порядок разрешения имущественных споров» уточняется с заменой терминов «гражданская авиация и гражданское воздухоплавание» на «гражданский воздушный флот» (в связи с централизацией управления гражданской авиации, за исключением полярной авиации, под эгидой Главной инспекции ГВФ, вышедшей из подчинения военного органа управления авиацией – Главвоздухфлота в 1930 г., и переименованием ее в Главное управление ГВФ в 1932 г. [12, с. 17–20]) в указанных главах.

Таким образом, ВК СССР 1935 г. значительно увеличил содержание и усовершенствовал ряд положений, в том числе по вопросам обеспечения безопасности полетов, в частности требований к воздушно-правовой подготовке, беспрекословному выполнению всех приказов командира воздушного судна всеми без исключения лицами, находящимися на борту, определив, что обязанности командира на борту может исполнять только член экипажа имеющий квалификацию пилота (ранее обязанности командира мог исполнять любой член экипажа, ст. 21 ВК СССР 1932 г.), обязанности проведения предварительной подготовки к полету, анализа метеобстановки перед вылетом и др.

Несколько позже, в послевоенный период, в связи с появлением самолетов с реактивными и газотурбинными двигателями, возросшими воздушными перевозками как на внутренних, так и на международных воздушных линиях, а также произошедшими изменениями в организации полетов назрела настоятельная необходимость принятия очередного кодекса.

26 декабря 1961 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР Кодекс был утвержден. Очередной ВК

СССР включал 10 глав (145 статей) и начал действовать с 1 января 1962 г. [13].

Важным было то, что теперь в Воздушном кодексе появляется цель правового регулирования воздушных правоотношений (ст. 2) и вместо понятия «обеспечение безопасности полета» устанавливается термин «обеспечение безопасности полетов» как совокупности норм (т. е. института), характеризующих отдельное направление в правовом регулировании. Кроме того, гражданская авиация снова объединяется под началом Главного управления ГВФ, а полярная авиация выходит из состава Главного управления Северного морского пути и входит в состав ГВФ. Так же, как и в Воздушных кодексах 1932 и 1935 гг. правовое регулирование Воздушного кодекса не распространяется на военные воздушные суда, а также на воздушные суда авиационной промышленности, экспериментальной авиации и воздушные суда ДОСААФ (ст. 3).

Названия глав кодекса уточняются без упоминания «гражданская авиация». Это связано с появлением в 1947 г. нового вида нормативного акта, регулирующего полеты «авиации всех ведомств», – «Основных правил полетов» (ОПП). Главы изменяются до названий «Воздушные суда (ст. 9–17), «Экипаж воздушного судна» (ст. 18–26), «Аэродромы и аэропорты» (ст. 27–43). Кроме того, упраздняются главы «Условия труда и ответственность работников ГВФ» и «Имущественная ответственность при воздушных передвижениях и порядок разрешения имущественных споров». Регулирование указанных трудовых и имущественных правоотношений передается Дисциплинарному уставу гражданского воздушного флота [14], Основам гражданского законодательства [15], Основам гражданского судопроизводства Союза ССР и союзных республик [16] и принятым на их основе республиканским кодексам. Также уточняется название главы X «Штрафы, налагаемые в административном порядке Главным управлением гражданского воздушного флота при Совете министров СССР» в части локализации ее подведомственности. Название Приложения «Описание флага гражданской авиации и гражданского воздухоплавания Союза ССР» редакционно меняется на «Описание флага и эмблемы гражданского воздушного флота Союза ССР».

Важным нововведением было расширение до 30 статей по сравнению с ВК СССР 1935 г. нормативного регулирования вопросов обеспечения безопасности полетов (ст. 6, 14–16, 18–20, 22–25, 28, 31, 32, 35, 37, 38, 46, 47, 51–53, 55, 56, 59, 60, 69, 79, 80, 138). Положения об авиационной безопасности дополняются понятием «перевозка опасных грузов» (ст. 96). Увеличилось с 6 до 10 статей регулирование положений по поиску и спасанию (ст. 25, 26, 59, 60, 63–67, 69).

Статья 20 ВК СССР 1961 года устанавливает классификацию летного и летно-подъемного состава гражданской авиации.

Отметим, что в ст. 69 ВК СССР 1961 г. закрепляется новый вид правового акта, ранее не указанный в ВК СССР 1935 г. и появившийся только в 1947 г. [17]. Он регулировал воздушные правоотношения и обеспечение безопасности полетов: «Основные правила полетов в воздушном пространстве СССР воздушных судов, независимо от их (ведомственной) принадлежности» (включающий в себя: военные, экспериментальные и воздушные суда авиационной промышленности и ДОСААФ).

ВК СССР 1961 г. содержал ряд иных новых понятий, статей и положений. Статья 73 вводит новые термины «воздушная трасса» и «международная воздушная трасса». В статье 76 впервые появляются положения регулирующие полеты иностранных беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве СССР. Статья 75 устанавливает запрет на каботажные перевозки иностранными воздушными судами в воздушном пространстве СССР. Статья 118 указывает на обязательное страхование пассажиров при воздушной перевозке. Статья 121 меняет понятие международный полет. В соответствии с ней каботажные перелеты между аэродромами, находящимися на территории СССР, через международное воздушное пространство на воздушных судах СССР не признавались международными полетами. Статьями 124–135 определяются права и обязанности пассажира, грузоотправителя и грузополучателя с установлением сокращенных сроков подачи претензий и предъявления исков.

В целом ВК СССР 1961 года, основываясь на практике и международных актах, значительно усовершенствовал правовое регулирование многих вопросов, касающихся полетов. Однако при их правоприменении возникали новые вопросы. Отметим, что если появление Кодекса 1961 г. было связано в большей степени с техническими достижениями СССР, то основной причиной принятия ВК СССР 1983 г. стала общая тенденция кодификации правовых актов и необходимость приведения правового регулирования к существующему положению дел в авиационной отрасли. Этому способствовало и учреждение Министерства гражданской авиации (МГА) на базе Главного управления ГВФ; создание системы поисково-спасательного обеспечения (ПСО) и единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД), Госавианадзора и Госавиарегистра; появление понятий о нормах летной годности воздушных судов (НЛГС) и о нормах годности к эксплуатации гражданских аэродромов (НГЭА); выделение расследования авиационных происшествий в отдельную область правового регулирования; деление воздушного пространства на зоны и районы; вступление СССР в Международную организацию гражданской авиации (ИКАО).

В связи с этим, Указом № 9275-х Президиума Верховного Совета СССР от 11 мая 1983 г. был утвержден следующий ВК СССР, который начал действовать с 1 января 1984 г. Кодекс включал 11 глав (153 статьи) [18].

Воздушный кодекс СССР 1983 г. преемственно воспринял и продолжил традиции ВК СССР 1961 г., в том числе относительно цели обеспечения безопасности полетов воздушных судов (ст. 3). При этом, в отличие от Воздушных кодексов 1932, 1935, 1961 гг., он регулировал полеты не только гражданской, но и в соответствии с рядом статей (ст. 11, 19, 25–29, 33–37, 39–65, 71) полеты других видов авиации (экспериментальной и государственной: авиации Министерства обороны (МО) и ДОСААФ) в части регулирования публичных отношений, связанных с выполнением полетов.

Также вместо главы «Штрафы, налагаемые в административном порядке Главным управлением гражданского воздушного флота при Совете Министров СССР» в предыдущем Кодексе в ВК СССР 1983 г. появляется глава «Административная ответственность за нарушение правил безопасности полетов воздушных судов, пользования средствами воздушного транспорта и правил, направленных на обеспечение сохранности грузов» (ст. 143–153), что сближает предмет правового

регулирования обеспечения безопасности полетов с предметом воздушного права. В дальнейшем это приводит к не совсем четкому их разграничению.

В ВК СССР 1983 г. вводится ряд новых положений и понятий, в том числе «Положение об использовании воздушного пространства» (ст. 2, 49); «нормы летной годности воздушных судов и нормы годности к эксплуатации аэродромов и их оборудования» (ст. 8); «Государственная комиссия по безопасности полетов гражданской авиации (Госавианадзор)» и «Государственный авиационный регистр гражданской авиации (Госавиарегистр)» (ст. 9); «органы управления воздушным движением» и «Положение о единой системе управления воздушным движением» (ст. 54); «авиационная поисково-спасательная служба» (ст. 60); «поисково-спасательные команды (группы)» (ст. 61); «расследование авиационных происшествий» (ст. 63); «(авиационный) чартер» (ст. 134).

Кроме того, из ВК СССР 1983 г. был исключен ряд норм и положений предыдущих Воздушных кодексов, в том числе статьи о беспилотных летательных аппаратах, ранее присутствовавшие в ВК СССР 1961 г. (ст. 76).

Положения об авиационной безопасности регулировались в ВК СССР 1983 г. статьями 25, 73, 90, 91, 145, вопросы поиска и спасания статьями 25–27, 58–62. Обязательное страхование пассажиров было представлено одной статьей (ст. 113).

Следует отдельно подчеркнуть, что регулирование обеспечения безопасности полетов в Воздушном кодексе 1983 г. (33 ст.) фактически не было расширено (ст. 8, 9, 17, 18, 22, 24, 25, 34, 37, 40–50, 52–55, 59, 60, 66, 69, 71, 90, 135, 143, 146) и в основном повторяло положения предыдущего Воздушного кодекса.

Заключение

Таким образом, с принятием ВК СССР 1983 г. фактически завершилось формирование системы советского воздушного права. Отметим, что несколько раньше из его содержания были исключены: институт, регулировавший трудовые отношения работников воздушного транспорта, переведя его в качестве специального в отрасль трудового права, а также положения о беспилотных летательных аппаратах. Однако важность наличия в воздушном кодексе таких положений позже обосновывалась рядом ученых.

В целом на основе сравнительного анализа советского воздушного законодательства (Декрета СНК РСФСР «О воздушных передвижениях» от 17.01.1921, ВК СССР 1932, 1935, 1961, 1983 гг., иных нормативных актов) можно сделать вывод о постепенном формировании воздушного права СССР, представляющего собой совокупность ряда правовых институтов, в том числе обеспечения безопасности полетов; поиска и спасания; авиационной безопасности; воздушных перевозок; расследования авиационных происшествий; авиационного страхования; ответственности за нарушения авиационных правил. Подчеркнем, что отдельные нормы кодекса 1983 г. могли регулировать несколько смежных правовых институтов, например: безопасности полетов и поиска и спасания, безопасности полетов и авиационной безопасности и др. Однако все институты, за исключением институтов ответственности и воздушных перевозок, касаются и входят в широкое содержание понятия «безопасность полетов», являющееся синонимом понятия «безопасность авиационной деятельности». В связи с чем отметим, что понятие «безопасность поле-

тов» часто в публикациях подменялось общим понятием «воздушное право». По мнению В. Д. Бордунова именно это в 1980-е годы затормозило развитие как правового института обеспечения безопасности полетов, так и всей отрасли воздушного права [19]. При этом, на наш взгляд, требуются дополнительные научные исследования в этой области, в том числе с целью более точного определения сущности и содержания правового института «обеспечение безопасности полетов» и отграничения его от смежных институтов воздушного права.

В заключение отметим, что с провозглашением суверенитета Республики Беларусь на ее территории некоторое время продолжало действовать воздушное законодательство ССРСР. Однако параллельно проводились работы по имплементации норм международного права и формированию национальной отрасли воздушного права, в том числе и института обеспечения безопасности полетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бордунов, В. Д. Принцип обеспечения безопасности международной гражданской авиации / В. Д. Бордунов // Всеобъемлющая система международной безопасности и международное право / редкол. : В. С. Верещетин (отв. ред.) [и др.]. – М. : Акад. наук ССРСР, Ин-т государства и права, 1987. – С. 90–95.
2. Волков, М. М. Советское воздушное право : учеб. пособие : в 2 ч. / М. М. Волков. – Ленинград : Вышш. авиац. училище гражд. авиации, 1969. – Ч. 1 : Общая. – 50 с.
3. Ляхов, А. Г. Принцип обеспечения безопасности международной гражданской авиации : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.10 / А. Г. Ляхов. – М., 1986. – 165 л.
4. Малеев, Ю. Н. Международное воздушное право: вопросы теории и практики / Ю. Н. Малеев. – М. : Междунар. отношения, 1986. – 238 с.
5. Перетерский, И. С. Воздушное право / И. С. Перетерский. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Журн. «Вестн. воздуш. флота», 1923. – 140 с.
6. Трофимов, С. В. О некоторых приоритетах законодательного регулирования вопросов безопасности полетов / С. В. Трофимов // Трансп. право. – 2007. – № 4. – С. 5–8.
7. О воздушных передвижениях [Электронный ресурс]: декрет СНК РСФСР, 17 янв. 1921 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
8. Воздушный кодекс Союза ССРСР [Электронный ресурс]: утв. постановлением ЦИК ССРСР № 36, СНК ССРСР № 460, 27 апр. 1932 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
9. Конвенция для объединения некоторых правил относительно столкновения судов, закл. в г. Брюсселе 23.09.1910 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
10. Конвенция для объединения некоторых правил относительно оказания помощи и спасания на море, закл. в г. Брюсселе 23.09.1910 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
11. Воздушный кодекс Союза ССРСР [Электронный ресурс]: утв. постановлением ЦИК ССРСР № 14, СНК ССРСР № 1713, 7 авг. 1935 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
12. Волков, М. М. Управление в области гражданской авиации ССРСР : учеб. пособие / М. М. Волков. – Ленинград : Вышш. авиац. училище гражд. авиации, 1971. – 58 с.
13. Воздушный кодекс Союза ССРСР [Электронный ресурс]: утв. Указом Президиума Верхов. Совета ССРСР, 26 дек. 1961 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
14. Дисциплинарный устав гражданского воздушного флота: утв. постановлением Совета Министров ССРСР, 21 февр. 1950 г., № 663 / Гл. упр. Гражд. воздуш. флота ССРСР. – М. : изд. и тип. Редиздата Аэрофлота, 1950. – 16 с.
15. Основы гражданского законодательства Союза ССРСР и союзных республик [Электронный ресурс]: утв. Законом ССРСР, 8 дек. 1961 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
16. Основы гражданского судопроизводства Союза ССРСР и союзных республик [Электронный ресурс]: утв. Законом ССРСР от 8 дек. 1961 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
17. Основные правила полетов на территории ССРСР (для авиации всех ведомств): утв. Главнокомандующим Воен.-воздуш. силами и зам. Министра Вооруж. Сил ССРСР, 15 мая 1947 г., Начальником Гл. упр. Гражд. воздуш. флота при Совете Министров ССРСР, 17 мая 1947 г. – М. : Воен. изд-во М-ва Вооруж. Сил ССРСР, 1947. – 39 с.
18. Воздушный кодекс Союза ССРСР [Электронный ресурс]: утв. Указом Президиума Верхов. Совета ССРСР, 11 мая 1983 г., № 9275-X. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
19. Бордунов, В. Д. Международное воздушное право: учеб. пособие / В. Д. Бордунов. – М. : Авиабизнес: Науч. кн., 2007. – 462 с.

REFERENCES

1. Bordunov V.D. Princip obespecheniya bezopasnosti mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviacii [The principle of ensuring the safety of international civil aviation]. Vseob'emlyushhaya sistema mezhdunarodnoj bezopasnosti i mezhdunarodnoe pravo. Ed. V. S. Vereshhetin. Moscow, Akad. nauk SSSR, In-t gosudarstva i prava, 1987, pp. 90–95.
2. Volkov M.M. Sovetskoe vozduzhnoe pravo: ucheb. posobie: [v 2 ch.] [Soviet air law: textbook. manual: [in 2 parts]. Part 1: Obshhaya. Leningrad, Vy'ssh. aviac. uchilishhe grazhd. aviacii, 1969, 50 p.
3. Lyahov A.G. Princip obespecheniya bezopasnosti mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviacii [The principle of ensuring the safety of international civil aviation]: Ph.D. thesis. Moscow, 1986, 165 p.
4. Maleev YU.N. Mezhdunarodnoe vozduzhnoe pravo: voprosy teorii i praktiki [International air law: questions of theory and practice]. Moscow, Mezhdunar. otnosheniya, 1986, 238 p.
5. Pereterskij I.S. Vozdushnoe pravo [Air law]. 2nd ed. Moscow, Zhurn. «Vestn. vozdush. flota», 1923, 140 p.
6. Trofimov S.V. O nekotoryx prioritax zakonodatel'nogo regulirovaniya voprosov bezopasnosti poletov [On some priorities of legislative regulation of flight safety issues]. Transp. Pravo, 2007, no. 4, pp. 5–8.
7. O vozdushnykh peredvizheniyah: dekret SNK RSFSR, 17 yanv. 1921 g. [On air movements: Decree of the Council of People's Commissars of the RSFSR, January 17, 1921], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
8. Vozduzhnyj kodeks Soyuza SSSR: utv. postanovleniem CIK SSSR № 36, SNK SSSR № 460, 27 apr. 1932 g. [Air Code of the USSR Union: approved. Resolution of the Central Executive Committee of the USSR No. 36, Council of People's Commissars of the USSR No. 460, April 27, 1932], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
9. Konvenciya dlya ob'edineniya nekotorykh pravil otnositel'no stolkoveniya sudov, zakl. v g. Bryussele 23.09.1910 g. [Convention for the unification of certain rules regarding collisions of ships, concluded in Brussels on September 23, 1910], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
10. Konvenciya dlya ob'edineniya nekotorykh pravil otnositel'no okazaniya pomoshhi i spasaniya na more, zakl. v g. Bryussele 23.09.1910 g. [Convention for the unification of certain rules regarding the provision of assistance and rescue at sea, concluded in Brussels on September 23, 1910], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
11. Vozduzhnyj kodeks Soyuza SSSR, utv. postanovleniem CIK SSSR № 14, SNK SSSR № 1713, 7 avg. 1935 g. [Air Code of the USSR Union, approved. Resolution of the Central Executive Committee of the USSR No. 14, Council of People's Commissars of the USSR No. 1713, August 7, 1935], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
12. Volkov M.M. Upravlenie v oblasti grazhdanskoj aviacii SSSR: ucheb. posobie [Management in the field of civil aviation of the USSR: textbook. allowance]. Leningrad, Vy'ssh. aviac. uchilishhe grazhd. aviacii, 1971, 58 p.
13. Vozduzhnyj kodeks Soyuza SSR, utv. Ukazom Prezidiuma Verxov. Soveta SSSR, 26 dek. 1961 g. [Air Code of the USSR Union, approved. By decree of the Supreme Presidium. Soviet of the USSR, December 26, 1961], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
14. Disciplinarnyj ustav grazhdanskogo vozduzhnogo flota: utv. postanovleniem Soveta Ministrov SSSR, 21 fevr. 1950 g., № 663 [Disciplinary Charter of the Civil Air Fleet: approved. by resolution of the Council of Ministers of the USSR, February 21, 1950, No. 663]. Gl. upr. Grazhd. vozdush. flota SSSR. Moscow, Redizdat Ajeroflota, 1950, 16 p.
15. Osnovy grazhdanskogo zakonodatel'stva Soyuza SSR i soyuznykh respublik, utv. Zakonom SSSR, 8 dek. 1961 g. [Fundamentals of civil legislation of the USSR and union republics, approved. Law of the USSR, December 8, 1961], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
16. Osnovy grazhdanskogo sudoproizvodstva Soyuza SSR i soyuznykh respublik, utv. Zakonom SSSR ot 8 dek. 1961 g. [Fundamentals of civil proceedings of the USSR and union republics, approved. USSR Law of December 8, 1961], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
17. Osnovnye pravila poletov na territorii SSSR (dlya aviacii vseh vedomstv): utv. Glavnokomanduyushhim Voen.-vozdush. silami i zam. Ministra Vooruzh. Sil SSSR, 15 maya 1947 g., Nachal'nikom Gl. upr. Grazhd. vozdush. flota pri Sovete Ministrov SSSR, 17 maya 1947 g. [Basic rules of flights on the territory of the USSR (for aviation of all departments): approved. Commander-in-Chief of the Air Force. forces and deputy Minister of Armament USSR Forces, May 15, 1947, Chief of Chief. ex. Citizen air Fleet under the Council of Ministers of the USSR, May 17, 1947]. Moscow, Voennoe izdatel'stvo Ministerstva Vooruzhennykh Sil SSSR, 1947, 39 p.
18. Vozduzhnyj kodeks Soyuza SSR, utv. Ukazom Prezidiuma Verxov. Soveta SSSR, 11 maya 1983 g., № 9275-X [Air Code of the USSR, approved. By decree of the Supreme Presidium. Council of the USSR, May 11, 1983, No. 9275-X], available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 25.03.2024).
19. Bordunov V.D. Mezhdunarodnoe vozduzhnoe pravo: ucheb. posobie [International air law: textbook. Allowance]. Moscow, Aviaibiznes: Nauchnaya kniga, 2007, 462 p.

Статья поступила в редакцию
31.03.2024



ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭРГОНОМИКА И ДИЗАЙН ИНТЕРФЕЙСОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ERGONOMICS AND DESIGN OF INTERFACES OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES FOR INCLUSIVE EDUCATION

Казак Тамара Владимировна – доктор психологических наук Республики Беларусь, доктор психологических наук Российской Федерации, член-корреспондент Международной академии психологических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Республика Беларусь
kazak@bsuir.by

Василькова Анастасия Николаевна – магистр, старший преподаватель кафедры инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Республика Беларусь
a.vasilkova@bsuir.by

Tamara Kazak – Doctor of Psychological Sciences of the Republic of Belarus, Doctor of Psychological Sciences of the Russian Federation, Corresponding Member of the International Academy of Psychological Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
kazak@bsuir.by

Anastasia Vasilkova – Master's Degree, Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
a.vasilkova@bsuir.by

Аннотация: инклюзивное образование в контексте современного общества рассматривается как один из приоритетов социальной сферы. Цифровизация всех слоев жизни человека накладывает на вопросы проектирования пользовательских интерфейсов особые условия. Эргономические характеристики пользовательского интерфейса неразрывно связаны с психофизиологическими особенностями пользователя. Распознавание визуальной информации у различных людей происходит по-разному. Различия восприятия пользовательского интерфейса требуют от разработчиков более детального и тщательного проектирования с учетом целевой аудитории и разнообразных деталей в дизайне и композиции. Интерфейсы любого приложения должны быть эргономичны и учитывать физиологические и психологические факторы различных групп людей.

Ключевые слова: инклюзия, равные права, цифровое неравенство, психология безопасности, психологический комфорт, эргономика интерфейсов образовательных ресурсов для инклюзивного образования.

Abstract: inclusive education in the context of modern society is considered as one of the priorities of the social sphere. Digitalization of all layers of human life imposes special conditions on the design of user interfaces. The ergonomic characteristics of the user interface are inextricably linked with the psychophysiological characteristics of the user. Recognition of visual information occurs differently in different people. Differences in the perception of the user interface require developers to design in more detail and carefully, taking into account the target audience and various details in design and composition. The interfaces of any application must be ergonomic and take into account the physiological and psychological factors of different groups of people.

Keywords: inclusion, equal rights, digital inequality, psychology of safety, psychological comfort, ergonomics of educational resource interfaces for inclusive education.

Введение

Качественная система образования является одной из ключевых составляющих успешного развития общества. В соответствии со Всеобщей декларацией прав человека образование рассматривается как необходимое условие развития демократии и средство содействия миру и уважению прав и основных свобод человека. Более того, важнейшие социальные проблемы отдельных стран и мира в целом не могут быть решены без полноценного образования.

Нет сомнений в том, что инклюзивные подходы в образовании рассматриваются как наиболее подходящий способ преодоления неравенства. Инклюзия — это и принцип, и процесс: «Инклюзивность и равен-

ство в образовании и через него являются краеугольным камнем преобразовательной программы образования «...Ни одна цель в области образования не может считаться достигнутой, если она не достигнута всеми» [1, с. 2].

Основной импульс инклюзивному образованию дала Всемирная конференция по образованию детей с особыми потребностями, состоявшаяся в Саламанке в 1994 году [2]. Инклюзия связана с обучением, участием и равными возможностями для всех детей, молодежи и взрослых с особым упором на группы, уязвимые для маргинализации и исключения из жизни общества. В современных реалиях это не только люди с физическими и психологическими особенностями. К потенциальным группам, нуждающимся в созда-

нии или обеспечении особых условий коммуникации в образовании, могут относиться: девочки и мальчики, у которых есть гендерные проблемы; этнические и религиозные меньшинства, путешественники, беженцы; дети, которым нужна поддержка в изучении языка обучения (второй язык); лица с эмоциональными, поведенческими, сенсорными, физическими или умственными недостатками; одаренные и талантливые дети и молодежь; дети и молодежь с социальными трудностями (из неблагополучных семей, состоящие на учете в детской комнате милиции и т. д.); заключенные; лица, проживающие в неблагополучных, отдаленных районах, плохо обслуживаемых образовательными услугами; лица, упустившие возможность учиться в детстве; дети и молодежь, нуждающиеся в помощи, в том числе находящиеся на государственном попечении, дети-сироты; другие дети и молодежь, например, с особыми потребностями в области здравоохранения; молодые воспитатели; дети, чьи семьи находятся в состоянии стресса; беременные школьницы и матери-подростки. Эти группы обычно исключаются из основного образования. Доступная среда обучения должна быть разумно спроектирована, чтобы глубже проникнуть в жизнь уязвимых членов нашего общества. Заботы об их включении в доступную среду обучения будут недостаточно, пока они не получат возможность стать продуктивными членами общества. Это требует глубокой внимательности посредством понимания их потребностей и создания персонализированного пространства, расширяющего их возможности.

Образование уязвимых групп учащихся требует особых подходов и методов, особенно учитывая широкое использование цифровых инструментов и веб-ресурсов в образовательном процессе.

За последнее десятилетие многие компании также начали осознавать ценность разнообразия рабочей силы, важность справедливости внутри компании и практики инклюзивности, т. е. осуществлять корпоративную политику (Diversity, Equity & Inclusion, DEI) разнообразия, равенства и инклюзивности, при которой каждый сотрудник включен в компанию, а его потребности и интересы учтены [3].

Особенно актуальной представляется проблема определения способов и методов обучения студентов технологиям, связанным с DEI. При этом обучение должно основываться на результатах научных исследований. Однако интеграция DEI в образовательный процесс на этапе получения высшего образования может стать весьма сложной задачей, т. к. профессорско-преподавательскому составу потребуется адаптировать свои курсы с политикой DEI. Такая проблема просматривается и в области авиационного образования, поскольку возможные изменения в подходах к подготовке авиационных кадров должны коррелировать с требованиями нормативной документации авиационной отрасли. Тем не менее, в авиационной отрасли также наблюдается рост инициативы исследований по продвижению DEI среди всех поколений [4]. Весьма актуальным является развитие инклюзивного обучения и динамичных стратегий лекций, которые позволяют педагогам размышлять о критическом сознании, помнить о скрытой предвзятости и справляться с сопротивлением, одновременно способствуя расширению безопасного образовательного пространства, на что и направлено настоящее исследование.

Основная часть

В большом метаанализе образовательных программ и тренингов, направленных на поддержку сотрудников, по разнообразию, равенству и инклюзивности К. Безруковой и другими были рассмотрены эффективность такого типа обучения и факторы, влияющие на него [5].

Исследователи также обнаружили, что обучение, поддерживаемое другими программами в рамках компании, привело к более качественным результатам.

В ходе обучения также были определены факторы, которые не оказали существенного влияния на результаты обучения, такие как тип и режим обучения, его обязательность или добровольность.

Кроме того, не было никакой разницы между обучением, ориентированным на одну группу меньшинства (например, для женщин) по сравнению с обучением, в котором использовался более общий подход. Этот метаанализ служит общим руководством при проектировании разнообразия, справедливости и инклюзивности обучения [5].

Ввиду изменившегося контекста цифровой эпохи, возросли требования к образованию в адаптации к новой среде. Наиболее важным вкладом человека в развитие общества является его способность генерировать новые знания, делиться ими и распространять их среди сообществ, а также находить инновационные способы использования знаний для дальнейшего процветания общества. Обмен глобальными знаниями и их укрепление в интересах развития можно усилить, обеспечив равный доступ к информации для всех. Таким образом, доступ к качественному образованию для членов сообщества определяет их шансы в научной, экономической, социальной, политической и культурной деятельности, что ведет к активному участию в жизни гражданского общества. Это имеет первостепенное значение для людей из различных уязвимых групп, которые в наиболее широком смысле определяются как вызванные различиями в поле, возрасте, физических и умственных способностях, уровне образования, этнической принадлежности, уровне дохода и т. д. Принимая во внимание широкое разнообразие способностей отдельных учащихся, гражданское общество должно найти пути устранения препятствий на пути к обучению и обеспечить соответствующие условия для равного доступа к образованию [5].

Исключение людей с ограниченными возможностями из образовательного процесса, помимо конститутивной значимости, имеет большое инструментальное значение в возникновении других деприваций дееспособности, например, малообразованного человека.

В цифровом мире интернет играет важную роль как связующий инструмент между людьми. Веб-технологии стремительно развиваются, создавая новые возможности для передачи и потребления информации. Современный человек привыкает к мобильности и доступности информации, а также различным онлайн-сервисам. Однако со стороны разработчиков и проектировщиков интерфейсов веб-ресурсов возникают разнообразные, порой сложные вопросы, которые требуют внимания и понимания законов психологии, эргономики и дизайна. Особенно это важно с учетом обеспечения равного доступа и принципов инклюзивности.

Один из главных вопросов веб-дизайна — это юзабилити интерфейса. У каждого человека имеется свой предшествующий опыт и психофизиологические осо-

бенности восприятия интерфейсов. При разработке веб-ресурса разработчик должен уметь видеть проектируемый интерфейс и возможные диалоги глазами потенциального пользователя. Для разработчика проектирование интерфейсов для людей с нормальными психофизиологическими характеристиками представляет достаточно стандартную процедуру. Однако, учитывая инклюзию, необходимо стремиться к тому, чтобы создаваемый продукт был максимально понятен для всех категорий пользователей независимо от возраста, пола, профессиональных знаний и психофизиологических особенностей.

Обозначим несколько ключевых моментов в организации эргономики и дизайна образовательного веб-ресурса:

- пользовательский путь, т. е. схема, по которой пользователь входит на веб-ресурс. Для этого необходимо знать, какого рода информация необходима пользователю, а также возможные траектории управления – текстовое меню, кнопочное, голосовой интерфейс и т. д.;

- понимание запроса пользователя и обеспечение ему комфортных условий для совершения целевого действия.

Как правило, все методы эргономического проектирования и критерии оценки исходят из главной задачи эргономики в информационной среде – обеспечить концентрацию внимания пользователя на самом главном, направить энергию восприятия по нужному пути.

С точки зрения эргономики, самое важное в программе – создать такой пользовательский интерфейс, который сделает работу эффективной и производительной, а также обеспечит удовлетворенность пользователя от работы с приложением.

Эффективность работы означает обеспечение точности, функциональной полноты и завершенности при выполнении производственных заданий на рабочем месте пользователя.

Производительность работы отражает объем затраченных ресурсов при выполнении задачи, как вычислительных, так и психофизиологических [7].

Любая проектируемая система должна обеспечивать выполнение следующих задач: простой и понятный интерфейс, удобство работы, функциональность, эргономичность.

Эргономические требования к приложению – это требования к системе в целом, ее отдельным подсистемам, оборудованию, рабочей среде, определяемые свойствами человека и устанавливаемые для обеспечения его эффективной и безопасной деятельности [3].

Перечислим основные, разбив их на группы:

- *психологические*: один и тот же характер команд на протяжении всего периода работы в системе в схожих ситуациях, наличие подсказок о следующих шагах работы в системе; предупреждения о нежелательных последствиях действий ввиду сложности инструкций, наличие возможности отменить редактирование;

- *психофизиологические*: соответствие размеров знаков на экране дисплея оперативному порогу зрения человека; соответствие контраста знаков и фона оптимальным условиям восприятия; соответствие вида контраста знаков и фона уровню освещенности рабочего места; соответствие расположения надписей условиям их оптимального считывания; отсутствие требований, связанных с обслуживанием системы, несоответствующих возможностям органов чувств человека;

- *физиологические*: соответствие компоновки элементов интерфейса принципам экономии рабочих движений, соответствие силовым возможностям человека (пользователя), соответствие требований к скорости двигательных возможностей пользователя;

- *антропометрические*: соответствие размеров зон управления и обслуживания антропометрическим характеристикам человека; соответствие размеров рабочего окна антропометрическим характеристикам человека;

- *социально-психологические*: наличие средств ограничения допуска к некоторым функциям;

- *гигиенические*: соответствие параметров рабочей среды гигиеническим нормативам.

Самые основные элементы и требования, обеспечивающие доступность веб-ресурса для различных категорий пользователей, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке образовательного веб-ресурса, который может быть использован для инклюзивного образования приведены в таблице.

Заключение

Технологические и психологические аспекты проектирования интерфейсов очень важны для понимания и удовлетворения запросов пользователей, главным образом из особых целевых групп. Задача разработчиков при проектировании эргономичных интерфейсов учитывать ряд технических, визуальных и психофизиологических моментов. Для этого существуют различные методики проектирования, например, выделение целевых групп и создание некоего «образа», но с конкретными типовыми задачами. Отталкиваясь от этих паттернов, разработчики тщательнее могут выстроить схемы взаимодействия веб-ресурса с потенциальным пользователем. Особую значимость это приобретает при разработке электронных образовательных ресурсов, которые могут быть использованы для обучения лиц с особыми потребностями. Контент электронного ресурса должен быть представлен в разнообразных видах и форматах (текст, графика, учебные презентации, тестовые задания, аудиокomпоненты, видеокomпоненты, симуляционные компоненты в виде интерактивных ситуационных задач и их комбинаций). Технологии, применяемые при создании материалов, не должны препятствовать работе с ресурсом в разных интернет-браузерах и на различных мобильных платформах, а также не конфликтовать с ассистивными инструментами и технологиями. При разработке интерфейсов необходимо использовать весь доступный инструментарий, чтобы можно было обеспечить высокую скорость взаимодействия, плавность и удобство использования.

В целом обучение и интеграция инициатив DEI в авиации могут быть интеллектуальными и эмоционально сложными. Поэтому хорошей привычкой является просить студентов размышлять и предлагать им характеристики практического обсуждения, в котором они участвовали ранее. Даже если студенты интересуются опытом преподавателя, им следует помнить, что нельзя обобщать опыт других. Какими бы сложными ни были темы, вознаграждение принесет пользу всем участникам. Когда студенты чувствуют вовлеченность, они более успешны и могут испытывать большее чувство вовлеченности, принадлежности.

Таблица – Элементы веб-разработки

Элемент	Описание (фокус внимания)
Инструменты разработки	Должны быть совместимы с ассистивными технологиями. Не вступают в конфликт (не отключают) встроенные вспомогательные функции операционной системы (увеличение экрана, голосовой ввод и т. д.)
Изображения	Содержат текстовое/голосовое описание
Цвет	Необходимо использовать альтернативные средства, а не цвет, чтобы различать контент там, где это необходимо
Текст	Нужно обеспечить точное оптическое распознавание символов для всего текста, чтобы к нему можно было получить доступ с помощью программ чтения с экрана
Формат	Контент должен быть представлен таким образом, чтобы он мог быть распознан с помощью ассистивных инструментов (DAISY или Брайль)
Мультимедиа/аудио/видео	Нужно использовать замещающий текст
Язык (представление контента)	Язык изложения контента должен быть понятен по смыслу как можно большему кругу пользователей. Контент может быть легко переведен и представлен на другом/других языках
Структура	Структуризация контента должна быть понятной и иметь понятную навигацию
Вариативность представления	Любой документ должен иметь разное представление, например, текст, аудио, презентация
Ссылки	Должны иметь альтернативное обозначение (не только цвет)
Контраст	Должен соответствовать уровню AAA согласно WSAG (не менее 7:1)
Шрифт	Размер шрифта и его цвет должны быть легко изменяемы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Итоги Всемирного форума по вопросам образования 2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234002_rus. – Дата доступа: 12.10.2023.
2. Саламанская декларация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/pdf/salamanka.pdf. – Дата доступа: 12.10.2023.
3. Гаррет, Дж. Веб-дизайн. Элементы опыта взаимодействия / Дж. Гаррет; пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2008. – 129 с.
4. Транспортные университеты. Инклюзивное образование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rumc-rut.ru/transportnye-universitety/fgbou-vo-sankt-peterburgskiy-gosudarstvennyy-universitet-grazhdanskoy-aviatsii.php#>. – Дата доступа: 12.10.2023.
5. Bezrukova K., Spell C. S., Perry J. L., Jehn K. A. A meta-analytical integration of over 40 years of research on diversity training evaluation / K. Bezrukova, C. S. Spell, J. L. Perry, K. A. Jehn Psychological Bulletin. – 2016. – № 142(11). – С. 1227–1274. <https://doi.org/10.1037/bul0000067>.
6. Roldán, S. M. How Inclusive Interactive Learning Environments Benefit Students Without Special Needs / S. M. Roldán, J. Marauri, A. Aubert, R. Flecha // Front. Psychol. – 2021. – Vol. 12. – P. 14–27. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.661427>.
7. Казак, Т. В. Технологические и психологические аспекты разработки интерфейсов. Прикладные вопросы точных наук: материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей (АМТИ, г. Армавир, Россия) / Т. В. Казак, Н. И. Потапенко, А. Н. Василькова. – Армавир: РИО АГПУ, 2022 – 374 с.

REFERENCES

1. Itogi Vsemirnogo foruma po voprosam obrazovaniya 2015 g [Results of the World Education Forum 2015], available at: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234002_rus (accessed 12.10.2023).
2. Salamanskaja deklaracija [Salaman Declaration], available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/pdf/salamanka.pdf (accessed 12.10.2023).
3. Garrett, J. Web Design: A Book by Jess Garrett. Elements of interaction experience. Per. from English – St. Petersburg, Symbol-Plus, 2008. – 129 p.
4. Transportnye universitety. Inkluzivnoe obrazovanie [Transport universities. Inclusive education], available at: <https://rumc-rut.ru/transportnye-universitety/fgbou-vo-sankt-peterburgskiy-gosudarstvennyy-universitet-grazhdanskoy-aviatsii.php#> (accessed 12.10.2023).
5. Bezrukova K., Spell C.S., Perry J.L., Jehn K.A. A meta-analytical integration of over 40 years of research on diversity training evaluation. Psychological Bulletin, 2016, no. 142(11), pp. 1227-1274. <https://doi.org/10.1037/bul0000067>.
6. Roldán S.M., Marauri J., Aubert A., Flecha R. How Inclusive Interactive Learning Environments Benefit Students Without Special Needs. Front. Psychol, 2021, vol. 12, pp. 14-27. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.661427>.
7. Kazak T.V., Potapenko N.I., Vasil'kova A.N. Tehnologicheskie i psihologicheskie aspekty razrabotki interfejsov [Technological and psychological aspects of interface development] Prikladnye voprosy tochnyh nauk. Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov, prepodavatelej. Armavir, Armavirskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2022, 374 p.

Статья поступила в редакцию
13.10.2023

М. Ф. БАКУНОВИЧ, А. В. НАЙДОВИЧ

M. BAKUNOVICH, A. NAIDOVICH

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОММУНИКАТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ КУРСАНТОВ БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ АВИАЦИИ

RELATIONSHIP OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND COMMUNICATIVE ABILITIES OF BELARUSIAN STATE ACADEMY OF AVIATION CADETS

Бакунович Милана Фёдоровна – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологического обеспечения профессиональной деятельности учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка», Республика Беларусь
bakunovich-m@mail.ru

Найдович Александра Владимировна – магистр, преподаватель кафедры социально-гуманитарных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
AVNaidovich@gmail.com

Milana Bakunovich – Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor of the Department of Psychological Support of Professional Activities of Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank, Republic of Belarus
bakunovich-m@mail.ru

Aliaksandra Naidovich – Master, Teacher of the Department of Social and Humanitarian Disciplines of the Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
AVNaidovich@gmail.com

Аннотация: в статье раскрывается актуальность развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей в образовательном процессе подготовки авиационных специалистов. Приводятся данные эмпирического исследования, в ходе которого были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между уровнем развития эмоционального интеллекта и уровнем развития коммуникативных способностей у курсантов второго курса Белорусской государственной академии авиации.

Ключевые слова: эмоциональный интеллект, коммуникативные способности, подготовка авиационных специалистов.

Abstract: the article reveals the relevance of the development of emotional intelligence and communication skills in the educational process of training aviation specialists. Data from an empirical study are presented, during which statistically significant correlations were identified between the level of development of emotional intelligence and the level of development of communication abilities among 2nd year Belarusian state academy of aviation cadets.

Keywords: emotional intelligence, communication skills, training of aviation specialists.

Введение

Развитие эмоциональной культуры человека становится одной из наиболее актуальных проблем современной психологии. Ускоряется темп жизни, увеличивается число факторов стресса, возрастает конкуренция и ответственность при отсутствии свободных возможностей для полноценного отдыха, восстановления физических сил.

Развитый эмоциональный интеллект способствует эффективной ориентации человека в мире и адаптации в социуме, приспособлению человека к стрессовым ситуациям, а также выступает как один из ключевых факторов более успешной профессиональной деятельности.

Согласно данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), в значительном количестве событий, связанных с потерей контроля в полете, ключевую роль сыграл сбой в работоспособности человека и в его эмоциональных реакциях. Нарушение трудоспособности человека было вызвано стрессом, усталостью, невозможностью принимать решения

в экстремальных ситуациях и принимать меры по их предотвращению, отсутствием способности управлять своими эмоциями. Анализ авиакатастроф последних десятилетий указывает также на дефицит у авиационных специалистов навыков саморегуляции при принятии решения в условиях стрессовой ситуации [10].

Актуальность современных психологических исследований обуславливается необходимостью поиска возможностей снижения причин авиапроисшествий. Востребованы исследования, направленные на изучение механизмов саморегуляции, которые связаны с эмоциональным интеллектом, со способностями понимать свои эмоции и управлять ими в стрессовой ситуации.

Взаимосвязь эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей авиационных специалистов

Эмоции и чувства как особый класс психических процессов и состояний (человека и животных), связанных с инстинктами, потребностями [5], входит в регуля-

торную систему жизнедеятельности человека. Эмоции и чувства сопровождают все виды активности (деятельность, поведение, психические процессы и состояния). Они проявляются в мимике, жестах, интонациях голоса, двигательных реакциях и в физиологических явлениях (например, изменении дыхания, сердцебиения). Понимание своих эмоций и психического состояния другого усиливает способность человека управлять ими.

Проблемой эмоционального интеллекта активно занимались как зарубежные ученые (Д. Гоулман, Г. Орме, Дж. Мейер, П. Сэловей, Д. Карузо, Р. Бар-Он), так и отечественные (Д. В. Люсин, Э. Л. Носенко, Н. В. Коврига, О. И. Власова, С. П. Деревянко, М. А. Манойлова, Г. В. Юсупова, А. С. Петровская, Л. Д. Демина и др.). В белорусской психологии известны исследования эмоционального интеллекта, проведенные И. Н. Андреевой, Н. В. Дроздовой, А. П. Лобановым и другими. Исследования в области эмоционального интеллекта имеют разносторонний и междисциплинарный характер, что позволяет получить более глубокие и комплексные данные о его значимости в различных сферах жизни человека.

Эмоциональный интеллект понимается Д. В. Люсиным как способность к пониманию своих и чужих эмоций и к управлению ими [3]. В структуре эмоционального интеллекта Д. В. Люсиным выделяется два «измерения»:

1. Способность к пониманию эмоций или управлению ими.

Способность к пониманию эмоций предполагает, что человек может распознавать наличие эмоции, идентифицировать и называть ее, а также понимать ее причины и предвидеть возможные следствия. Следовательно, способность к пониманию эмоций означает, что человек обладает следующими возможностями: может распознать эмоцию, т. е. установить факт наличия эмоционального переживания у себя или другого человека; может идентифицировать эмоцию, т. е. установить, какую именно эмоцию испытывает он сам или другой человек, и найти для нее словесное выражение; понимает причины, вызвавшие данную эмоцию, и следствия, к которым она приведет.

Способность к управлению эмоциями означает, что человек может произвольно контролировать интенсивность эмоций и их внешнее выражение, вызывать необходимую эмоцию. Вместе с тем, способность к управлению эмоциями означает возможности человека приглушать довольно сильные эмоции, контролировать внешнее выражение эмоций, при необходимости вызвать ту или иную эмоцию.

2. Направленность на свои или чужие эмоции. На собственные эмоции направлен внутриличностный эмоциональный интеллект (ВЭИ), а на чужие – межличностный (МЭИ) [4, с. 33].

Эмоциональный интеллект является многофакторным феноменом. С одной стороны, это эмоциональная деятельность, а также когнитивная функция, способствующая саморегуляции посредством понимания и управления своих и чужих эмоций, с другой – эффективный навык адаптации и коммуникации в социуме.

Л. Д. Демина выделяет следующие функции эмоционального интеллекта: оценочно-прогностическую, регулятивно-контролирующую, мотивирующую, рефлексивно-корректирующую и коммуникативную. Следовательно, эмоциональный интеллект выступает как структурообразующий (эмоционально-коммуникативный) компонент психологической культуры личности [2].

Коммуникативная функция эмоционального интеллекта определяется потребностью понимать эмоции, выступающие как коммуникативные действия. Понимание эмоций сопровождается декодированием как вербального, так и невербального аспекта коммуникации. Вместе с тем, способность к пониманию эмоций и их выражение через коммуникацию помогает людям устанавливать и поддерживать гармоничные отношения, улучшает коммуникативное взаимодействие в целом, а также способствует разрешению межличностных конфликтов. Следовательно, эмоциональный интеллект играет важную роль в успешной социальной и межличностной коммуникации человека. Таким образом, можно сделать предположение о наличии взаимосвязи между уровнем развития эмоционального интеллекта и уровнем коммуникативных способностей человека.

Коммуникативные способности личности в разное время изучали такие отечественные ученые, как К. К. Платонов, Г. С. Васильев, А. Г. Ковалев, А. А. Кидрон, Л. М. Митина, М. В. Голубева, Н. И. Карасева, Е. А. Кукуев, Т. П. Абакирова, Н. А. Воробьева и др. В работах исследователей раскрываются проблемные вопросы вербальной и невербальной коммуникации, эмпатии, влияния культурных и социальных факторов на коммуникативные процессы и т. д.

К. К. Платонов рассматривает коммуникативные способности как способности к образованию межличностных отношений, обеспечивающие успешную коллективную деятельность и нахождение в ней каждой личностью своего места, а также сплочение коллектива, способность привлекать к себе людей [8, с. 128].

На сегодняшний день изучение взаимосвязи эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей является важной и актуальной темой в психологических исследованиях. Внимание к эмоциям других людей, способность понимать их чувства и сопереживать могут способствовать более эффективной коммуникации, что подтверждает значение и важность эмоциональной сферы как в личной, так и в профессиональной жизни человека. Потребность развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей в процессе подготовки авиационных специалистов обусловлена не только техническими аспектами работы в авиации, но и необходимостью эффективного взаимодействия с членами экипажа, диспетчерами, пассажирами и другими участниками авиационной деятельности.

Коммуникативные способности играют важную роль в обеспечении безопасности полетов, качественного обслуживания пассажиров и решении конфликтных ситуаций. В этой связи, актуальным направлением исследований в отечественной авиационной психологии является оптимизация CRM (Crew Resource Management) как технологии управления ресурсами экипажа для обеспечения точного и безошибочного взаимодействия в экипаже высокоавтоматизированных самолетов, изучение психологических закономерностей совместной деятельности специалистов различных авиационных служб.

Главными областями обучения по программе CRM являются:

- формирование навыков общения и формирование межличностных отношений, таких как навыки активного слушания и обратной связи, построенные на вежливой настойчивости, самоуважении, индивидуальной ответственности и участии, учете факторов возраста, знаний, положения в экипаже.

- развитие навыков принятия решения в условиях конфликта суждений;
- поддержка командира воздушного судна со стороны всех членов экипажа;
- развитие лидерских качеств, основанных на способности к доверительному общению, принятии мнения каждого члена экипажа, чувства ответственности за организацию работы в течение всего полета;
- улучшение способности не только уловить наличие стресса у других и приспособиться к нему, но в первую очередь предвидеть, распознать и справиться со своим собственным стрессом [9].

В профессиональной деятельности для авиационных специалистов играет важную роль человеческий фактор, включающий в себя уровень развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей.

Актуальность изучения человеческого фактора подтверждается современными исследованиями в области авиационной психологии.

О. В. Монченко, О. В. Бельтюкова изучали взаимосвязь эмоционального интеллекта и свойств принятия решений у борпроводников [7]. В результате проведенного исследования удалось подтвердить наличие связей между эмоциональным интеллектом и копингами принятия решения.

Л. М. Волкова занималась анализом авиационных происшествий на базе мониторинга психофизиологического состояния [1]. В работе акцентировано внимание на психофизиологической подготовке будущих пилотов гражданской авиации по «человеческому фактору». Исследователь пришла к выводу, что психофизиологическая подготовка качественно влияет на обучаемость экипажа, повышает безопасность полетов, формирует высокий уровень надежности применения летных навыков и, как следствие, сокращает число ошибок и летных происшествий.

Анализ научной литературы показывает недостаточную изученность вопроса взаимосвязи уровня эмоционального интеллекта и развития коммуникативных способностей и других особенностей личности авиационного специалиста, которые прямо или косвенно могут влиять на развитие коммуникативных способностей.

В этой связи было проведено эмпирическое исследование, цель которого — изучение характеристик эмоционального интеллекта курсантов и выявление взаимосвязи уровня развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей.

Базой исследования явилось учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации» (БГАА). В исследовании принимали участие курсанты второго курса, юноши в возрасте 19–20 лет ($n = 34$). В качестве диагностического инструментария были использованы следующие методики: опросник «Эмоциональный интеллект» (Д. В. Люсин), методика «Коммуникативные и организаторские склонности» (В. В. Сиявский, В. А. Федорошин).

Результаты и их обсуждение

Общие характеристики уровня эмоционального интеллекта у курсантов второго курса БГАА представлены на рисунках 1 и 2.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что 58,83 % ($n = 20$) курсантов второго курса полагают, что имеют средний уровень развития эмоционального интеллекта, 29,41 % ($n = 10$) предполагают о высоком

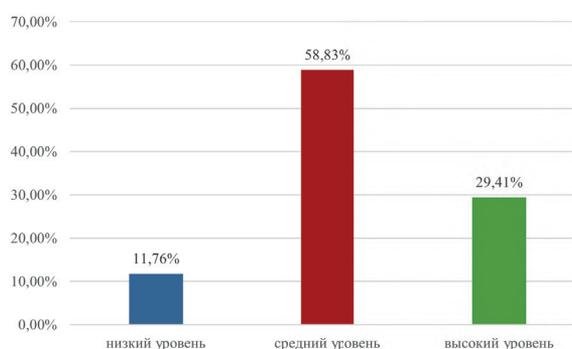


Рисунок 1 — Уровень развития эмоционального интеллекта, выраженный в процентных долях, у курсантов второго курса БГАА

уровне развития своего эмоционального интеллекта, а 11,76 % ($n = 4$) склонны полагать о низком уровне развития своего эмоционального интеллекта.

Средний уровень развития эмоционального интеллекта показывает, что курсанты могут понимать свои эмоции и эмоции других людей, а также управлять ими. Данный уровень развития эмоционального интеллекта, свидетельствует об умении определять свои чувства и эмоции, но и о возможности ошибки в распознавании эмоций других людей и сложности в управлении своим эмоциональным состоянием. Высокий уровень эмоционального интеллекта выражается в умении понимать свои эмоции и чувства других людей, способности управлять своей эмоциональной сферой. Поэтому в обществе поведение курсантов с высоким уровнем развития эмоционального интеллекта более адаптивно, они легче добиваются своих целей во взаимодействии с окружающими. Низкий уровень эмоционального интеллекта свидетельствует о том, что данные курсанты с трудом понимают, какие эмоции испытывают сами или другие люди, находясь в группе, не способны адекватно определить общую атмосферу в группе, предположить, каковы причины их эмоционального состояния и эмоциональных переживаний партнера по коммуникации, не осознают, каким образом их слова и действия могут изменить эмоциональное состояние другого человека, не замечают, когда их слова или действия расстраивают или обижают партнера, а также не могут предположить, каким образом испытываемая эмоция может повлиять на их поведение и действия другого человека.

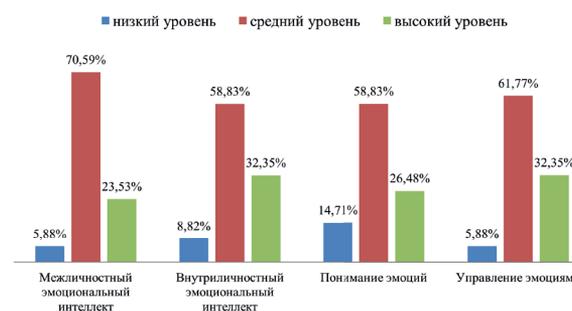


Рисунок 2 — Показатели сформированности эмоционального интеллекта у курсантов БГАА, выраженная в процентных долях

Полученные в ходе проведения исследования данные позволяют отметить, что 70,59 % курсантов ($n = 24$) демонстрируют средний уровень межличностного эмоционального интеллекта, высокий уровень наблю-

дается у 23,53 % ($n = 8$), низкий уровень – 5,88 % ($n = 2$). Следовательно, большинство курсантов полагают, что имеют средний уровень межличностного эмоционального интеллекта, то есть считают сформированными у себя навыки понимания и управления эмоциями других людей. Средний уровень развития межличностного эмоционального интеллекта говорит о том, что такие курсанты хорошо умеют налаживать отношения с другими, обладают способностью к эмпатии и эффективному решению конфликтов. Они также обладают хорошей коммуникативной и межличностной компетенциями. В свою очередь, высокий уровень межличностного эмоционального интеллекта выражается в способности понимать эмоции других людей, а также управлять своими эмоциями и не позволять им негативно влиять на взаимодействие с другими людьми. Курсанты, которые полагают, что имеют низкий уровень межличностного эмоционального интеллекта, склонны проявлять трудности со способностью к пониманию эмоций других людей и управлению ими, и это может негативно сказаться на их способности эффективно взаимодействовать с окружающими.

Средний уровень внутриличностного эмоционального интеллекта составляет 58,83 % ($n = 20$), высокий уровень – 32,35 % ($n = 11$), а низкий уровень – 8,82 % ($n = 3$). Данные свидетельствуют о том, что большая часть курсантов склонны полагать, что имеют средний уровень внутриличностного эмоционального интеллекта, то есть обладают способностью понимать свои собственные эмоции, умеют управлять своими чувствами, стремятся к саморазвитию и самопознанию. Курсанты со средним уровнем внутриличностного эмоционального интеллекта способны эффективно управлять стрессом, имеют высокую самооценку и уверенность в себе, способны определять свои потребности и ожидания от жизни. Такие курсанты могут лучше понять свои мотивы и ценности, что помогает им принимать более осознанные решения и лучше осознавать собственные желания и потребности. Высокий уровень внутриличностного эмоционального интеллекта выражается в глубоком понимании своих эмоций, их причин и последствий. Это включает в себя способность распознавать свои эмоциональные состояния и осознавать, как они влияют на мысли и поведение. Курсанты с низким уровнем внутриличностного эмоционального интеллекта испытывают трудности со способностью к пониманию собственных эмоций и управлению ими. Низкий уровень внутриличностного эмоционального интеллекта говорит о неспособности понимать собственные эмоции, определять причину и значение эмоций, неосознанно вовлекаться в эмоции.

Средний уровень понимания эмоций составляет 58,83 % ($n = 20$), высокий – 26,48 % ($n = 9$), низкий – 14,71 % ($n = 5$). Большинство курсантов полагают, что способны к пониманию своих и чужих эмоций. Средний уровень понимания эмоций обозначает, что у данной категории курсантов есть базовое понимание эмоций, но возможны некоторые недопонимания или затруднения в распознавании или интерпретации эмоций у других людей. Такой уровень развития понимания эмоций означает, что иногда курсантам трудно понять чувства других, и они могут испытывать затруднения в выражении своих собственных эмоций. Курсанты могут неправильно истолковывать эмоциональные выражения других или испытывать трудности в эмпатии. Тем не менее, средний уровень понимания эмоций говорит о том,

что у курсантов есть потенциал для развития навыков эмоционального интеллекта. Высокий уровень понимания эмоций означает, что человек обладает способностью глубоко и точно распознавать, интерпретировать и анализировать как свои собственные эмоции, так и эмоции других людей. При этом курсанты, у которых наблюдается низкий уровень понимания эмоций, могут испытывать трудности в распознавании, понимании и управлении своими собственными эмоциями, а также в понимании эмоций других людей. В результате они могут испытывать затруднения в общении, управлении стрессом и адаптации к различным ситуациям.

Средний уровень управления эмоциями демонстрируют – 61,77 % ($n = 21$), высокий уровень 32,35 % ($n = 11$), а низкий – 5,88 % ($n = 2$). Большинство курсантов полагают, что обладают средним уровнем управления эмоциями. Это свидетельствует о способности эффективно управлять собственными эмоциями в стрессовых ситуациях и адаптироваться к различным условиям. Средний уровень управления эмоциями подразумевает, что курсанты имеют базовую способность осознавать и контролировать свои эмоции. Они склонны испытывать трудности в управлении сильными чувствами, такими как гнев, страх или грусть, но в целом способны находить позитивные стратегии для регулирования своего внутреннего состояния. Такой уровень управления эмоциями означает, что курсант обладает потенциалом для дальнейшего развития навыков саморегуляции и поддержания эмоциональной устойчивости. Высокий уровень управления эмоциями означает, что человек обладает способностью эффективно контролировать и регулировать свои эмоциональные состояния, а также оказывать положительное влияние на эмоции других людей. Тем не менее, важно уделить внимание курсантам с низким уровнем управления эмоциями. Обучение навыкам управления эмоциями может помочь данной категории курсантов справиться со стрессом, конфликтными ситуациями и трудностями в повседневной жизни более эффективно.

Анализ уровня развития коммуникативных способностей позволил сделать вывод, что 41,18 % курсантов ($n = 14$) полагают, что имеют средний уровень развития коммуникативных способностей, высокий уровень – 35,29 % ($n = 12$), а низкий уровень – 23,53 % ($n = 8$). Полученные данные свидетельствуют о том, что курсанты, обладающие средним уровнем развития коммуникативных способностей, могут выражать свои мысли, слушать других и взаимодействовать в команде или коллективе. Высокий уровень развития коммуникативных способностей у курсантов свидетельствует об их способности эффективно общаться, убеждать других, решать конфликты и в целом успешно взаимодействовать с окружающими. Курсанты, которые имеют низкий уровень развития коммуникативных способностей, испытывают трудности в эффективной коммуникации, в убеждении других, в раскрытии своих мыслей и идей (рисунок 3).

С помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена была изучена взаимосвязь уровня развития эмоционального интеллекта и уровня развития коммуникативных способностей у курсантов БГАА. Существуют значимые корреляционные взаимосвязи между компонентами эмоционального интеллекта и уровнем развития коммуникативных способностей. Уровень развития межличностного эмоционального интеллекта имеет прямую корреляционную

взаимосвязь с уровнем развития коммуникативных способностей ($r = 0,803599$ на уровне $p < 0,5$). Уровень развития понимания эмоций имеет прямую корреляционную взаимосвязь с уровнем развития коммуникативных способностей ($r = 0,881269$ на уровне $p < 0,5$). Следовательно, чем выше уровень развития эмоционального интеллекта, тем выше уровень коммуникативных способностей.

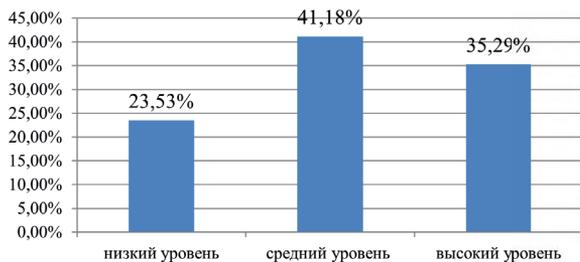


Рисунок 3 – Распределение уровней развития коммуникативных способностей у курсантов БГАА, выраженное в процентных долях

Учитывая установленные характеристики развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей, а также выявленные корреляционные связи, можно говорить о том, что изучаемые показатели сформированы недостаточно, что указывает на необходимость развития их в образовательном процессе. Исследование подтверждает необходимость повышения уровня эмоционального интеллекта курсантов посредством использования активных и интерактивных методов обучения (дискуссии, метод кейсов, тренинг, деловые игры) в процессе изучения таких дисциплин как «Авиационная инженерная психология и человеческий фактор», «Авиационная психология, педагогика и медицина» и «Основы психологии и педагогики».

Заклучение

Под эмоциональным интеллектом понимается способность к пониманию своих и чужих эмоций и к управлению ими. Эмоциональный интеллект находится в тесной взаимосвязи с общей направленностью личности на эмоциональную сферу, т. е. с интересом

к внутреннему миру людей (в том числе и к своему собственному), склонностью к психологическому анализу поведения, с ценностями, приписываемыми эмоциональным переживаниям.

Эмоциональный интеллект включает в себя умение понимать свои эмоции, управлять ими, а также эмпатию и умение чувствовать эмоции других людей. Эти навыки являются ключевыми для успешного межличностного общения. Навыки управления своими эмоциями позволяют регулировать свое поведение и реакции в различных ситуациях, что в свою очередь влияет на качество коммуникации. Развитый эмоциональный интеллект также способствует развитию способности воспринимать критику или конструктивную обратную связь без переживания серьезных эмоциональных реакций.

Проведенное исследование свидетельствует о том, что большая часть курсантов умеет хорошо налаживать отношения с другими, обладает способностью к эмпатии, к пониманию своих собственных эмоций, умеет управлять своими чувствами, стремится к саморазвитию и самопознанию, а также имеет базовое понимание эмоций, способна эффективно управлять собственными эмоциями в стрессовых ситуациях и адаптироваться к различным условиям. Курсанты склонны открыто выражать свои мысли, слушать других и взаимодействовать в команде или коллективе.

В ходе исследования были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между уровнем развития эмоционального интеллекта и уровнем развития коммуникативных способностей у курсантов второго курса БГАА и сделан вывод, что чем выше уровень развития эмоционального интеллекта, тем выше уровень коммуникативных способностей.

Представленные результаты исследования могут быть использованы по направлению подготовки специалистов в вопросах развития эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей. Перспективным продолжением изучения данной проблемы является исследование уровня эмпатических способностей коммуникативной социальной компетентности и коммуникативной толерантности у курсантов, а также изучение факторов, влияющих на уровень коммуникативных компетенций у будущих авиационных специалистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волкова, Л. М. Преодоление авиационных происшествий на базе мониторинга психофизиологического состояния / Л. М. Волкова // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2022. – №12. – С. 114–117.
2. Демина, Л. Д. Эмоциональный интеллект как структурообразующий компонент психологической культуры личности / Л. Д. Демина, Т. В. Манянина // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2010. – № 2–1. – С. 57–59.
3. Люсин, Д. В. Современные представления об эмоциональном интеллекте / Д. В. Люсин // Социальный интеллект. Теория, измерение, исследования / под ред. Д. В. Ушакова, Д. В. Люсина. – М.: Институт психологии РАН, 2004. – С. 29–36.
4. Люсин, Д. В. Способность к пониманию эмоций: психометрический и когнитивный аспекты / Д. В. Люсин // Социальное познание в эпоху быстрых политических и экономических перемен : материалы Первой междунар. науч.-практ. конф., Москва, 20–24 окт. 1999 г. / Рос. акад. наук, Ин-т психологии ; под ред. Г. А. Емельянова. – М., 2000. – С. 23–35.
5. Мещеряков, Б. Г. Большой психологический словарь / Сост. и общ. ред. Б. Г. Мещеряков, В. П. Зинченко. – СПб.: прайм-ЕВРОЗНАК, 2004. – 672 с.
6. Митрофанова, А. А. Психологические факторы безопасности деятельности по управлению воздушным транспортом: теоретический анализ научных представлений / А. А. Митрофанова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Психология. – 2020. – Т. 33. – С. 31–42.
7. Монченко, О. В. Взаимосвязь эмоционального интеллекта и свойств принятия решений у борпроводников [Электронный ресурс] / О. В. Монченко, О. В. Бельтюкова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2022. – № 12 (декабрь). – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2022/222017.htm>. – Дата доступа: 01.04.2024.
8. Платонов, К. К. Об изучении психологии учащегося / К. К. Платонов. – М.: Профтехиздат, 1961. – 143 с.
9. Циркуляр ИКАО (247-AN/148). Человеческий фактор: сб. материалов // Человеческий фактор в управлении и организации. – 1993. – № 10. – С. 5–15.
10. Циркуляр 217-AN/132. Человеческий фактор. Подготовка летного экипажа: оптимизация работы экипажа в кабине (CRM) и летная подготовка в условиях, приближенных к реальным (LOFT). – Монреаль : ICAO, 1989. – 73 с.

REFERENCES

1. Volkova L. M. Preodolenie aviacionnyh proisshhestvij na baze monitoringa psihofiziologicheskogo sostojanija [Overcoming of aviation accidents on the basis on monitoring the psychophysiological state] Uchenye zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta, 2022, no. 12, pp. 114–117.
2. Demina L. D., Manjanina T. V. Jemotional'nyj intellekt kak strukturoobrazujuščij komponent psihologicheskij kul'tury lichnosti [Emotional Intellect as Structure-Making Component of Psychological Culture] Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta, 2010, no. 2–1, pp. 57–59.

3. Ljusin D. V. Sovremennye predstavlenija ob jemocional'nom intellekte. Social'nyj intellekt. Teorija, izmerenie, issledovanija [Modern ideas about emotional intelligence. Social intelligence. Theory, measurement, research]. Ed. D. V. Ushakova, D. V. Ljusina. Moscow, Institut psihologii Rossijskoj akademii nauk, 2004, pp. 29–36.
4. Ljusin D. V. Sposobnost' k ponimaniju jemocij: psihometricheskij i kognitivnyj aspekty [The ability to understand emotions: psychometric and cognitive aspects] Social'noe poznanie v jepohu bystryh politicheskikh i jekonomicheskikh peremen : materialy Pervoj mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Moscow, October 20–24. 1999. Rossijskaya akademiya nauk, Institut psihologii. Ed. G. A. Emel'janova, 2000, pp. 23–35.
5. Meshherjakov B. G. Bol'shoj psihologicheskij slovar' [Big psychological dictionary]. Ed. B. G. Meshherjakov, V. P. Zinchenko. Saint Petersburg, prajm-EVROZNAK, 2004, 672 p.
6. Mitrofanova A. A. Psihologicheskie faktory bezopasnosti dejatel'nosti po upravleniju vozdušnym transportom: teoreticheskij analiz nauchnyh predstavlenij [Psychological factors affecting the safety of air flight control: theoretical analysis of scientific concepts] Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Psihologija, 2020, vol. 33, pp. 31-42.
7. Monchenko O. V., Bel'tjukova O. V. Vzaimosvjaz' jemocional'nogo intellekta i svojstv prinjatija reshenij u bortprovodnikov [Relationship between emotional intelligence and decision-making characteristics of stewards] Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal "Koncept", 2022, no. 12, available at: <http://e-koncept.ru/2022/222017.htm> (accessed 01.04.2024).
8. Platonov K. K. Ob izuchenii psihologii uchashhegosja [On the study of student psychology]. Moscow: Vsesojuzn. uchebno-pedagog. izd-vo «Proftehizdat», 1961, 143 p.
9. ICAO Circular (247-AN^o/148). Human factor: collection. materials [Human factor in management and organization], 1993, no.10.
10. Chelovecheskij faktor. Podgotovka letnogo jekipazha: optimizacija raboty jekipazha v kabine (CRM) i letnaja podgotovka v uslovijah, priblizhennyh k real'nyh (LOFT): Sbornik materialov № 2. Cirkuljar 217 - AN/132 [Human factor. Flight crew training: optimization of crew performance in the cockpit (CRM) and flight training in conditions close to real conditions (LOFT)]. Canada, Montreal, ICAO, 1989, 73 p.

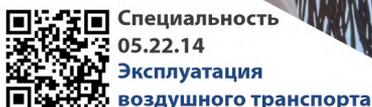
*Статья поступила в редакцию
05.05.2024*



Учреждение образования
«Белорусская государственная
академия авиации»



Аспирантура Эксплуатация воздушного транспорта



Специальность
05.22.14
Эксплуатация
воздушного транспорта

Аспирантура БГАА – это кузница научных кадров высшей квалификации: исследователей и преподавателей авиационной отрасли.

Научная квалификация «Исследователь»

Преимущества получения образования

Аспирантура является уровнем научно-ориентированного образования и направлена на подготовку специалистов, обладающих:

- ✓ навыками планирования;
- ✓ самостоятельностью проведения научных исследований;
- ✓ глубокими теоретическими знаниями.

- ✓ рост уровня образования;
- ✓ саморазвитие и личностное развитие;
- ✓ развитие критического мышления;
- ✓ расширение спектра возможностей для карьерного роста;
- ✓ возможность преподавать в учреждении высшего образования или работать в науке;
- ✓ возможности для исследований своих собственных теорий или работы над перспективными проектами;
- ✓ получение признания международного сообщества.

Обучение в аспирантуре

- ✓ углубленное изучение общеобразовательных и специальных дисциплин;
- ✓ сдача установленных кандидатских экзаменов и зачетов (для обучающихся в форме соискательства);
- ✓ овладение методами и средствами научных исследований;
- ✓ выполнение научных исследований по актуальным темам;
- ✓ систематизация и обобщение полученных результатов.

Требования к кандидатам

- ✓ высшее образование;
- ✓ склонность к научным исследованиям, что подтверждается научными публикациями, участием в научно-исследовательских и инновационных проектах, конференциях или другими материалами;
- ✓ рекомендация ученого совета учреждения высшего образования или факультета этого учреждения (для поступающих в год окончания обучения в данном учреждении) либо опыт практической работы не менее 2 лет на должностях, требующих наличия высшего образования.

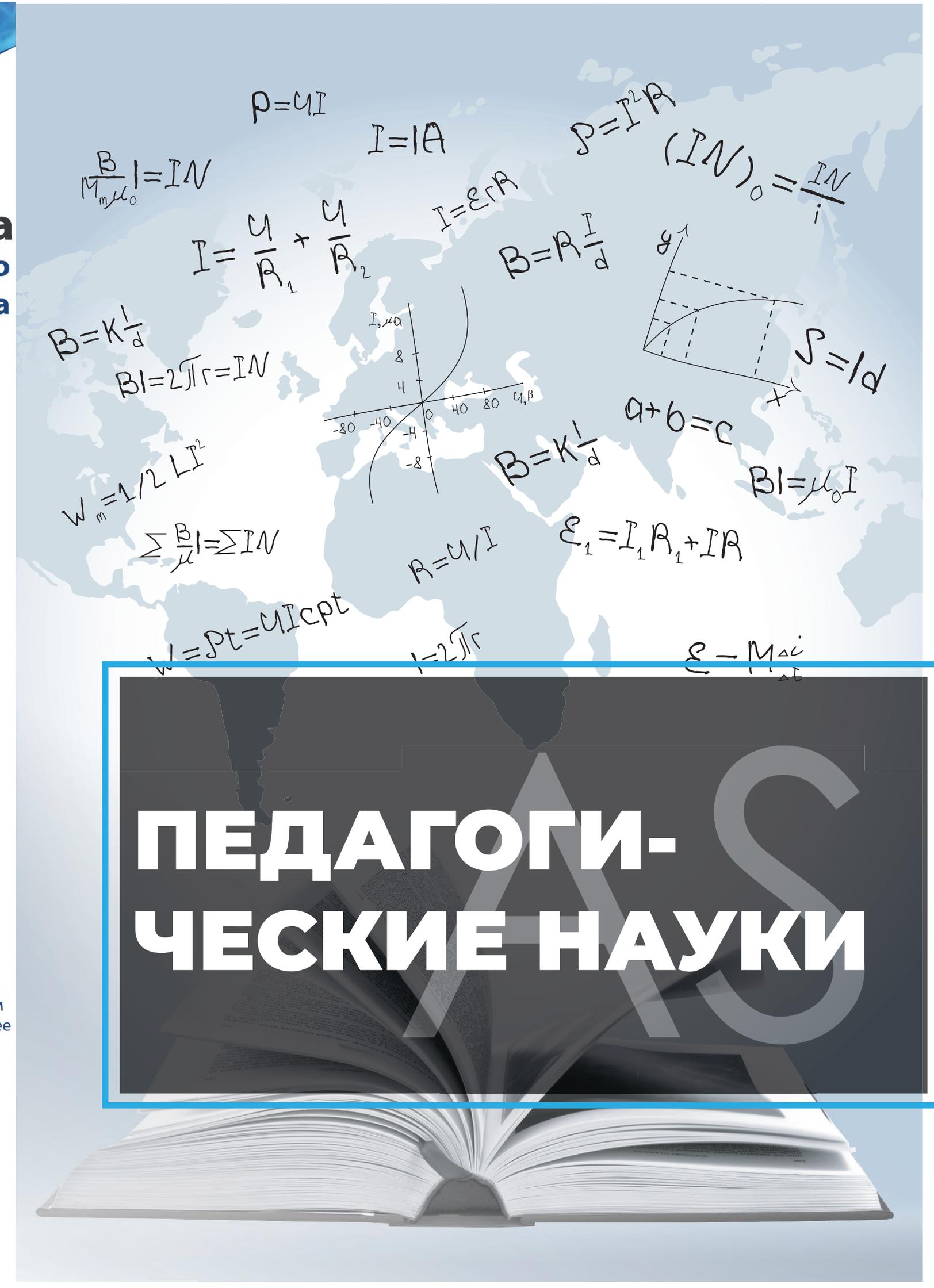


Приглашаем будущих лидеров отрасли!

220096, Республика Беларусь, г. Минск,
ул. Уборевича, 77,
учебный корпус №3, каб. 3214
тел.: +375 17 249-97-65

Период обучения

- ✓ в дневной форме – 3 года;
- ✓ в заочной форме – 4 года;
- ✓ в форме соискательства – 5 лет.



$$P = UI$$

$$I = IA$$

$$P = I^2 R$$

$$\frac{B}{\mu_0} l = IN$$

$$I = \epsilon r A$$

$$(IN)_0 = \frac{IN}{i}$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

$$B = R \frac{I}{d}$$

$$B = k \frac{I}{d}$$

$$BI = 2\sqrt{I} r = IN$$



$$a + b = c$$

$$B = k \frac{I}{d}$$

$$BI = \mu_0 I$$

$$W_m = 1/2 LI^2$$

$$\sum \frac{B}{\mu} l = \sum IN$$

$$R = U/I$$

$$\epsilon_1 = I_1 R_1 + IR$$

$$W = Pt = UIcpt$$

$$I = 2\sqrt{I} r$$

$$\epsilon - \frac{M \Delta c}{\Delta t}$$

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ШКАЛ В РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНИВАНИЯ КУРСАНТОВ

EFFECTIVENESS OF USE OF VARIOUS SCALES IN THE RATING SYSTEM FOR ASSESSMENT OF CADETS

Филиппенко Ольга Сергеевна – магистр физико-математических наук, старший преподаватель кафедры общей физики Белорусского государственного университета, Республика Беларусь
volhafilippenko@gmail.com

Olga Filippenko – Master of Physics and Mathematics, Senior lecturer of the Department of General Physic of Belarusian State University, Republic of Belarus
volhafilippenko@gmail.com

Капустин Александр Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных и профессиональных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
kapustin2649@mail.ru

Alexander Kapustin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Natural Science and Professional Disciplines of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
kapustin2649@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается применение рейтинговой системы оценивания в учебном процессе. Рейтинговая система является современным инструментом контроля обучения, позволяющим делать схему оценивания более транспарентной, учитывать индивидуальный подход к каждому курсанту. Анализируются общие подходы к построению рейтинговых систем: основные понятия, анализ используемых шкал. Приводится обзор действующих рейтинговых систем, используемых в других университетах (БГУ, БГУИР), выявляются общие и отличительные черты. В статье приводится пример рейтинговой системы, составляется шкала оценивания, указываются результаты ее использования. Подробно описана процедура назначения баллов и штрафов по различным видам работ. Сравнение эффективности разработанной шкалы и иных шкал (стенов и процентилей) производится посредством методов математической статистики, в частности при помощи параметрического оценивания. Критерий χ^2 позволяет оценить соответствие результатов, полученных по разработанной шкале, нормальному распределению. Проверка используемой шкалы со шкалой процентилей и стенов осуществляется по тесту Тьюки – Крамера, сравнение дисперсий выборок – по критерию Стьюдента. Использование рейтинговой системы является эффективным инструментом обучения. Указанная рейтинговая система может быть использована в различных учебных дисциплинах при незначительных изменениях касающихся структуры курса.

Ключевые слова: рейтинговая система, шкала оценивания, текущий контроль, итоговый контроль, стенов, процентиля, статистические критерии, тест Тьюки – Крамера, критерий Стьюдента.

Abstract: the paper presents an analysis the rating assessment system in the educational process. The rating system is a modern learning control tool that allows you to make the assessment scheme more transparent and take into account an individual approach to each student. The article analyses approaches to the construction of rating systems are analyzed: basic concepts, used scales. This article gives an overview current rating systems and their application in other universities (BSU, BSUIR) is provided, and common features and differences are identified. The article gives an example of a rating system, grading scale is made, specify the results of its use. The procedure for assigning points and fines for various types of work is described in detail. Comparison of the effectiveness of the developed scale and other scales (stens and percentiles) is carried out using methods of mathematical statistics, in particular, using parametric evaluating. The χ^2 criterion allows us to assess the correspondence of the results obtained on the developed scale to the normal distribution. The used scale is checked with the percentile and standard tens" or Stens using the Tukey-Kramer test, and sample variances are compared using the Student's (t-test). The use of the rating system is an effective learning tool. The specified rating system can be used in various academic disciplines, changes related to the implementation in the course structure.

Keywords: the rating system, the current control, the final control, grading scale, standard tens (stens), percentiles, statistical criteria, Tukey-Kramer test, Student's t test, χ^2 criterion.

Введение

Введение рейтинговой системы оценки знаний является достаточно серьезным инструментом мотивации курсантов. Современное образование требует новых подходов и новых инструментов. В соответствии с Постановлением Министерства образования об аттестации, требуется более эффективное обучение курсантов, их активная вовлеченность

в учебный процесс, прозрачность оценивания полученных знаний [1]. Выставление рейтинговых баллов способствует заинтересованности курсантов в обучении, посещении занятий. Главным вопросом остается, как в современном мире при наличии свободного доступа к информации в сети интернет, с развитием искусственного интеллекта реализовать функцию обучения. Рейтинговая система является удобным инструментом для реализации этой функции, т. к. позволяет:

- производить оценивание курсанта более объективно в течение семестра;
- осуществлять срез знаний курсанта за более продолжительное время;
- мотивировать курсантов и научить их работать;
- оптимизировать схемы оценивания в ходе семестра для преподавателя;
- применить «отрицательную» мотивацию для курсантов, т. е. возможны не только дополнительные (бонусные) баллы, но и штрафы (вычитание баллов, например, за пропуски);
- обеспечивать открытость и объективность при выставлении отметки.

Для каждого вуза вводится своя рейтинговая система. Так были проанализированы положения о рейтинговой системе, принятые в БГУ и БГУИР, в основе которых лежат общие положения к ее составлению [2, 3]. Положение о модульно-рейтинговой системе обучения разрабатывается самим вузом на основании Кодекса Республики Беларусь об образовании и Устава учреждения образования [4].

Рейтинг представляет собой индивидуальный накопительный показатель, характеризующий качество обучения по заданным параметрам. В рамках модульно-рейтинговой системы вводится понятие текущего контроля, текущей аттестации, итоговой аттестации. В ходе текущего контроля осуществляется совокупность мероприятий по проверке знаний, в т. ч. с использованием электронных средств обучения. Текущая аттестация предусматривается учебными планами, осуществляется путем проведения зачета, дифференцированного зачета, экзамена. Итоговая отметка представляет собой результат суммирования текущего контроля и текущей аттестации. Итоговая отметка по учебной дисциплине предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации обучающихся [2].

«Весовые коэффициенты, вводимые для текущего контроля и текущей аттестации в итоговую отметку по учебной дисциплине, ежегодно утверждаются кафедрой, ответственной за преподавание данной дисциплины. Допуск к текущей аттестации осуществляется на основании того, что по мероприятиям текущего контроля по учебной дисциплине получена положительная (4 и выше) отметка текущей успеваемости по дисциплине» [2].

Использование рейтинговой системы оценивания расширяет возможности используемых инструментов взаимодействия с курсантами.

Виды шкал в рейтинговой системе оценивания

Рейтинговую систему преподаватель может составлять с учетом тех критериев, которые пригодны для реализации компетенций по заданной учебной дисциплине. В основе рейтинговой системы оценивания лежат методы математической статистики. Рейтинговая система индивидуальна, зависит от дисциплины, точек контроля и т. д. На основе анализа положений о рейтинге других вузов были выделены общие моменты в их реализации. Кроме того, рассмотренные рейтинговые системы содержат в своей основе статистические шкалы оценивания.

По классификации статистических шкал по С. Стивенсону выделяют:

- номинальную шкалу (шкала наименований);
- шкалу порядка (порядковая, ранговая, ординальная);
- интервальную шкалу;
- шкалу отношений.

Номинальная шкала носит описательный характер. Нет упорядочивания, расстояний между элементами и точки отсчета. С подобными шкалами можно производить только сравнение.

Шкала порядка позволяет ранжировать и оценивать элементы на основе их относительного положения или приоритета. Порядковая шкала и шкала наименований являются шкалами качественных признаков.

Интервальная шкала (разностей) — это расширенный вариант порядковой шкалы, в которой уровни упорядочены, а интервалы между ними равны. Основное отличие — свойство равных интервалов. Интервальная шкала не только позволяет однозначно определить, какое значение больше (меньше), но и на сколько.

Шкала отношений (абсолютная) является самой обширной из приведенных. Может рассматриваться как расширенный вариант интервальной шкалы и удовлетворяет четырем свойствам шкалы измерения: идентифицируемости, величине, равноинтервальности и наличию нуля.

Каждая из шкал позволяет вычислять различные статистические и математические величины, причем шкалы представлены по мере увеличения их функционала. Так номинальная шкала определяет лишь расчет некоторых характеристик, а шкала отношений использует все понятия, законы, соотношения математической статистики.

Чаще всего используется шкала порядка и интервальная шкала. Шкала порядка включает рейтинг, что обуславливает ее широкое применение в обучении. Однако интервальная шкала представляет более широкий инструментарий. Интервальная шкала — количественная и позволяет оценивать соотношения между объектами, вводить произвольную точку отсчета. Чаще всего она используется в педагогике.

Используемая шкала

Представим вариант рейтинговой системы, построенной на основании требований, обобщенных и полученных по опыту других вузов [2, 3, 5], а также на основании положения, разработанного в Белорусской государственной академии авиации [4].

В рейтинговой системе предполагается составление графиков контрольных мероприятий, определяется порядок формирования итоговой отметки по учебной дисциплине. В рейтинговую оценку входит текущий контроль — совокупность мероприятий для проверки знаний курсантов во время лекций, практических, семинарских, лабораторных занятий и по итогам управляемой самостоятельной работы обучающихся, в том числе с использованием электронных средств обучения [2]. За проводимые мероприятия текущего контроля курсанты получают баллы, которые затем суммируются. Полученные баллы переводят при помощи шкалы, утвержденной кафедрой, в отметки по 10-балльной системе. Порядок формирования итоговой отметки предполагает установление весовых коэффициентов, которые фиксируют вклад назначенных мероприятий текущего контроля и результатов текущей аттестации.

В статье рассматриваются применение рейтинговой системы оценивания на примере дисциплины «Автоматика и управление» (АиУ). Однако, немного видоизменяя, ее можно применить к любым другим дисциплинам. Ранее также рейтинговая система была апробирована в курсе физики [5].

Структуру рейтинговой системы этого курса можно представить в виде схемы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структура рейтинговой системы курса

Из рисунка следует, что отдельным модулем в АиУ является курсовая работа (КР), которая представляет собой подсистему со своими бонусами и штрафами (таблица 1). Поскольку КР является допуском к зачету, в блок-схеме она указана на более высоком уровне.

Так как текущая аттестация предусматривает выставление отметки за КР, то для перевода баллов в отметку по 10-бальной шкале взята шкала, представленная на рисунке 2 (на рисунке указаны диапазоны только положительных отметок).

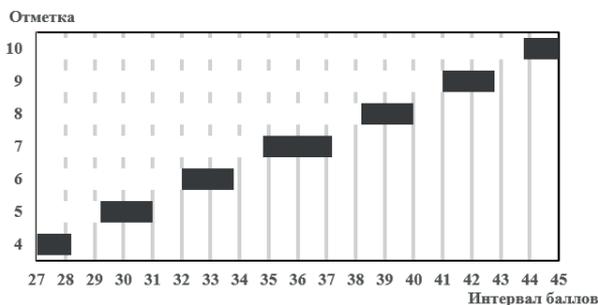


Рисунок 2 – Шкала соответствия баллов и отметки по курсовой работе по 10-бальной системе

Как видно из рисунка, представленная шкала неравномерна, что способствует более адекватному оцениванию и описывается моделью нормального распределения. Нормальность распределений будет указана далее при помощи параметрических статистических критериев.

Рейтинг составляется на основе набранных баллов для каждого курсанта индивидуально. После суммирования баллов осуществляется их перевод по заданной шкале в отметку по 10-бальной системе.

Аналогичная шкала составляется для всего курса. Баллы за модули курса распределены в соответствии с таблицей 2.

Баллы за КР также входят в общую сумму. Стоит отметить, что баллы по разным видам работы могут входить с различными весовыми коэффициентами. Ве-

совые коэффициенты вводятся общим решением на кафедре. На рисунке 3 приведена шкала перевода баллов по текущему контролю за курс в отметки по 10-бальной системе.

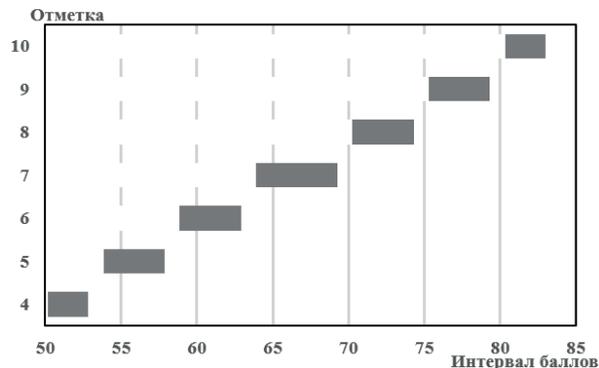


Рисунок 3 – Шкала соответствия баллов и отметки по 10-бальной системе по курсу

На примере дисциплины АиУ приводится расчет общего балла по текущим контрольным мероприятиям:

$$P_{\text{тек}} = 0,4 \cdot P_{\text{кр}} + 0,6 \cdot P_{\text{мод}} = 0,4 \cdot P_{\text{кр}} + 0,2 \cdot (P_{\text{л}} + P_{\text{пз}} + P_{\text{лаб}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{кр}}$ – баллы за КР, $P_{\text{мод}}$ – баллы за модули, в которые входят $P_{\text{л}}$, $P_{\text{пз}}$, $P_{\text{лаб}}$ – баллы по лекциям, практическим занятиям и лабораторным работам соответственно.

Если масштабировать расчет рейтинга на другие дисциплины, то формула (1) изменит свой вид. Связано это с тем, что выбор весовых коэффициентов, типы выполняемых контрольных мероприятий зависят от дисциплины.

Расчет итоговой отметки осуществляется по формуле

$$P = 0,5 \cdot P_{\text{тек}} + 0,5 \cdot P_{\text{аттест}}. \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим примеры заполнения рейтинга курсантов (таблица 3). В таблице указаны баллы, полученные курсантами за лекции, практические занятия и лабораторные работы. Эти баллы обобщаются в модуль 1, вес которого при расчете отметки составляет 0,6. КР представляет отдельный модуль. Общая отметка за курс после перевода указана в балах.

Из таблицы можно сделать выводы о среднем балле по группе и средней отметке, также можно рассмотреть весовые коэффициенты каждой из форм работы, установить корреляцию между ними. Средствами пакета анализа произведена оценка коэффициента корреля-

Таблица 1 – Баллы за курсовую работу

Вид работы	Оформление, содержание	Штрафы за оформление	Защита	Штрафы за защиту	Максимальный балл
Баллы	1 – 10	– 2	1 – 10	– 5	45

Таблица 2 – Баллы за модули курса

Виды работ	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы
Посещение (за одно занятие)	0 – 2	0 – 2	0 – 2
Посещение (за все занятия)	0 – 32	0 – 10	0 – 10
Задание	0 – 5	0 – 10	0 – 10

ции между отметками по курсовой и отметками модуля 1, значение коэффициента 0,55.

Для более объективной оценки используем однофакторный дисперсионный анализ. За начальную гипотезу принимаем, что средние отметки по курсовой и общая отметка за курс будут иметь одинаковые (подобные) средние баллы.

Проведя по большей выборке однофакторный дисперсионный анализ в учебных группах, рассмотрим на сколько объективным оказывается оценивание КР и отметки за курс в целом. Однофакторный дисперсионный анализ показывает, что средний балл по курсовой составляет 6,18, курса – 7,27. При этом дисперсия отметок по курсовой – 2,16, по курсу – 2,08. Результат однофакторного дисперсионного анализа приводится в таблице 4.

Интерпретация результатов осуществляется по критерию Фишера. Проверяется равенство дисперсий для отметки за КР и отметки за курс. Если $F < F_{кр}$, то нулевую гипотезу можно принять – дисперсии равны. Поскольку значение $p = 0,092$, что больше уровня значимости $\alpha = 0,05$, принятого в критерии, гипотезу принимаем. Т. е. отметки по курсовой и по курсу коррелируют между собой.

Статистическое оценивание шкал

Для оценки эффективности шкалы применим параметрические статистические критерии.

Сначала проверим гипотезу о соответствии используемой шкалы нормальному распределению.

Произведем оценку по критерию Пирсона (χ^2). Поскольку p -значение равно 1, и оно не меньше 0,05, мы не можем отвергнуть нулевую гипотезу. Делаем вывод о нормальности распределения.

Построив график для шкалы, видим нормальное распределение (рисунок 4).

Сравним используемую шкалу со шкалой стенов, которую часто используют при расчете баллов и перцентилей. Проверку осуществляем по однофакторному

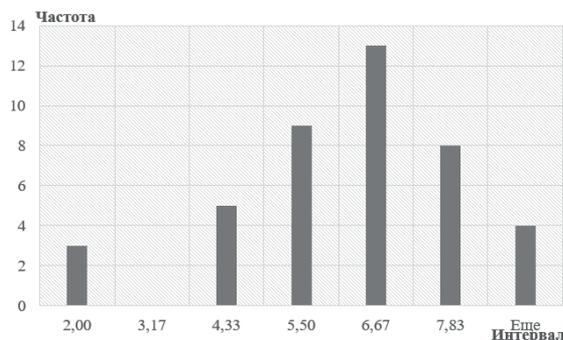


Рисунок 4 – Проверка используемой шкалы на соответствие нормальному распределению

дисперсионному анализу. При сравнении трех шкал видим, что средние значения шкал различны (таблица 5).

По критерию Стьюдента за нулевую гипотезу принимается равенство средних в двух шкалах. Если $p < p_{кр}$, $F < F_{кр}$ – гипотеза принимается, в противном случае – отвергается. Расчеты произведены в пакете анализа MS Excel. Значение p -критического равно 0,003, что меньше 0,05. Само значение $F = 5,86$, его критическое значение $F_{кр} = 3,07$. Как видно из значений, $F > F_{кр}$, что указывает на различия в средних в шкалах. Далее по тесту Тьюки – Крамера проверяем попарно три шкалы и их согласование. Приходим к выводу, что разработанная шкала согласуется со шкалой стенов. Рассмотрим шкалу стенов и используемую шкалу (рисунок 5).

Проверку шкалы стенов и используемой шкалы проведем по двухвыборочному t -тесту с разными дисперсиями. Исходная гипотеза проверяет равенство дисперсий выборок при условии, что $P(T \leq t)$ двухстороннее больше α . Если условие не выполняется, значит выборки и шкалы сильно отличаются. Результат теста представлен в таблице 6.

Из таблицы рассматриваем значение $P(T \leq t)$ двухстороннее 0,36, оно больше уровня значимости $\alpha = 0,05$ и свидетельствует о подобии выборок и шкал.

Таким образом, шкалу можно принять в качестве используемой в учебном процессе.

Таблица 3 – Пример заполнения рейтинга курсантов по группе

Курсанты	л + пз + лаб	0,6(модуль)	Курсовая	0,4курсовая	Итог	Отметка
Курсант 1	219	43,8	20	8,0	51,8	4
Курсант 2	193	38,6	36	14,4	53,0	5
Курсант 3	197	39,4	38	15,2	54,6	5
Курсант 4	290	58,0	43	17,2	75,2	9
Курсант 5	258	51,6	39	15,6	67,2	7
Курсант 6	205	42,6	40	16,0	58,6	6
Курсант 7	219	43,8	33	13,2	57,0	5
Курсант 8	228	45,6	35	14,0	59,6	6
Курсант 9	253	50,6	35	14,0	64,6	7
Курсант 10	260	48,0	31	12,4	60,4	6
Курсант 11	277	55,4	36	14,4	69,8	8
Итог	236,3	47,0	35,1	14,0	61,1	6,2

Таблица 4 – Однофакторный дисперсионный анализ

	p	F	$F_{кр}$
Между курсовой и отметкой курса	0,092	3,13	4,35

Таблица 5 – Результаты сравнения трех шкал

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
Стены	42	253,0	6,02	3,98
Используемая	42	238,0	5,67	2,47
Процентили	42	183,2	4,36	10,02

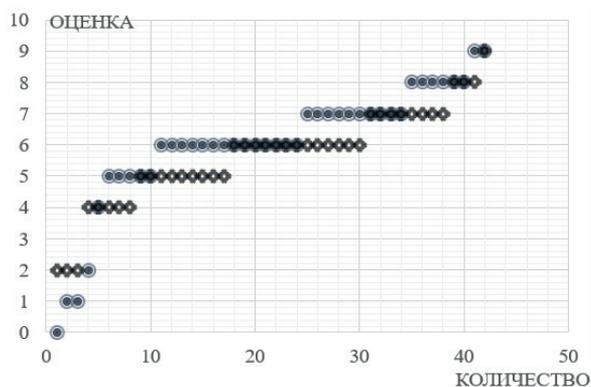


Рисунок 5 — Сравнение используемой шкалы и шкалы стенов

Заключение

В статье рассматривается использование рейтинговой системы оценивания в обучении курсантов на примере дисциплины «Автоматика и управление». Рейтинговая система является универсальным инструментом оценивания и может быть использована в различных учебных дисциплинах как естественнонаучного, так и гуманитарного профиля.

Отдельное внимание в статье уделяется составлению шкалы оценивания, ее нормировке.

Проведен анализ используемой шкалы в сравнении с другими часто используемыми шкалами: стенов и процентилей. При помощи параметрических критериев про-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования: постановление Министерства образования Республики Беларусь, 13 октября 2023 г., № 319 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22340729>. – Дата доступа: 18.02.24.
2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bsu.by/upload/All_units/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE_%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5_2020.pdf. – Дата доступа: 25.02.24.
3. Положение о модульно-рейтинговой системе обучения и оценки успеваемости студентов БГУИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bsuir.by/m/12_101523_1_74816.pdf. – Дата доступа: 25.02.24.
4. Методические рекомендации по организации рейтинговой системы оценки знаний курсантов по учебным дисциплинам кафедр в УО «Белорусская государственная академия авиации». – Минск : БГАА, 2020. – 10 с.
5. Физика: учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности: 6-05-0531-01 Химия профилизации: Фармацевтическая деятельность, Зеленые химические технологии функциональных материалов и систем, Химико-аналитическая и экспертная деятельность 6-05-0531-02 Химия лекарственных соединений профилизации: Медицинская и биофармацевтическая химия, Аналитическая биофармахимия 6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность) 7-07-0531-01 Фундаментальная химия профилизация: Современная теоретическая и экспериментальная химия 7-07-0531-02 Химия высоких энергий, № УД-155/б/н. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/302287>. – Дата доступа: 25.02.24.
6. Челышкова, М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов / М. Б. Челышкова. – М. : Логос, 2002. – 432 с.
7. Новиков, Д. А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типичные случаи) / Д. А. Новиков. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 67 с.
8. Ермолаев, О. Ю. Математическая статистика для психологов: учебник / О. Ю. Ермолаев. – 2-е изд., исп. – М. : Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2003. – 122 с.

REFERENCES

1. Postanovlenie Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus' 13 oktjabrja 2023 g. № 319 ob utverzhenii pravil provedeniya attestacii studentov, kursantov, slushatelej pri osvoenii sodержaniya obrazovatel'nyh programm vysshego obrazovaniya [Resolution of the Ministry of Education of the Republic of Belarus of October 13, 2023 No. 319 on approval of the rules for certification of students, cadets, listeners when mastering the content of educational programs of higher education], available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22340729> (accessed 02.18.24).
2. Polozhenie o rejtingovoj sisteme ocenki znanij obuchajushihhsja po uchebnoj discipline v Belorusskom gosudarstvennom universitete [Regulations on the rating system for assessing students' knowledge in an academic discipline at the Belarusian State University], available at: https://bsu.by/upload/All_units/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE_%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5_2020.pdf (accessed 02.25.24).
3. Polozhenie o modul'no-rejtingovoj sisteme obuchenija i ocenki uspevaeomosti studentov BGUIR [Regulations on the module-rating system of training and assessment of student performance of BSUIR], available at: https://www.bsuir.by/m/12_101523_1_74816.pdf (accessed 02.25.24).
4. Metodicheskie rekomendacii po organizacii rejtingovoj sistemy ocenki znanij kursantov po uchebnym disciplinam kafedr v UO «Belorusskaja gosudarstvennaja akademija aviicii» [Methodological recommendations for organizing a rating system for assessing cadets' knowledge in academic disciplines of departments at the Belarusian State Aviation Academy]. Minsk, BGAA, 2020, 10 p.
5. Fizika: uchebnaja programma uchrezhdenija vysshego obrazovaniya po uchebnoj discipline dlja special'nosti: 6-05-0531-01 Himija profilizacii: Farmaceuticheskaja dejatel'nost', Zelenye himicheskie tehnologii funkcional'nyh materialov i sistem, Himiko-analiticeskaja i jekspertnaja dejatel'nost' 6-05-0531-02 Himija lekarstvennyh soedinenij profilizacii: Medicinskaja i biofarmaceuticheskaja himija, Analiticeskaja biofarmahimija 6-05-0531-04 Himija (nauchno-pedagogicheskaja dejatel'nost') 7-07-0531-01 Fundamental'naja himija profilizacija: Sovremennaja teoreticheskaja i jeksperimental'naja himija 7-07-0531-02 Himija vysokih jenergij, № UD-155/b/n [Physics: curriculum of a higher education institution in the academic discipline for the specialty: 6-05-0531-01 Chemistry specialization: Pharmaceutical activities, Green chemical technologies of functional materials and systems, Chemical-analytical and expert activities 6-05-0531-02 Chemistry of medicinal compounds majors: Medical and biopharmaceutical chemistry, Analytical biopharmaceutical chemistry 6-05-0531-04 Chemistry (scientific and pedagogical activities) 7-07-0531-01 Fundamental chemistry majors: Modern theoretical and experimental chemistry 7-07-0531-02 High energy chemistry, No. UD - 155/b/n], available at: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/302287> (accessed 02.25.24).
6. Chelyshkova M.B. Teorija i praktika konstruirovanija pedagogicheskikh testov [Theory and practice of constructing pedagogical tests]. Moscow, Logos, 2002, p. 432.
7. Novikov D.A. Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovanijah (tipovye sluchaj) [Statistical methods in pedagogical research (typical cases)]. Moscow, MZ-Press, 2004, 67 p.
8. Ermolaev O.Yu. Matematicheskaja statistika dlja psihologov: uchebnik [Mathematical statistics for psychologists: Textbook] Moscow, Moskovskij psihologo-social'nyj institut: Flinta, 2003, 122 p.

Статья поступила в редакцию
11.03.2024

Таблица 6 — Результат t-теста		
	Шкала стенов	Используемая шкала
Среднее	6,02	5,67
Дисперсия	3,98	2,47
Наблюдения	42,00	42,00
Гипотетическая разность средних	0,00	
df	78,00	
t-статистика	0,91	
P(T ≤ t) одностороннее	0,18	
t критическое одностороннее	1,66	
P(T ≤ t) двухстороннее	0,36	
t критическое двухстороннее	1,99	

изводится сравнение шкал, проверяется адекватность составленной шкалы и делается вывод о ее применимости в учебном процессе. Из проведенных исследований следует, что использованная шкала оценивания эффективна, следовательно, и сама рейтинговая система также.

Стоит отметить, что, вводя иные виды работы, весовые коэффициенты, баллы, шкалу можно масштабировать и адаптировать к любой дисциплине.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF TEACHING THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS WITH NEW PROGRESSIVE TECHNOLOGIES

Гурвич Юрий Абрамович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
gu1944@yandex.by

Крамник Константин Константинович – преподаватель кафедры средств наземного обеспечения полетов учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь

Демко Антон Юрьевич – курсант учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь
dtk2002@mail.ru

Бурдин Иван Леонидович – курсант учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь

Сенокосов Глеб Антонович – курсант учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации», Республика Беларусь

Yuri Gurvich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Natural Sciences and General Professional Disciplines of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
gu1944@yandex.by

Konstantin Kramnik – Lecturer of the Department of Ground Flight Support Facilities of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus.

Anton Dzemka – Cadet of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus
dtk2002@mail.ru

Ivan Burdin – Cadet of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus

Gleb Senokosov – Cadet of Belarusian State Academy of Aviation, Republic of Belarus

Аннотация: за последние два десятилетия в литературе появились описания методик, методов и компьютерных программ, способствующих сокращению разрыва между методами проектирования машин в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов и знаниями обучающихся по теоретической и прикладной механике. К настоящему моменту было предложено еще несколько новых методов – рациональное решение, идентификация, выбор и многокритериальный синтез. Реализация этих методов уже частично осуществляется в различных по сложности статических составных конструкциях и в решениях задач кинематики сложного движения точки. Применение в учебном процессе всех этих новых методик, методов и компьютерных программ будет способствовать формированию у студентов, магистрантов и аспирантов навыков многокритериального подхода; повышению уровня их квалификации и сокращению разрыва между современными методами проектирования машин и знаниями по теоретической и прикладной механике.

Ключевые слова: идентификация, выбор, методы многокритериального синтеза составных конструкций и кинематики сложного движения точки, многокритериальное мышление, современные методы проектирования машин, теоретическая и прикладная механика.

Abstract: over the past two decades, descriptions of techniques, methods and computer programs have appeared in the literature that contribute to reducing the gap between the methods of designing machines in the form of computational and methodological multi-criteria apparatus and the knowledge of students in theoretical and applied mechanics. To date, several new methods have been proposed: rational decision, identification, selection, and multi-criteria synthesis. The implementation of these methods is already partially carried out in static composite constructions of various complexity and in solving problems of kinematics of complex point motion. The use of all these new techniques, methods and computer programs in the educational process will contribute to the formation of multi-criteria thinking skills in cadets, undergraduates and graduate students; to improve their skills and reduce the gap between modern methods of machine design and knowledge of theoretical and applied mechanics.

Keywords: identification, selection, methods of multi-criteria synthesis of composite structures and kinematics of complex point motion, multi-criteria thinking, modern methods of machine design, theoretical and applied mechanics.

Введение

Все задачи проектирования машин, их узлов и механизмов – многокритериальные. Однако, многие задачи проектирования, например, управляе-

мых осей и мостов различных колесных машин до сих пор рассматриваются как однокритериальные.

В последнее время для ускорения разработки и постановки на производство новых поколений автобусов, грузовых автомобилей, самосвалов, тракторов в кон-

структурных бюро заводов Республики Беларусь стали успешно применять различные по сложности и объему расчетно-методические многокритериальные аппараты (РММА), которые используют методы векторной оптимизации совокупности конструктивных параметров колесной техники.

При формировании РММА используются отдельные положения некоторых теорий: механики негोलомных систем, устойчивости движения, стационарного и нестационарного качения колеса с шиной по твердой поверхности, математического моделирования, многокритериальной параметрической идентификации, многокритериального выбора, автоматического регулирования, множество Парето, вероятности и математической статистики, приближения функций.

Отдельные положения этих теорий в разных сочетаниях «сшивают» в единые целые, которые представляют собой механико-математические модели различных конструкций самолетов, автомобилей и других колесных транспортных средств. Затем с помощью методов многокритериальной оптимизации выбирают такой набор конструктивных параметров машин, который удовлетворяет компромиссу совокупности критериев: управляемости, устойчивости, стабилизации и безопасности движения с учетом среднего времени реакции водителя, плавности хода, усилию на рулевом колесе во всем частотном и скоростном диапазонах движения.

Эти методы в большинстве вузов не изучаются. В учебной литературе и в курсах лекций по теоретической и прикладной механике отсутствуют методы идентификации, выбора, многокритериального синтеза, механики негोलомных систем, устойчивости движения, стационарного и нестационарного качения колеса с шиной по твердой поверхности, многокритериальной параметрической идентификации, множество Парето.

Следовательно, произошел разрыв между знаниями студентов, магистрантов и аспирантов, полученными ими в вузах, и теми знаниями, которые потребуются для практической деятельности.

Цель данной работы: описать основные идеи и реализацию новых прогрессивных технологий в виде научных, научно-методических разработок и компьютерных программ для повышения эффективности преподавания студентам, магистрантам и аспирантам теоретической и прикладной механики.

Эта цель реализована путем последовательного рассмотрения новых научных, научно-методических разработок и компьютерных программ.

Статика

Метод рационального решения задач статики составных конструкций

Этот метод используется в образовательном процессе с целью научить минимизировать количество вычислительных процедур или действий при решении систем алгебраических линейно независимых уравнений равновесия (ЛНУР) каждой из шести систем сил при определении составляющих реакций опор различных конструкций статически определимых одно- и многоэлементных составных балок [1].

Для этого широко используется три критерия: вид системы сил при движении по балке сначала «слева направо», а затем «справа налево»; степень статической

определимости-неопределимости (СТ) и работоспособности конструкции.

Степень статической определимости-неопределимости вычисляется по формуле

$$CT = H - \sum_{i=1}^n Y_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где CT – целые числа; H – суммарное количество неизвестных составляющих реакций опор и шарниров составной конструкции; i – количество тел, входящих в составную конструкцию; Y – количество ЛНУР, присутствующих каждой из шести систем сил.

Применение метода рационального решения задач статических составных конструкций (ССК) позволило минимизировать количество вычислительных процедур или действий при решении систем алгебраических линейно независимых уравнений равновесия каждой из шести систем сил и определении составляющих реакций опор различных конструкций одно-, двух- и трехэлементных составных балок, примеры решения которых подробно рассмотрены в [1].

Метод многокритериальной идентификации и многокритериального выбора статических составных конструкций

С помощью данного метода студенты учатся отличать друг от друга задачи многокритериальной идентификации от задач многокритериального выбора ССК; более качественно разбираться в задачах из раздела «Статика» и решать их, используя минимум времени; формировать навыки многокритериального подхода. Примеры, в которых использовались эти методы, подробно рассмотрены в [1].

Многокритериальный синтез одно- и многоэлементных схем статических составных конструкций

Многокритериальный синтез применяется при изучении теоретической и прикладной механики. Формирование схем осуществляется простыми элементами конструкций и конструктивными единицами. Корректность сформированных статически определимых схем определяется двумя критериями: критерием СТ и работоспособностью составных конструкций. Методы многокритериального синтеза ССК реализованы и подробно рассмотрены на примерах формирования схем различных по сложности составных конструкций в виде одно-, двух- и трехэлементных схем «Мост» и «Ферма» [2].

Формирование методами синтеза статически определимых трехэлементных схем типа «Мост» и «Ферма» осуществляется из конструктивных единиц, показанных на рисунке 1.

Сформируем статически определимые трехэлементные схемы конструкций типа «Мост» и «Ферма». Для этого определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения конструктивных единиц

$$\text{«Мост»} - (2 + 13 + 2), \quad \text{«Ферма»} - (2 + 9 + 2). \quad (2)$$

Сформированные отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций «Мост» и «Ферма»

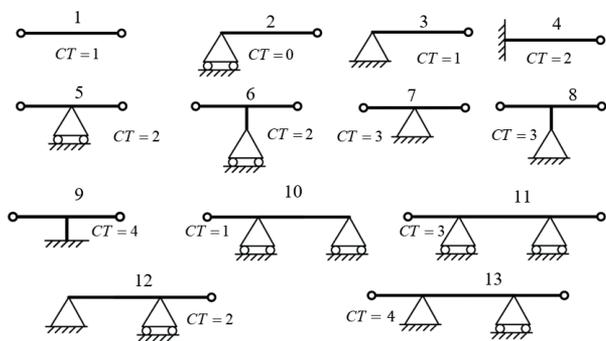


Рисунок 1 — Конструктивные единицы для синтеза трехэлементных схем

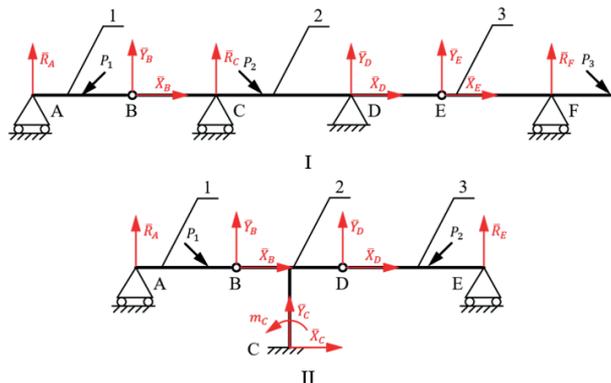


Рисунок 2 — Трехэлементные схемы конструкций: I — «Мост», II — «Ферма»

ма» по формулам (2) с кодом «СТ-040» (первая, вторая и третья цифры означают степень статической определимости-неопределимости первой, второй и третьей части конструкций) показаны на рисунке 2, где обозначены все векторы составляющих реакций опор и шарниров.

Имеется восемь видов трехэлементных статически определимых схем составных конструкций типа «Мост» и «Ферма» со специальными кодами: «СТ-022», «СТ-031», «СТ-040», «СТ-112», «СТ-121», «СТ-130», «СТ-211», «СТ-220».

В отличие от решений задач анализа статики, где, как правило, существует единственное решение, в задачах синтеза статики — множество решений. Поэтому при решении одной задачи синтеза можно сформировать множество задач анализа, что позволяет формировать новые задачи и задачки анализа по теоретической и прикладной механике.

Расчет величины зоны и запаса устойчивого скольжения ползуна прессы в направляющих

Вопрос о скольжении одного тела по другому является исключительно важным для пар скольжения, применяемых в технике. Например, если заклинит ползун прессы в направляющих, ползун кулачкового или кривошипно-ползунного механизма, пуансон в матрице, втулку на валу, поршень в цилиндре, подвижную шестерню на валу и так далее, то выйдут из строя целые механизмы.

Результаты, полученные в данной работе, широко используются в разделе «Статика» в теме «Трение» и в разделе «Динамика» в теме «Принцип Даламбера».

В работе описаны три методики (А, Б, В) расчета значений параметров, величины зоны и запаса гарантированного скольжения различных пар скольжения. Пара «ползун — направляющие» подходит как для «медленных» прессов, ползун которых движется с маленькой

величиной ускорения — статика, так и для «быстрых» прессов (штамповочные и чеканные прессы, ползун которых движется с большим ускорением — динамика). При этом в качестве основы для расчетов параметров различных пар скольжения использована простейшая механико-математическая модель скольжения втулки по валу (методика А) [3].

Методика А. Постановка задачи. Рассмотрим равновесие невесомой втулки шириной b , жестко скрепленной с невесомым рычагом, к которому на расстоянии L_0 приложена сила P . Конструкция позволяет перемещать силу P вдоль рычага. Коэффициент трения между втулкой и валом — f . Требуется найти зависимость между параметрами пары скольжения «втулка — вал»: L_0, b, f, P (рисунок 3).

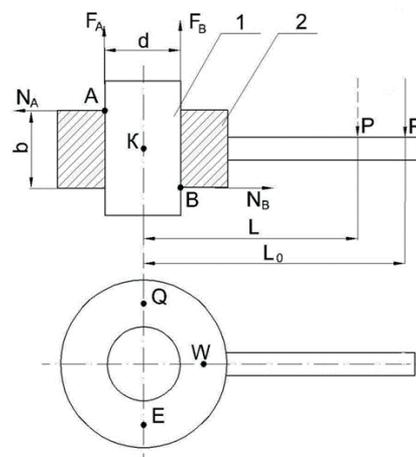


Рисунок 3 — Пара скольжения «втулка — вал»: 1 — вал; 2 — втулка

Составим три ЛНУР для плоской произвольной системы сил, приложенной к паре скольжения «втулка — вал»:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= 0; & -N_A + N_B &= 0; \\ \sum Y &= 0; & F_A + F_B - P &= 0; \\ \sum m_A &= 0; & F_B d + N_B b - P(L_0 + d/2) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решая (3), получим

$$L_0 = \frac{b}{2f}. \quad (4)$$

Знак равенства в (4) соответствует состоянию предельного равновесия втулки на валу либо границе устойчивости-неустойчивости или скольжения втулки по валу. Малейшее изменение значения любого из параметров (4) может привести либо к заклиниванию втулки на валу, либо к ее скольжению.

При увеличении параметра L (расстояние от оси втулки до новой точки приложения силы P) увеличится момент этой силы относительно точки А, что приведет к заклиниванию втулки. Следовательно, условием гарантированного заклинивания втулки на валу является неравенство

$$L > \frac{b}{2f}.$$

При уменьшении параметра L новая точка приложения силы P будет смещаться от границы устойчивости-неустойчивости сначала к точке W , а затем к точкам Q и E (см. рисунок 3). При этом легкость скольжения втулки увеличится и достигнет своего максимума в точ-

ках Q и E . Следовательно, условием гарантированного скольжения втулки по валу является неравенство

$$L < \frac{b}{2f}. \quad (5)$$

Однако это условие не является достаточным. Для определения условия достаточности проведем исследование неравенства. Поочередно давая приращение величине каждого из параметров, проследим изменение величины левой и правой частей неравенства (5) и запаса устойчивого скольжения.

Исследование условий достаточности выполним двумя способами:

1. Сила P прикладывается в одном и том же месте рычага $L = \text{const}$, изменяются только параметры системы b, f (рисунок 4 случаи А, Б, В, Г).

2. Изменяется расстояние L и точка приложения силы P , а параметры системы b, f – постоянны (рисунок 4 случаи Д, Е).

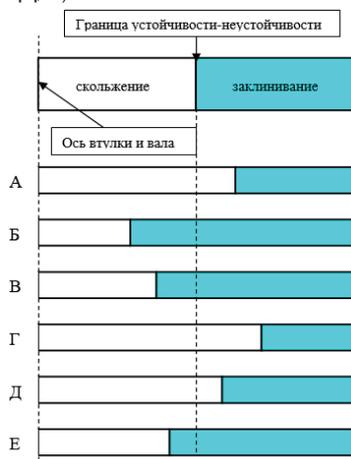


Рисунок 4 – Размеры зон устойчивости-неустойчивости: при первом способе – случаи А, Б, В, Г; при втором способе – случаи Д, Е

Величина запаса гарантированного скольжения W равна:

$$W = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Рассмотрим первый способ исследования достаточных условий.

А) Втулке шириной b дадим приращение $+\Delta b$. Получим:

$$L_1 < (b + \Delta b)/2f = L_1 < (b/2f) + (\Delta b/2f).$$

Зона скольжения увеличивается на $\Delta b/2f$ за счет смещения границы скольжения вправо, которой соответствует $L_1 = (b/2f) + (\Delta b/2f)$. Запас скольжения увеличивается.

Б) Втулке шириной b дадим приращение $-\Delta b$, получим:

$$L_2 < (b - \Delta b)/2f = L_2 < (b/2f) - (\Delta b/2f).$$

Зона скольжения уменьшается на $\Delta b/2f$, за счет смещения границы скольжения влево, которой соответствует $L_2 = (b/2f) - (\Delta b/2f)$. Запас скольжения уменьшается.

В) Коэффициенту трения f дадим приращение $+\Delta f$.

При этом начальное положение, соответствует границе устойчивости-неустойчивости скольжения $b/2f$, а конечное положение – новой границе скольжения $b/2(f + \Delta f)$.

Так как все параметры положительные, то разность между конечным и начальным положением отрицательная:

$$\frac{b}{2(f + \Delta f)} - \frac{b}{2f} = -\frac{b\Delta f}{2f(f + \Delta f)}.$$

Следовательно, уменьшится зона скольжения на $b\Delta f/2f(f + \Delta f)$ и запас гарантированного скольжения.

Г) Рассмотрим разность конечного и начального положений при приращении $-\Delta f$:

$$\frac{b}{2(f - \Delta f)} - \frac{b}{2f} = \frac{b\Delta f}{2f(f - \Delta f)}.$$

Так как все параметры положительные, то разность между конечным и начальными положениями положительная, т. е. увеличится зона скольжения на $b\Delta f/2f(f - \Delta f)$ и запас гарантированного скольжения.

Д) Расстоянию L от оси втулки до новой точки приложения силы P дадим приращение $-\Delta L$, получим $L - \Delta L < b/2f$.

В этом случае увеличатся разность $L_0 - L$ и величина запаса скольжения.

При $L < b/2f + \Delta L$ (сила P не сдвигается со своего прежнего места) граница скольжения сдвинется вправо, что говорит об увеличении зоны устойчивости-неустойчивости и запаса гарантированного скольжения.

Е) Расстоянию от оси втулки до точки приложения силы P дадим приращение $+\Delta L$. Получим $L + \Delta L < b/2f$ (по аналогии с пунктом Д).

При этом уменьшится разность $L_0 - L$ и величина запаса скольжения.

При $L < b/2f - \Delta L$ граница скольжения сдвинется влево. Поэтому уменьшится размер зоны устойчивости-неустойчивости и величина запаса гарантированного скольжения.

Примеры расчета величины зоны устойчивости-неустойчивости и запаса гарантированного скольжения в функции значений параметров системы «втулка-вал» f, b, L приведены в таблице 1.

Примем, что $f = 0,2, b = 10 \text{ см}, L = 10 \text{ см}$.

Если $L > L_0$, величина запаса скольжения – отрицательная, что соответствует заклиниванию втулки на валу.

Для определения условий равнопеременного скольжения втулки массой m по валу в динамике используется принцип Даламбера.

В результате для ускоренного и замедленного движений получим

$$L_{01} = \frac{b}{2f} \left(1 - \frac{ma}{P}\right), \quad L_{02} = \frac{b}{2f} \left(1 + \frac{ma}{P}\right),$$

где L_{01}, L_{02} соответствуют по смыслу величине L_0 .

Условия скольжения втулки по валу в случае ускоренного и замедленного движений имеют вид

$$L_{11} < \frac{b}{2f} \left(1 - \frac{ma}{P}\right), \quad (7)$$

$$L_{22} < \frac{b}{2f} \left(1 + \frac{ma}{P}\right), \quad (8)$$

где значения параметров L_{11} и L_{22} соответствуют по смыслу величине L .

Анализ формул (7) и (8) выполним для двух случаев:

1) $a = 0$, тогда $L_{11} = L_{22} = L$, причем $L < b/2f$.

2) $a \neq 0$, но $P \gg ma$.

При ускоренном движении втулки по валу граница скольжения сместится влево, зона и запас гарантированного скольжения уменьшатся. В случае замедленно-

го движения втулки по валу граница скольжения сместится вправо, зона и запас гарантированного скольжения увеличатся.

Проектирование втулки и вала в динамике необходимо осуществлять по формуле (7), т. е. по наиболее опасному варианту, когда зона и запас гарантированного скольжения уменьшаются.

Постановка задачи. К ползуну пресса в форме параллелепипеда весом P и шириной b через невесомую консоль на расстоянии C_0 и L_0 приложена сила Q , которую можно перемещать по консоли. Коэффициент трения между ползуном и направляющими f . Требуется найти зависимость между параметрами пары скольжения «ползун – направляющие»: $b, d, f, h, P, Q, C_0, L_0$ (рисунок 5).

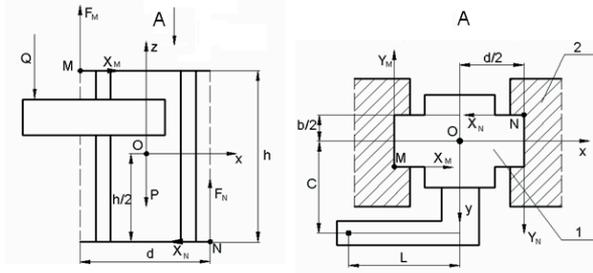


Рисунок 5 – Ползун пресса:
1 – ползун; 2 – направляющие

Решение. Составим шесть линейно независимых уравнений равновесия для пространственной произвольной системы сил, приложенной к паре скольжения «ползун – направляющие»:

$$\left. \begin{aligned} \sum X = 0: X_N + X_M = 0; \quad X_N = X_M; \\ \sum Y = 0: Y_N - Y_M = 0; \quad Y_N = Y_M; \\ \sum Z = 0: P - Q + F_M + F_N = 0; \quad F_M + F_N = P + Q; \\ \sum m_x = 0: F_N \cdot \frac{b}{2} - F_M \cdot \frac{b}{2} + Q \cdot C_0 - Y_M \cdot \frac{h}{2} - Y_N \cdot \frac{h}{2} = 0; \\ \sum m_y = 0: -X_N \cdot \frac{h}{2} - X_M \cdot \frac{h}{2} + Q \cdot L_0 + F_N \cdot \frac{d}{2} - F_M \cdot \frac{d}{2} = 0; \\ \sum m_z = 0: X_N \cdot \frac{b}{2} + X_M \cdot \frac{b}{2} - Y_M \cdot \frac{d}{2} - Y_N \cdot \frac{d}{2} = 0, \end{aligned} \right\} (9)$$

где F_M, F_N – силы трения в точках M и N .

Решая уравнения равновесия (9), получим

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right) \cdot [h + 0,5(f_M - f_N) \cdot (b + d)]}{(f_N + f_M) \cdot \left(1 + \frac{d}{b}\right)}, \\ L_0 &= \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right) \cdot [h + 0,5(f_M - f_N) \cdot (b + d)]}{(f_N + f_M) \cdot \left(1 + \frac{b}{d}\right)}, \end{aligned} \right\} (10)$$

где f_N и f_M коэффициенты трения в точках N и M ; C_0, L_0 – параметры, соответствующие предельному состоянию равновесия или границе устойчивости-неустойчивости.

В случае $f_N = f_M = f$ формулы (10) принимают вид

Таблица 1 – Примеры расчета параметров системы «втулка-вал»

Варьируемые параметры	Исходные данные			Результаты расчета	
	$b, \text{ см}$	f	$L, \text{ см}$	$L_0, \text{ см}$	$W, \%$
b, f, L	10	0,2	10	25,0	60,0
$b + \Delta b, f, L$	15	0,2	10	37,5	73,3
$b - \Delta b, f, L$	5	0,2	10	12,5	20,0
$b, f + \Delta f, L$	10	0,3	10	16,7	40,1
$b, f - \Delta f, L$	10	0,1	10	50,0	80,0
$b, f, L + \Delta L$	10	0,2	12	25,0	52,0
$b, f, L - \Delta L$	10	0,2	8	25,0	68,0

$$C_0 = \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{d}{b}\right)}, \quad L_0 = \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{b}{d}\right)}. \quad (11)$$

Условия заклинивания ползуна пресса в направляющих:

$$C \geq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{d}{b}\right)}, \quad L \geq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{b}{d}\right)}. \quad (12)$$

Условия скольжения ползуна пресса в направляющих:

$$C \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{d}{b}\right)}, \quad L \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(1 + \frac{b}{d}\right)}. \quad (13)$$

Проанализируем влияние значений каждого из параметров b, d, h, f, P, Q, C, L на величину зоны и запаса скольжения ползуна в направляющих.

1. Определим вид зависимости между параметрами b, d и C_0, L_0 .

Из (11) следует, что

$$C_0 = \frac{b}{d} \cdot L_0. \quad (14)$$

2. Исследуем зависимость h от b, d, f, P, Q, C_0, L_0 . Для этого разделим каждое из неравенств (13) на их левые части. Получим

$$1 \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(C_0 + C_0 \frac{d}{b}\right)}, \quad 1 \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f\left(L_0 + L_0 \frac{b}{d}\right)}. \quad (15)$$

С учетом (13), формулы (15) примут следующий вид:

$$1 \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2f(C_0 + L_0)}. \quad (16)$$

Из (16) следует:

$$h \geq \frac{2f(C_0 + L_0)}{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)}. \quad (17)$$

3. Исследуем зависимость коэффициента трения f от параметров h, P, Q, C_0, L_0 .

Выразим f из (17):

$$f \leq \frac{\left(1 + \frac{P}{Q}\right)h}{2(C_0 + L_0)}. \quad (18)$$

Неравенство (18) является достаточным условием гарантированного скольжения ползуна и определяет качество обработки поверхностей пары скольжения «ползун – направляющие».

Для расчета величины зоны и запаса гарантированного скольжения ползуна прессы в направляющих в функции значений параметров b, d, h, f, P, Q, C, L необходимо использовать формулы

$$W_C = \left(1 - \frac{C \cdot 2f \cdot \left(1 + \frac{d}{b}\right)}{h \left(1 + \frac{P}{Q}\right)} \right) \cdot 100 \%, \quad (19)$$

$$W_L = \left(1 - \frac{L \cdot 2f \cdot \left(1 + \frac{b}{d}\right)}{h \cdot \left(1 + \frac{P}{Q}\right)} \right) \cdot 100 \%, \quad (20)$$

Примеры расчета величины зоны и запаса гарантированного скольжения системы «ползун – направляющие» в функции параметров b, d, h, f, P, Q, C, L приведены в таблице 2.

Изначально примем, что $b = 20$ см; $d = 30$ см; $f = 0,2$; $h = 40$ см; $P/Q = 0,1$; $C = 30$ см; $L = 35$ см.

Для определения условий равнопеременного скольжения ползуна прессы массой m в направляющих в динамике используем принцип Даламбера.

В результате получим формулы для замедленного (знак «+») и для ускоренного (знак «-») движений ползуна прессы в направляющих:

$$C < \frac{\left(1 + \frac{P}{Q} \pm \frac{ma}{Q}\right) h}{2f \left(1 + \frac{d}{b}\right)}, \quad L < \frac{\left(1 + \frac{P}{Q} \pm \frac{ma}{Q}\right) h}{2f \left(1 + \frac{b}{d}\right)}. \quad (21)$$

Для ускоренного движения ползуна граница скольжения сместится влево, зона и запас гарантированного скольжения уменьшатся. Для замедленного движения ползуна все наоборот – граница скольжения сместится

вправо, зона и запас гарантированного скольжения увеличатся.

Проектирование ползуна прессы в динамике необходимо осуществлять по формулам (21) с учетом знака «-», т. е. по наиболее опасному варианту.

Многокритериальной выбор параметров ползуна на стадии проектирования кузнечнопрессового оборудования

В работах [4, 5] определены оптимальные значения параметров пар скольжения, работающих в области малых ускорений (статика). Для этого разработаны программы, в которых использованы метод сеток и метод оптимизации конструктивных параметров ползуна кузнечнопрессового оборудования на стадии его проектирования с помощью технологии IOSO. Данная технология дает возможность построить область Парето решений и снизить время расчета в 500 раз по сравнению с методом сеток.

Постановка задачи. К ползуну прессы в форме параллелепипеда весом P и шириной b через невесомую консоль приложена сила Q , которую можно перемещать по консоли. Коэффициент трения между ползуном и направляющими – f (все остальные размеры показаны на рисунке 5). Требуется произвести расчет параметров ползуна по критериям:

$$\left. \begin{aligned} W_1 = W_L &= \left(1 - \frac{L \cdot 2f \cdot \left(1 + \frac{b}{d}\right)}{h \cdot \left(1 + \frac{P}{Q}\right)} \right) \cdot 100 \% \rightarrow \max, \\ W_2 = W_C &= \left(1 - \frac{C \cdot 2f \cdot \left(1 + \frac{d}{b}\right)}{h \left(1 + \frac{P}{Q}\right)} \right) \cdot 100 \% \rightarrow \max, \\ W_3 &= (W_L + W_C) / 2 \rightarrow \max, \\ W_4 &= \sqrt{W_L W_C} \rightarrow \max. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Таблица 2 – Примеры расчета параметров системы «ползун – направляющие»

Варьируемые параметры	Исходные данные							Результаты расчета			
	$b, \text{ см}$	$d, \text{ см}$	f	$h, \text{ см}$	P/Q	$C, \text{ см}$	$L, \text{ см}$	$C_{0'}, \text{ см}$	$W_{C'}, \%$	$L_{0'}, \text{ см}$	$W_{L'}, \%$
$b, d, f, h, P/Q, C, L$	20	30	0,2	40	0,10	30	35	44,0	31,8	66,0	47,0
$b + \Delta b$	25	30	0,2	40	0,10	30	35	50,0	40,0	60,0	41,7
$b - \Delta b$	15	30	0,2	40	0,10	30	35	36,7	18,2	73,4	52,3
$d + \Delta d$	20	35	0,2	40	0,10	30	35	40,0	25,0	70,0	50,0
$d - \Delta d$	20	25	0,2	40	0,10	30	35	48,9	38,6	61,1	42,7
$f + \Delta f$	20	30	0,3	40	0,10	30	35	29,3	-2,3	44,0	20,5
$f - \Delta f$	20	30	0,1	40	0,10	30	35	88,0	65,9	132,0	73,5
$h + \Delta h$	20	30	0,2	45	0,10	30	35	49,5	39,4	74,3	52,9
$h - \Delta h$	20	30	0,2	35	0,10	30	35	38,5	22,1	57,8	39,4
$P/Q + \Delta(P/Q)$	20	30	0,2	40	0,15	30	35	46,0	34,8	69,0	49,3
$P/Q - \Delta(P/Q)$	20	30	0,2	40	0,05	30	35	42,0	28,6	63,0	44,4
$C + \Delta C$	20	30	0,2	40	0,10	35	35	44,0	20,5	66,0	47,0
$C - \Delta C$	20	30	0,2	40	0,10	25	35	44,0	43,2	66,0	47,0
$L + \Delta L$	20	30	0,2	40	0,10	30	40	44,0	31,8	66,0	39,4
$L - \Delta L$	20	30	0,2	40	0,10	30	30	44,0	31,8	66,0	54,5

Метод сеток. Формула количества вычислений по методу сеток имеет вид

$$K = n^m,$$

где K — число узлов сетки, n — число расчетных точек; m — количество оптимизируемых параметров системы.

На рисунке 6 показан фрагмент таблицы расчетов методом сеток. В нем указаны все параметры ползуна пресса ($b, d, h, f, P/Q, C, L$), критерии W_L, W_C ($(W_L + W_C)/2$ и $(W_L \cdot W_C)^{1/2}$) и единицы измерения.

№	W(L), м	W(C), м	W(L+W(C))/2	(W(L)·W(C)) ^{1/2}	W(L), м	W(C), м	(W(L)+W(C))/2	(W(L)·W(C)) ^{1/2}	
67801	0,733	0,822	0,911	0,010	1,250	1,150	52,714	42,372	47,543
67802	0,733	0,822	0,911	0,064	1,250	1,150	55,133	45,320	49,986
67803	0,733	0,822	0,911	0,119	1,250	1,150	57,316	47,981	52,441
67804	0,733	0,822	0,911	0,173	1,250	1,150	59,297	50,394	54,665
67805	0,733	0,822	0,911	0,228	1,250	1,150	61,101	52,594	56,688
67806	0,733	0,822	0,911	0,282	1,250	1,150	62,753	54,607	58,539
67807	0,733	0,822	0,911	0,337	1,250	1,150	64,270	56,456	60,236
67808	0,733	0,822	0,911	0,391	1,250	1,150	65,669	58,160	61,800
67809	0,733	0,822	0,911	0,446	1,250	1,150	66,962	59,736	63,246
67810	0,733	0,822	0,911	0,500	1,250	1,150	68,161	61,197	64,585
67811	0,733	0,822	0,911	0,554	1,250	1,150	69,280	62,554	65,819
67812	0,733	0,822	0,911	0,608	1,250	1,150	70,321	63,866	67,044
67813	0,733	0,822	0,911	0,662	1,250	1,150	71,290	65,131	68,252
67814	0,733	0,822	0,911	0,716	1,250	1,150	72,181	66,354	69,444
67815	0,733	0,822	0,911	0,770	1,250	1,150	73,000	67,540	70,620

Рисунок 6 — Окно таблицы вычислений

Отрицательные значения критериев W_L и W_C соответствуют заклиниванию ползуна пресса в направляющих, а нулевые значения означают, что точка приложения силы Q совпадает с границей гарантированного скольжения. Для отрицательных и нулевых значений этих критериев расчет по критериям $(W_L + W_C)/2$ и $(W_L \cdot W_C)^{1/2}$ не производится. Таблица расчетов содержит 10^5 вычислений.

Технология IOSO. Зададим входные конструктивные параметры для оптимизации и пределы их изменений:

- ширина ползуна $b \in [0,2; 0,8]$ м;
- длина ползуна $d \in [0,3; 0,9]$ м;
- высота ползуна $h \in [0,15; 1,0]$ м;
- коэффициент трения $f \in [0,1; 0,7]$;

- отношение веса ползуна к прикладываемой силе $P/Q \in [0,01; 0,5]$ и значения координат точки приложения силы по оси X и Y : $C = 1,25$ м, $L = 1,15$ м (рисунок 7).

Входные параметры	Значение
b	0.2
d	0.9
h	1
f	0.1
P/Q	0.5
C	1.25
L	1.15
Выходные параметры	Значение
W1	81.2592593
W2	8.33333333
W3	44.7962963
W4	26.0223076

Рисунок 7 — Окно математической модели ползуна в программе MS Excel

Программная реализация механико-математической модели ползуна пресса (система критериев в программе MS Excel) выполняется с помощью формул.

Интегрируем математическую модель ползуна пресса в программе MS Excel с программным комплексом IOSO (рисунок 8), который позволяет осуществить обмен данными с этой моделью посредством текстовых

файлов ввода и вывода данных: в текстовый файл ввода данных «in» (рисунки 8, 9) записываются значения входных параметров ($b, d, h, f, P/Q$), а из текстового файла вывода данных «out» происходит считывание значений выходных критериев ($W1, W2, W3, W4$).

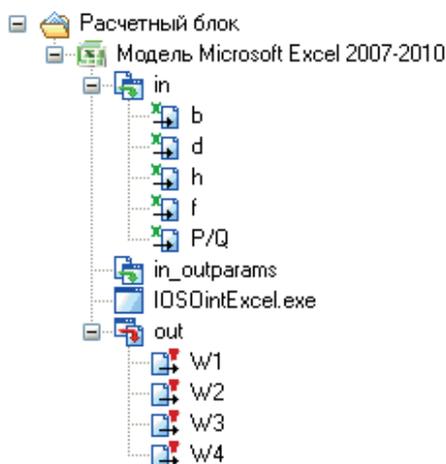


Рисунок 8 — Структурное дерево проекта оптимизации в программе IOSO

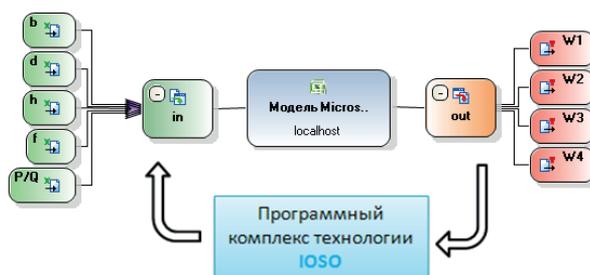


Рисунок 9 — Схема проекта оптимизации ползуна пресса

Программный комплекс IOSO в автоматическом режиме генерирует значения входных параметров и записывает их в файл «in», затем запускает на выполнение математическую модель ползуна пресса, которая записывает рассчитанные значения критериев в файл «out» (рисунок 9). Далее происходит считывание файла «out», производится анализ значений полученных критериев и принимается решение об изменении значений входных параметров. Такой итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будут определены оптимальные параметры ползуна пресса.

Поиск оптимальных решений и построение области Парето осуществляется многокритериальной версией метода непрямой оптимизации на основе самоорганизации IOSO, который позволяет решать задачи с числом критериев до 20 и с числом входных параметров до 100.

Полученные результаты. Оптимальные значения конструктивных параметров ползуна пресса найдены через 200 итераций, что в 500 раз быстрее, чем при использовании метода сеток в методике Б. В результате оптимизации получается множество точек Парето. Графики могут быть построены в зависимости от любых переменных проекта. Оптимальное решение должно находиться только в области Парето. На рисунках 10, 11 представлены некоторые графические зависимости значений конструктивных параметров и критериев ползуна кузнечнопрессового оборудования.

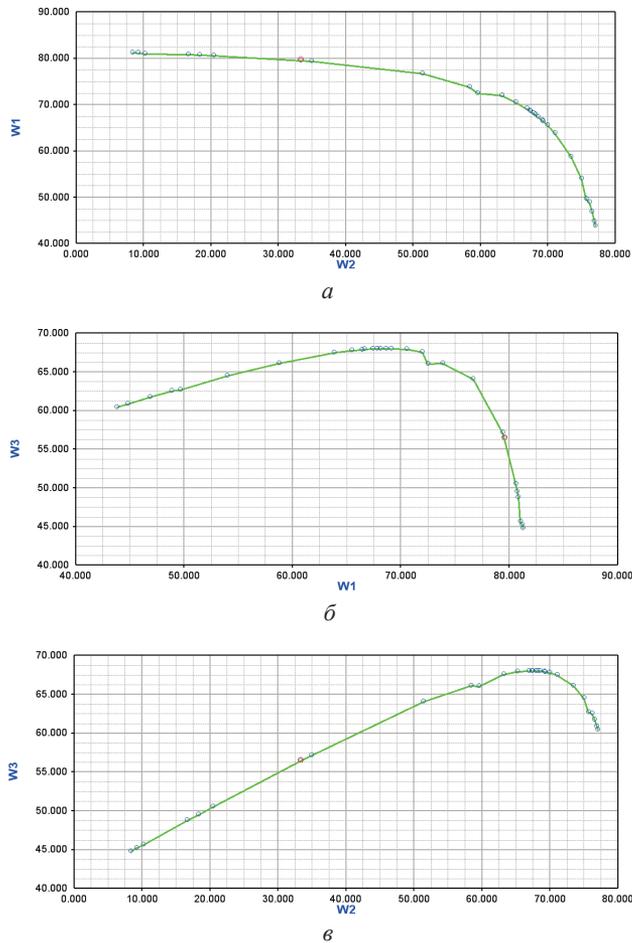


Рисунок 10 – Парето-оптимальные решения:
 а – в координатах W1(W2); б – в координатах W3(W1);
 в – в координатах W3(W2)

№ обр.	b	d	h	f	PKG	W1	W2	W3	W4
141	0.20	0.90	1.00	0.10	0.50	81.2592592593	8.3333333333	44.7962962963	26.023076192
180	0.20	0.89	1.00	0.10	0.50	81.2299737828	5.1666666667	45.1938202247	27.2859962803
142	0.20	0.87	1.00	0.10	0.49	81.0151970994	10.2348893289	45.6250482141	28.7955271947
157	0.20	0.80	1.00	0.10	0.50	80.8333333333	16.6666666667	48.7500000000	36.7045259092
162	0.20	0.78	1.00	0.10	0.50	80.7350427350	18.3333333333	49.5341880342	38.4726194864
213	0.22	0.83	1.00	0.10	0.50	80.6024096386	20.4545454545	50.5284775465	40.6040102908
92	0.30	0.90	1.00	0.10	0.50	79.5555555556	33.3333333333	56.4444444444	51.4961343389
175	0.31	0.90	1.00	0.10	0.50	79.3851851852	34.9462365591	57.1657108722	52.6708027352
126	0.47	0.90	1.00	0.10	0.50	76.6392939293	51.4184397463	64.8308494878	62.7029554908
120	0.56	0.92	1.00	0.10	0.48	73.8464073830	58.3735254236	65.1499797533	65.6557468974
225	0.60	0.81	0.97	0.10	0.50	72.4831360570	58.6219931271	66.4525645024	65.7387840247
147	0.67	0.81	1.00	0.10	0.50	71.3832590947	62.1840796020	67.5830893483	67.4404453143
70	0.58	0.83	1.00	0.10	0.50	70.5597645593	65.2298859575	67.8900748039	67.8379363636
200	0.75	0.74	1.00	0.10	0.50	68.1261261261	66.8888888889	68.0075075075	67.9983071096
190	0.72	0.69	1.00	0.10	0.50	68.8666666667	67.3611111111	68.0138888889	68.0107562299
98	0.68	0.85	1.00	0.10	0.50	68.6256410256	67.4019607843	68.0138009050	68.0110488466
96	0.67	0.82	1.00	0.10	0.50	68.0967741935	67.910447612	68.0036109774	68.0054716617
163	0.55	0.50	1.00	0.10	0.50	67.8000000000	68.1818181818	67.9909090909	67.9906410672
54	0.72	0.64	1.00	0.10	0.50	67.4166666667	68.5185185185	67.9675925926	67.9653597317
169	0.80	0.68	1.00	0.10	0.50	66.8274508804	69.1666666667	67.8970582235	67.8851875803
139	0.75	0.63	1.00	0.10	0.50	66.4126984127	69.3333333333	67.8730158730	67.8573043718
47	0.80	0.64	1.00	0.10	0.50	65.5000000000	70.0000000000	67.7500000000	67.7126286689
48	0.76	0.56	1.00	0.10	0.50	63.8571428571	71.0526315789	67.4548872180	67.3588750206
119	0.76	0.45	1.00	0.10	0.50	58.7703703704	73.4649122807	66.1176413255	65.7081433611
154	0.80	0.40	1.00	0.10	0.50	54.0000000000	75.0000000000	64.5000000000	63.6396103068
170	0.72	0.32	0.99	0.10	0.50	49.6632996633	75.6827534605	62.6730265619	61.3078727771
52	0.70	0.30	1.00	0.10	0.50	48.8888888889	76.1904761905	62.5396825397	61.0316944289
72	0.74	0.30	1.00	0.10	0.50	46.8444444444	76.5765765766	61.7105105105	59.8931313857
191	0.78	0.30	1.00	0.10	0.50	44.8000000000	76.9230769231	60.8615384615	58.7039508654
97	0.80	0.30	1.00	0.10	0.50	43.7777777778	77.0833333333	60.4305555556	58.0907650507

Рисунок 11 – Фрагмент таблицы расчетов по технологии IOSO

Кинематика

Метод многокритериальной идентификации и многокритериального выбора в задачах кинематики сложного движения точки

С их помощью студенты учатся отличать друг от друга задачи многокритериальной идентификации

от задач многокритериального выбора кинематики сложного движения точки (КСДТ); более качественно разбираться в задачах из раздела «Кинематика» и решать их, используя минимум времени; формировать навыки многокритериального подхода, заключающегося в нахождении компромиссного решения среди критериев. Примеры, в которых использовались эти методы, подробно рассмотрены в [1].

Методы многокритериального синтеза задач кинематики сложного движения точки

В настоящее время в образовательном процессе используют два метода многокритериального синтеза задач КСДТ:

- 1) синтез с элементами выбора характеристик простых движений, взятых из таблиц трех видов, отличающихся между собой сложностью и количеством строк – 14, 21, 30 [6];
- 2) синтез без элементов выбора [2].

В отличие от решений задач анализа КСДТ, где, как правило, существует единственное решение, в задачах синтеза – множество решений. Поэтому при решении одной задачи синтеза можно создать множество задач анализа. Например, сформированные с помощью простых элементов отличные друг от друга схемы КСДТ можно увеличить за счет введения новых простых элементов.

Решая эти задачи, студенты приобретают новые знания о методах многокритериального синтеза задач КСДТ, при этом у них формируются навыки многокритериального подхода, что позволит им самим формировать новые задачи и задачки по теоретической механике.

Методы идентификации, выбора, синтеза КСДТ могут обучаемым в будущей трудовой деятельности: при создании линейки новых моделей машин на стадии их проектирования; модернизации существующих машин; проектировании и создании новых технологических процессов.

Решение задач синтеза кинематики сложного движения точки первым методом

Дано: критерий – одно из 24 значений. Требуется определить характеристики простых движений: $r, e, S_r = B_1 r^m, S_e = B_2 r^n$, или $\varphi_e = B_3 r^m, n, m, \alpha, \beta, \gamma, \psi, \xi, \theta$ и сформировать схемы сложного движения точки, соответствующие данному критерию. Здесь: r – относительное движение точки (прямолинейное или криволинейное); e – переносное движение (поступательное прямолинейное, поступательное криволинейное или вращательное); S_r, S_e или φ_e – законы относительного, переносного (поступательного или вращательного) движений; n, m – целые числа; $B_j (j = 1, 3)$ – постоянные положительные коэффициенты; $\alpha = (\widehat{\omega_e, \vec{V}_r}); \beta = (\widehat{\vec{a}_r, \vec{a}_e^T}); \gamma = (\widehat{\vec{a}_r, \vec{a}_e^T}); \psi = (\widehat{\vec{a}_r, \vec{a}_e^n}); \xi = (\widehat{\vec{a}_r, \vec{a}_e^n}); \theta = (\widehat{\vec{a}_k, \vec{a}_e^n})$. Угол α может принимать одно из трех значений: «равно $k\pi$ », «не равно $k\pi$ », «не существует»; k равно 0 или 1; каждый из углов $\beta, \gamma, \psi, \xi, \theta$ может принимать одно из трех значений: «равно $\pi/2$ », «не равно $\pi/2$ », «не существует».

Для решения задач каждого из трех типов (в зависимости от количества строк в таблицах – 14, 21, 30) необходимо выбрать из таблиц характеристики относитель-

ного (r) и переносного (e) движений и сформировать из отдельных элементов схемы сложного движения точки M в соответствии с ее критериями — числом и видом векторных слагаемых абсолютного ускорения \bar{a} .

Решение задач синтеза кинематики сложного движения точки вторым методом

Решение задач синтеза состоит из процедуры формирования схем сложного движения точки M из простых элементов конструкций переносного и относительного движений (рисунок 12) в соответствии с критериями — числом и видом векторных слагаемых абсолютного ускорения точки $\bar{a}_r^{\tau}, \bar{a}_r^n, \bar{a}_e^{\tau}, \bar{a}_e^n, \bar{a}_k$.

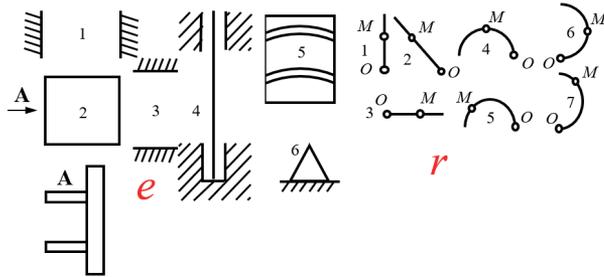


Рисунок 12 — Простые элементы (слева направо) переносного движения e (1–6, вид А), относительного движения r (1–7, ОМ)

Показать на сформированных схемах все векторы кинематических характеристик сложного движения точки, отображающие эти критерии:

$$\bar{a} = \bar{a}_r^{\tau} + \bar{a}_r^n + \bar{a}_e^{\tau} + \bar{a}_e^n, \quad \bar{a} = \bar{a}_r^n + \bar{a}_e^{\tau} + \bar{a}_e^n + \bar{a}_k.$$

1. Сформируем по две отличные друг от друга схемы переносного движения для первого и второго критерия:
 $(2e + 5e), (2e + 4e);$
 $(2e + 4e), (2e + 4e).$

2. Затем к сформированным схемам переносного движения добавляем простые элементы относительного движения
 $(2e + 5e + 5r), (2e + 4e + 6r);$
 $(2e + 4e + 5r), (2e + 4e + 7r).$

3. На сформированных схемах (рисунок 13) в прямоугольных декартовых осях XYZ показаны векторы $\bar{V}_r, \bar{a}_e^n, \bar{a}_r^n, \bar{a}_e^{\tau}, \bar{a}_r^{\tau}, \bar{\omega}_e, \bar{\epsilon}_e$.

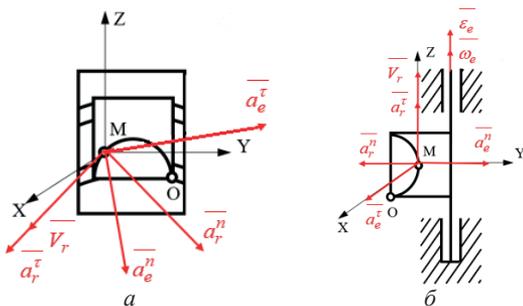


Рисунок 13 — Схемы синтеза КСДТ, построенные по первому критерию:

a — переносное поступательное криволинейное движение;
 b — переносное вращательное движение

На сформированных схемах (рисунок 14) в прямоугольных декартовых осях XYZ показаны векторы $\bar{\omega}_e, \bar{\epsilon}_e, \bar{V}_r, \bar{a}_e^n, \bar{a}_r^n, \bar{a}_e^{\tau}, \bar{a}_k$.

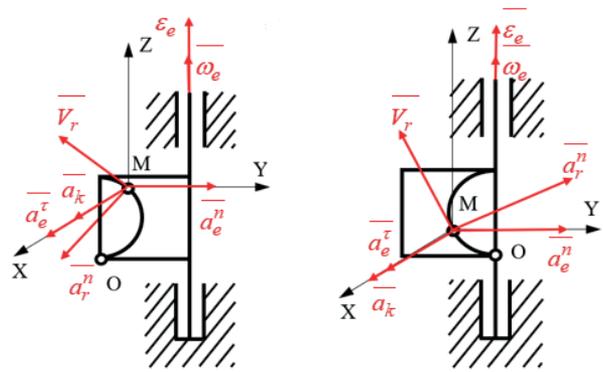


Рисунок 14 — Схемы синтеза КСДТ, построенные по второму критерию (переносное вращательное движение)

Результат синтеза. Из простых элементов переносного и относительного движений точки M сформировано по две схемы КСДТ, отображающие критерии $\bar{a} = \bar{a}_r^{\tau} + \bar{a}_r^n + \bar{a}_e^{\tau} + \bar{a}_e^n, \quad \bar{a} = \bar{a}_r^n + \bar{a}_e^{\tau} + \bar{a}_e^n + \bar{a}_k.$

Теоретическая и прикладная механика

Компьютерная программа построения графиков амплитудных и фазовых характеристик вынужденных колебаний

При разных значениях ν программа строит графики амплитудных и фазовых характеристик вынужденных колебаний (рисунок 15).

По амплитудной характеристике можно определить показатели прочности деталей колебательной системы и явления резонанса.

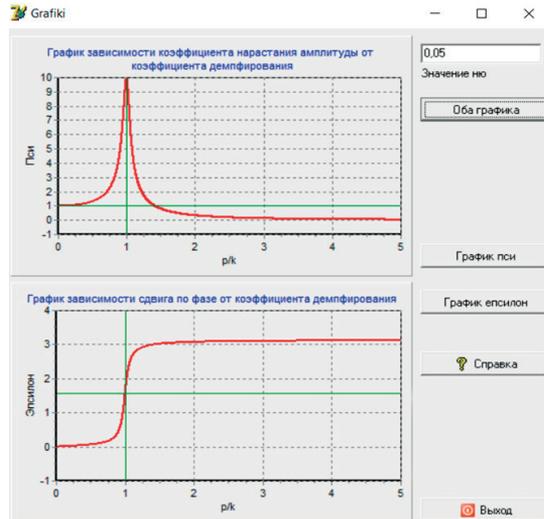


Рисунок 15 — Вынужденные колебания:

ψ — коэффициент нарастания амплитуды; p — частота возмущающей силы; k — циклическая частота; ϵ — сдвиг фазы между возмущающей силой и перемещением; ν характеризует сопротивление среды — коэффициент демпфирования

Компьютерная программа демонстрации следствий теоремы о движении центра масс механической системы и полета двигателя

Изменяя характеристики двигателя $M1, M2, M3, L$ и угловую скорость Ω , можно получить различные виды возвратно-поступательных прямолиней-

ных движений двигателя по основанию (рисунок 16). При определенной угловой скорости Ω двигатель начнет летать.

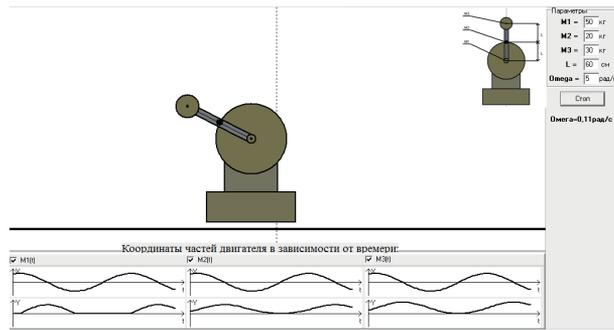


Рисунок 16 – Фрагмент работы программы «Полет двигателя»

Механико-математическое описание движений тела с переменным моментом инерции – вращения фигуриста, выполняющего пируэт «Винт»

В технике часто используют вращение тел с переменными моментами инерции.

В книге А. Н. Мишина «Биомеханика движения фигуриста» приведено тривиальное решение задачи об изменении угловой скорости фигуриста, выполняющего пируэт «Винт» при условии сохранения постоянным его кинетического момента относительно оси вращения Z : $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$. При этом конек касается льда одной точкой, а момент сопротивления конька о лед $M_C = 0$, I_1, I_2 – соответственно, моменты инерции фигуриста относительно оси Z с расставленными в сторону и прижатыми к туловищу руками; $\omega_1 = \omega_{t=0}$ – начальная угловая скорость, соответствующая I_1 ; ω_2 – угловая скорость, соответствующая I_2 (рисунок 17).

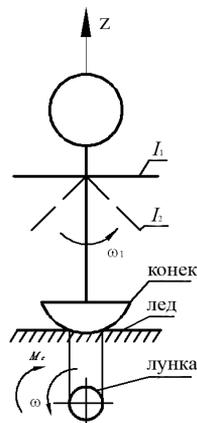


Рисунок 17 – Схема фигуриста, выполняющего пируэт «Винт»

Известно, что при движении конька по льду из-за жидкостного и сухого трения образуется тонкий слой воды, который является причиной появления темного следа.

В работе [7] описано применение теоремы об изменении кинетического момента механической системы относительно вертикальной оси и ее следствий в курсе теоретической механики. Приведено решение одной из биомеханических задач о вращении фигуриста – тела с переменным моментом инерции при различных видах момента сопротивления коньку со стороны льда. С помощью этого решения тренеры фигурного катания смогли глубже понять биомеханику вращения фигуриста и обосновать изменения в методике тренировок.

Студентам технических вузов на лекциях по механике нужно демонстрировать отдельные фрагменты решений задач о вращении фигуриста (или целые решения) как примеры формализации нетрадиционных задач механики прикладного характера, использовать постановку этих задач на олимпиадах, а также для кружковой и индивидуальной работы.

Постановка задачи. Вывести механико-математические закономерности вращения фигуриста вокруг оси Z при условии, что конек вырезает лунку, а момент сопротивления конька о лед $M_C \neq 0$.

При этом даны ответы на следующие вопросы. Какова зависимость угловой скорости вращения фигуриста от времени $\omega = \omega(t)$ при изменении момента инерции от I_1 до I_2 при различных случаях нагружения $M_C \neq 0$? Что будет происходить с $\omega = \omega(t)$, когда момент инерции фигуриста станет постоянной величиной $I_2 = \text{const}$? Какой вид зависимости $\omega = \omega(t)$ в тривиальном случае, когда фигурист из первого положения с моментом инерции I_1 переходит во второе положение с моментом инерции I_2 ?

Случай А. Определим угловую скорость вращения фигуриста относительно оси Z в функции времени $\omega = \omega(t)$ при условии, что момент инерции фигуриста относительно оси Z является переменным (функцией времени), и на его конек со стороны льда действует момент пропорциональный угловой скорости вращения фигуриста в виде жидкостного трения $M_C = -\alpha\omega$ (α – коэффициент пропорциональности).

Используя теорему об изменении кинетического момента фигуриста относительно оси Z , получим

$$\frac{dI}{dt}\omega + I \frac{d\omega}{dt} = -\alpha\omega,$$

где $I = I(t)$ – момент инерции фигуриста относительно оси Z в функции времени t . Решая это дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, получим

$$\omega = \omega_1 \frac{I_1}{I(t)} e^{-\alpha \int_0^t I(t) dt}. \tag{23}$$

Зададим вид функции $I(t)$. Примем, что время вращения фигуриста равно сумме времени разгона и торможения:

$$t = t_p + t_r, I = I_1 - \beta t, \tag{24}$$

где $\beta = \frac{I_1 - I_2}{t_p}$. Тогда $I_{t=0} = I_1, I_{t=t_p} = I_2$. Решение

с учетом (24) имеет вид

$$\omega = \omega_1 I_1^{(1-\alpha/\beta)} (I_1 - \beta t)^{(\alpha/\beta-1)}. \tag{25}$$

1. Если $\alpha/\beta < 1$ (рисунок 18), тогда (25) примет вид

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \omega_1 \left(\frac{I_1}{I_1 - \beta t} \right)^{(1-\alpha/\beta)}, \\ \omega_{t=0} &= \omega_1, \omega_{t=t_p} = \omega_2 = \omega_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^{(1-\alpha/\beta)}. \end{aligned} \right\} \tag{26}$$

Функция (26) определена и возрастает на интервале времени $0 < t < t_p$, а кривая (26) имеет вертикальную асимптоту $t = \frac{I_1}{\beta}$. Определим производную по времени от (25) для выявления характера построения графиков:

$$\dot{\omega} = \frac{-\omega_1 I_1^{(1-\alpha/\beta)} (-\beta) \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^{(1-\alpha/\beta)}}{(I_1 - \beta t)^{2(1-\alpha/\beta)}}. \tag{27}$$

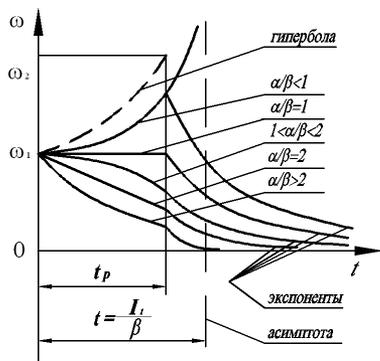


Рисунок 18 – Зависимости угловой скорости вращения фигуриста при жидкостном трении

Так как производная (27) положительная величина и возрастает на интервале $0 < t < t_p$, то кривая (25) – вогнутая на этом интервале времени.

2. При $\alpha/\beta = 1$ кривая (25) примет вид $\omega = \omega_1 = \text{const}$ при любом $t > 0$, взятом из интервала времени $0 \leq t \leq t_p$.

3. Если $\alpha/\beta > 1$, то (25) примет вид

$$\omega = \omega_1 \left(\frac{I_1 - \beta t}{I_1} \right)^{(\alpha/\beta - 1)}. \quad (28)$$

Функция (28) определена и убывает на интервале времени $0 \leq t \leq t_p$. Определим первую производную по времени от функции (28):

$$\dot{\omega} = \omega_1 (\alpha/\beta - 1) \left(\frac{I_1 - \beta t}{I_1} \right)^{(\alpha/\beta - 2)} (-\beta). \quad (29)$$

Учитывая вид функции (29), целесообразно рассмотреть еще три случая.

3.1. Если $1 < \alpha/\beta < 2$, то производная (29) примет вид

$$\dot{\omega} = \omega_1 (\alpha/\beta - 1) \left(\frac{I_1 - \beta t}{I_1} \right)^{(2 - \alpha/\beta)} (-\beta). \quad (30)$$

Производная (30) – отрицательная величина и убывает на интервале времени $0 \leq t \leq t_p$. Следовательно, кривая (28) в этом случае – выпуклая и убывает на этом интервале времени.

3.2. При $\alpha/\beta = 2$ производная (29) – отрицательная и постоянная величина. Следовательно, графиком функции (28) является отрезок прямой на интервале $0 \leq t \leq t_p$.

3.3. При $\alpha/\beta > 2$ производная (29) на интервале времени $0 \leq t \leq t_p$ – отрицательная величина и возрастает. Следовательно, график (28) убывает и имеет вогнутость на этом интервале времени.

Что будет с $\omega(t)$ при $I_1 = I_2 = \text{const}$ и $t > t_p$? Дифференциальное уравнение вращения фигуриста в этом случае имеет вид

$$\frac{d(I_2\omega)}{dt} = -\alpha\omega. \quad (31)$$

Решая (31), получим

$$\omega = \omega_2 e^{-\frac{\alpha}{I_2} t}. \quad (32)$$

Необходимо установить вид зависимости $\omega = \omega(t)$ в тривиальном случае, когда фигурист из положения I_1 переходит в положение I_2 (при этом $M_c = 0$):

$$\frac{dI}{dt} \omega + I \frac{d\omega}{dt} = 0.$$

Решая это уравнение, получим

$$\omega = \omega_1 \frac{I_1}{I}. \quad (33)$$

Если в (33) подставить $I = I(t) = I_1 - \beta t$, получим

$$\omega = \omega_1 \frac{I_1}{I_1 - \beta t}. \quad (34)$$

Графиком функции (34) является гипербола на интервале времени $0 \leq t \leq t_p$ (штриховая линия рисунок 18). Сравнивая графики (26) и (34), приходим к выводу о большем значении ординаты (34) по сравнению с ординатой (26).

Случай Б. Определим угловую скорость вращения фигуриста относительно оси Z в функции времени $\omega = \omega(t)$ при условии, что момент инерции фигуриста относительно оси Z является функцией времени при постоянном значении момента сопротивления в виде момента сухого трения.

Используя теорему об изменении кинетического момента фигуриста относительно оси Z , получим

$$\frac{d(I\omega)}{dt} = -M_{\text{тр}}. \quad (35)$$

Разделим переменные в (35) и от обеих частей возьмем определенные интегралы с переменными верхними пределами:

$$d(I\omega) = -M_{\text{тр}} \int_0^t dt. \quad (36)$$

Из (36) получим

$$\omega(t) = \frac{M_{\text{тр}}}{\beta} + \frac{I_1 \left(\omega_1 - \frac{M_{\text{тр}}}{\beta} \right)}{I_1 - \beta t}, \quad (37)$$

где $\omega_1 = 0 = \omega_1$.

Функция (37) определена на интервале $0 \leq t \leq t_p$, а кривая $\omega = \omega(t)$ имеет две асимптоты: горизонтальную $\omega = \frac{M_{\text{тр}}}{\beta}$ при $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega = \frac{M_{\text{тр}}}{\beta}$ и вертикальную $t = I_1/\beta$ при $I_1 - \beta t = 0$ (рисунок 19). Если $\omega_1 > \frac{M_{\text{тр}}}{\beta}$ – функция (37)

возрастает, в противном случае – убывает.

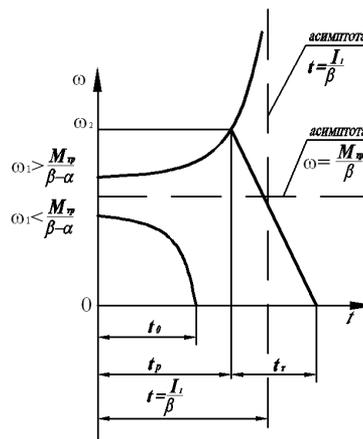


Рисунок 19 – Зависимости угловой скорости вращения фигуриста при сухом трении

Необходимо ответить на вопрос, что будет с ω при $I = I_2 = \text{const}$ и $t > t_p$ для случая $\omega_1 > \frac{M_{\text{тр}}}{\beta}$? Из (36) следует

$$\int_{I_2\omega_2}^{I_2\omega} d(I\omega) = -M_{\text{тр}} \int_0^t dt. \quad \text{Отсюда определим } \omega(t)$$

$$I_2\omega_2 \omega = \omega_2 - \frac{M_{\text{тр}}}{I_2} t. \quad (38)$$

График функции (38) – отрезок прямой линии на интервале $t_p \leq t \leq t_T$, где время торможения $t_T = I_2\omega_2/M_{\text{тр}}$.

Случай В. Закономерности вращения фигуриста при одновременном действии жидкостного и сухого трения.

В этом случае дифференциальное уравнение имеет вид

$$I \frac{d\omega}{dt} + \omega \left(\frac{dI}{dt} + \alpha \right) = -M_{\text{тр}}, \quad (39)$$

где $I = I_1 - \beta t$, тогда

$$(I_1 - \beta t) \frac{d\omega}{dt} + \omega(\alpha - \beta) = -M_{тр}. \quad (40)$$

Уравнения (39) и (40) имеют решение

$$\omega = \omega^* + \omega^{**}, \quad (41)$$

где ω^* – частное решение уравнения (40); ω^{**} – общее решение однородного уравнения, которое имеет вид (25)

$$\omega^{**} = C I_1^{(1-\alpha/\beta)} (I_1 - \beta t)^{(\alpha/\beta-1)}, \quad (42)$$

где C – произвольная постоянная.

Частное решение будем искать в виде $\omega^* = \text{const}$, тогда $\dot{\omega}^* = 0$.

Подставим ω^* и $\dot{\omega}^*$ в (40), получим

$$\omega^* = -\frac{M_{тр}}{\alpha - \beta}. \quad (43)$$

Найдем C , используя (41) и (42) при начальных условиях $\omega_{t=0} = \omega_1$. Тогда

$$C = \omega_1 + \frac{M_{тр}}{\alpha - \beta}. \quad (44)$$

Общее решение уравнения (39) имеет вид

$$\omega = I_1^{(1-\alpha/\beta)} (I_1 - \beta t)^{(\alpha/\beta-1)} \left(\omega_1 + \frac{M_{тр}}{\alpha - \beta} \right) \left(-\frac{M_{тр}}{\alpha - \beta} \right). \quad (45)$$

Отметим, что решение (45) справедливо только для случаев $\alpha/\beta \neq 1$.

Рассмотрим случай, когда $\alpha = \beta$, тогда (40) принимает вид

$$(I_1 - \beta t) \frac{d\omega}{dt} = M_{тр}. \quad (46)$$

Отсюда

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \omega_1 + \frac{M_{тр}}{\alpha - \beta} \ln \frac{I_1 - \beta t}{I_1}, \\ \omega_{t=0} = \omega_1, \omega_{t=tp} = \omega_2 &= \omega_1 + \frac{M_{тр}}{\beta} \ln \frac{I_2}{I_1}. \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

Построим график функций (45) и (47) для случаев $\alpha \neq \beta$ и $\alpha = \beta$ соответственно. Если $\alpha/\beta < 1$ (рисунок 20), то (45) примет вид

$$\omega = \left(\frac{I_1}{I_1 - \beta t} \right)^{(1-\alpha/\beta)} \left(\omega_1 - \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha} \right) + \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha}, \quad (48)$$

$$\omega_{t=0} = \omega_1, \omega_{t=tp} = \omega_2 = \left(I_1 / I_2 \right)^{(1-\alpha/\beta)} \left(\omega_1 - \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha} \right) + \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha}.$$

Функция (48) определена на интервале времени $0 \leq t \leq t_p$, а кривая $\omega = \omega(t)$ имеет две асимптоты: горизонтальную $\omega = \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha}$ и вертикальную $t = I_1/\beta$.

Если $\omega_1 > \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha}$, функция (48) возрастает, в противном

случае – убывает. Определим $\dot{\omega}$ для решения вопроса о характере графика функции (48):

$$\dot{\omega} = \frac{-I_1^{(1-\alpha/\beta)} \left(\omega_1 - \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha} \right) (-\beta)}{(I_1 - \beta t)^{2(1-\alpha/\beta)}}. \quad (49)$$

Если $\left(\omega_1 - \frac{M_{тр}}{\beta - \alpha} \right) > 0$, то $\dot{\omega}$ возрастает, тогда кривая (48) – вогнутая, если наоборот, то кривая (48) – выпуклая.

Принятие решений в задачах многокритериальной оптимизации

Все задачи проектирования, связанные с деятельностью человека, всегда многокритериальные. Практи-

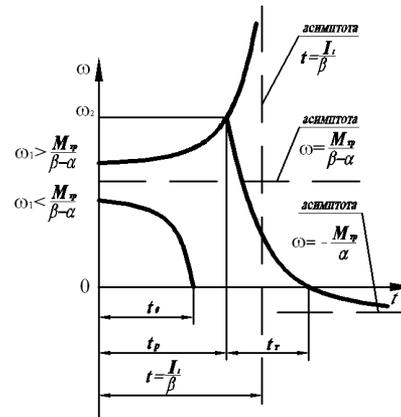


Рисунок 20 – Зависимости угловой скорости вращения фигуриста при одновременном действии

жидкостного и сухого трения

любой объект проектирования характеризуется большим количеством критериев качества проектных вариантов, неопределенностью и большим объемом исходной информации, описывающей возможную область допустимых значений. В такой ситуации лицу, принимающему решение, часто затруднительно сформулировать свои предпочтения и выбрать окончательное решение, так как для достижения нужного эффекта необходимо учитывать сразу всю эту информацию. В работе [8] описан один из алгоритмов решения задач на стадии многокритериального проектирования транспортных средств на колесном ходу.

Задачи, решение которых оценивается вектором Y , состоящим из n локальных критериев, которые, как правило, оказывают неоднозначное и противоречивое действие на проектируемый объект, называются многокритериальными (векторными) задачами:

$$Y = \{Y_1, \dots, Y_n\}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

С решением векторных задач оптимизации связаны следующие проблемы:

1. Определение области компромиссов.
2. Нормализация критериев – приведение их к единому масштабу.
3. Определение схемы компромиссов.
4. Учет приоритета критериев.

1. Определение области компромиссов.

При решении векторных задач оптимизации на первом этапе необходимо провести сужение области возможных решений. В отличие от **области согласия**, в которой нет противоречий между критериями, существует **область компромиссов – область Парето (дуга АВ)**, где **улучшение качества одних критериев вызывает ухудшение качества других** (рисунок 21).

Поэтому окончательное решение должно находиться именно в области компромиссов. Однако для практических целей получение только множества Парето часто бывает недостаточным, потому что кроме области Парето необходимо получить единственное верное решение.

2. Нормализация критериев. В многокритериальных задачах оптимизации критерии измеряются, как правило, различными физическими единицами, имеют несоизмеримые масштабы. Следовательно, нормализация критериев – это приведение критериев к единому масштабу, чаще всего к безразмерному виду:

$$\bar{Q}_j = \frac{Q_j}{Q_j^*} \in [0,1], \quad (50)$$

где Q_j^* – идеальное качество решения (или его максимальная величина).

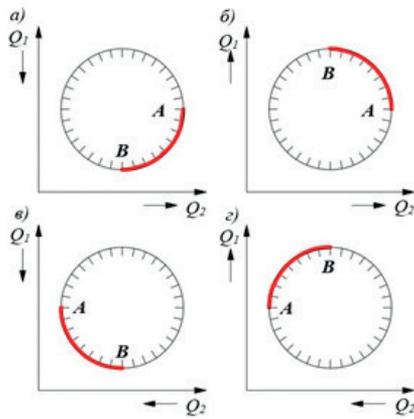


Рисунок 21 – Область компромиссов – область Парето:

- a) $Q_1 \rightarrow \min; Q_2 \rightarrow \max;$
- б) $Q_1 \rightarrow \max; Q_2 \rightarrow \max;$
- в) $Q_1 \rightarrow \min; Q_2 \rightarrow \min;$
- г) $Q_1 \rightarrow \max; Q_2 \rightarrow \min$

3. Определение схемы компромиссов. Для получения окончательного решения из области Парето используются схемы компромиссов, которые можно сравнивать и выбирать одно окончательное решение. Причем для каждого конкретного случая нужно подбирать соответствующую схему.

Принцип равенства. Минимизация осуществляется при условии равенства уровня всех критериев. Для каждого критерия определяется оптимальное значение. Затем среди оставшихся точек Парето находится такая точка, для которой ухудшение по каждому критерию одинаковое (рисунок 22).

Принцип абсолютной уступки. По этому принципу справедливым считается такой компромисс, при котором суммарный абсолютный уровень снижения одного или нескольких критериев не превосходит суммарного абсолютного уровня других критериев. Другими словами – минимизация суммы критериев (аддитивный критерий) в виде

$$Y = \sum Y_j, j = 1, 2, \dots, m. \quad (51)$$

Принцип относительной уступки. Справедливым считается такой компромисс, при котором произведение относительных уровней снижения одного или

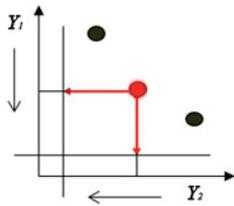


Рисунок 22 – Иллюстрация принципа равенства

нескольких критериев не превосходит произведения относительных уровней других критериев. Другими словами – минимизация произведения критериев (мультипликативный критерий) в виде

$$Y = \prod Y_j, j = 1, 2, \dots, m. \quad (52)$$

Принцип равномерности (принцип минимакса). Идея этого принципа заключается в вариации значений критериев так, чтобы нормированные значения всех критериев стали равными, при этом осуществляется равномерность понижения уровня всех критериев за счет «подтягивания» наихудшего из критериев с наибольшим уровнем (рисунок 23).

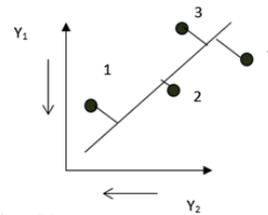


Рисунок 23 – Иллюстрация принципа минимакса

4. Учет приоритета критериев. Существуют два принципа учета приоритета критериев:

- принцип гибкого приоритета;
- принцип жесткого приоритета.

Принцип гибкого приоритета основан на задании количественных характеристик приоритета критериев в виде вектора весовых коэффициентов $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$, каждая компонента которого определяет значимость j -го критерия по сравнению с остальными критериями. Например:

$$opt(Q, \alpha) = \max_j \prod_j^{\alpha_j} Q_j, \alpha_j \in [0, 1];$$

$$\sum_j^m \alpha_j = 1, j = 1, 2, \dots, m.$$

При применении к схемам компромисса принципа жесткого приоритета m критериев располагаются в ряд в порядке их значимости:

$$Q_1 > Q_2 > \dots > Q_m.$$

Затем проводится последовательная оптимизация каждого из m критериев этого ряда.

Алгоритм принципа последовательной оптимизации заключается в следующем:

- 1) ищется локальный оптимум для наиболее важного критерия;
- 2) найденный оптимум с учетом уступки фиксируется в виде дополнительного ограничения;
- 3) ищется локальный оптимум второго по важности критерия, но уже для новой допустимой области решений;
- 4) последовательное сужение допустимой области решений осуществляется до тех пор, пока не будет найдено единственное оптимальное решение.

Таким образом, при решении задач на стадии проектирования с помощью многокритериальной оптимизации (многокритериального выбора) целесообразно пользоваться следующим алгоритмом:

- определить области компромиссов с помощью областей Парето;
- нормализовать критерии – привести их к единому масштабу;
- выбрать нужную схему компромиссов;
- учесть приоритет критериев.

Одним из примеров реализации задачи проектирования с помощью многокритериальной оптимизации является научно-исследовательская работа в Государственной программе научных исследований (ГПНИ) [9].

Выбор критерия оптимизации параметров транспортных средств методом сеток, Монте-Карло и ЛП_т-последовательности

Задачи выбора критерия, разработки методики и комплекса программ многокритериальной оптимизации параметров на стадии проектирования транспортных средств во всем скоростном диапазоне движения машин должны решаться методами случайного поиска – Монте-Карло и ЛП_т-последовательности. С их помощью можно реализовать минимальное количество вычислительных

процедур за счет варьирования значений сразу всех параметров. При этом необходимо строить всего лишь одну n -мерную картину устойчивости [10].

Задачи многокритериальной оптимизации значений геометрических, конструктивных и других параметров автомобилей во всем скоростном диапазоне движения на стадии их проектирования являются сложными научно-техническими задачами. Для их решения:

1) требуются, как правило, усилия целого коллектива: механиков, конструкторов, инженеров, математиков, программистов;

2) используются специальные методы, заимствованные из разных наук: механики (теоретической и аналитической механики, механики неголономных систем, теории устойчивости движения, теории качения колеса, теории автоматического регулирования, теории машин и механизмов и т. д.), математического моделирования, многокритериального синтеза, множества Парето, теории идентификации, теории вероятностей и математической статистики, теории приближения функций и других теорий;

3) затем разные комбинации этих методов «сшиваются» в единое целое, которое представляет собой новые методики, алгоритмы и программы выбора параметров автомобилей на стадии проектирования, удовлетворяющих сразу нескольким критериям, причем во всем скоростном диапазоне движения этих машин.

Для успешного решения задач многокритериальной оптимизации необходимо выбрать «хороший» метод оптимизации (обозначим этот метод – « M^* »), который из множества существующих критериев обеспечит выполнение, по меньшей мере, двух, не всегда коррелированных между собой, критериев:

1) минимальное количество вычислительных процедур;

2) минимальное время счета.

В качестве исходного материала для поиска « M^* » используем:

- метод сеток (или метод перебора значений всех параметров в узлах сетки). Аналогом этого метода может служить лист бумаги в клетку (с параметрами X и Y), где на пересечении горизонтальных X и вертикальных Y линий расположены узлы сетки. При одинаковом числе разбиений параметров число узлов равно $X^2 = Y^2$. Если добавить третий параметр Z , то число узлов составит $X^3 = Y^3 = Z^3$. Такие вычисления можно выполнить для n -мерного пространства параметров при одинаковом числе разбиений каждого из параметров;

- геометрические, жесткостные, массовые, конструктивные и другие параметры в виде n -мерного пространства параметров, представляющие собой коэффициенты механико-математического описания движения транспортного средства, т. е. коэффициенты, стоящие перед слагаемыми каждого уравнения системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику транспортного средства.

В данной работе реализованы алгоритмы расчетов количества узлов сетки, использующие методы комбинаторики и правило круговой подстановки при **неодинаковом и одинаковом** числе разбиений пара-

метров; получен ответ на вопрос: «В чем же выигрывает проектировщик, если одновременно варьировать два, три или более значений параметров при неизменных величинах остальных параметров механико-математического описания движения транспортного средства по сравнению с изменением значения только одного параметра при неизменном значении остальных параметров?».

Выбор метода оптимизации осуществляется после сравнения результатов вычислений по формулам, определяющим:

- количество совокупностей (или число сочетаний) значений параметров W_{fnN}^n для n -мерного пространства варьируемых параметров, когда число уровней варьирования каждой n -мерной координаты различно: $f_{1i}, f_{2j}, \dots, f_{nN}$ (где i, j, \dots, N – текущие порядковые номера уровней варьирования по каждой n -мерной координате $i = \overline{1, \lambda_1}; j = \overline{1, \lambda_2}; \dots; N = \overline{1, \lambda_n}$);

- число зон устойчивости или неустойчивости движения управляемых колес машины $W_{fnN}^n(k_1)$ (где $k_1 = \overline{1, m}$) при одновременном варьировании значений сначала одного параметра, затем двух и так далее ($k_1 = 1, 2, \dots, n - 1, n$) при неизменных значениях остальных параметров в этой n -мерной совокупности параметров.

Выполним расчет совокупностей параметров по формуле W_{fnN}^n для плоскости $n = 2$ и для пространства $n = 3$ (рисунок 24) различных по физическому смыслу параметров и с разным числом уровней варьирования f_{1i}, f_{2j}, f_{3k} . Если $i = \overline{1, 4}; j = \overline{1, 2}; k = \overline{1, 3}$, то $f_{1\lambda_1} = 4, f_{2\lambda_2} = 2, f_{3\lambda_3} = 3$. Тогда количество совокупностей параметров на плоскости f_{1i}, f_{3k} и в пространстве f_{1i}, f_{2j}, f_{3k} будет равно:

$$W_{fnN}^2 = f_{1\lambda_1} \cdot f_{3\lambda_3} = 4 \cdot 3 = 12;$$

$$W_{fnN}^3 = f_{1\lambda_1} \cdot f_{2\lambda_2} \cdot f_{3\lambda_3} = 4 \cdot 2 \cdot 3 = 24.$$

В n -мерном пространстве параметров количество всех совокупностей, содержащих по n параметров каждая, определяется выражением

$$W_{fnN}^n = \prod_{n=1}^n f_{n\lambda_n}. \tag{53}$$

Примеры расчета совокупностей параметров по формуле $W_{fnN}^n(k_1)$ при $k_1 = \overline{1, m}$ будем реализовывать для однокритериальной задачи, где критерием устойчивости движения машины и функцией совокупности параметров является скорость движения управляемых колес $V = V(f_{1i}, f_{2j}, f_{3k}, \dots, f_n)$, которая представляет поверхность в n -мерном пространстве параметров.

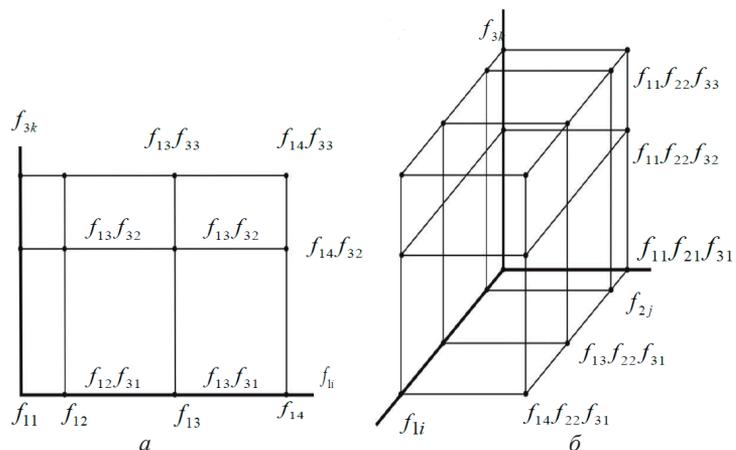


Рисунок 24 – Количество совокупностей параметров:

a – на плоскости f_{1i}, f_{3k} (вид на рисунок 24, b со стороны отрицательного направления оси f_{2j}); b – в трехмерном пространстве f_{1i}, f_{2j}, f_{3k} параметров

Пример 1. Скорость $V = V(f_{1i}, f_{2j})$ – функция двух параметров.

Чтобы построить эту поверхность в виде сетки необходимо:

1) варьировать величину параметра f_{1i} при неизменной какой-либо одной из величин f_{2j} , например $f_{21} = \text{const}$. При этом получим ряд точек V_{21i} , где $i = \overline{1, \lambda_1}$, через которые, используя методы аппроксимации, проведем плавную кривую, являющуюся элементом сетки. Зависимость $V_{21i} = V_{21i}(f_{1i}, f_{21})$ представляет собой одну плоскую зону устойчивости. Всего нужно построить $j = \lambda_2$ плавных кривых и плоских зон устойчивости вида $V_{2ji} = V_{2ji}(f_{1i}, f_{2j})$;

2) варьируя величину f_{2j} при неизменной величине f_{1i} , где $j = \overline{1, \lambda_2}$, $i = \overline{1, \lambda_1}$ необходимо построить еще $i = \lambda_1$ плавных кривых и плоских зон устойчивости вида $V_{1ij} = V_{1ij}(f_{1i}, f_{2j})$.

Полное количество плоских зон устойчивости движения и плавных кривых, отображающих сетку в двухмерном пространстве параметров, определяется зависимостью

$$W_{f_{in}}^2(1) = \sum_{j=1}^{\lambda_2} \sum_{i=1}^{\lambda_1} V_{2ji} + \sum_{i=1}^{\lambda_1} \sum_{j=1}^{\lambda_2} V_{1ij}. \quad (54)$$

В (54) первое слагаемое определяет количество плавных кривых, параллельных оси j и равное λ_2 . Второе слагаемое – параллельных оси i и равное λ_1 .

Если одновременно варьировать величины двух параметров, то для изучения поверхности $V(f_{1i}, f_{2j})$ необходимо построить всего одну двухмерную область устойчивости.

Более наглядными являются расчеты, когда каждый параметр из n -мерного пространства параметров делится на одинаковое число частей.

С помощью методов комбинаторики (размещения, сочетания и перестановки) реализован алгоритм вычислений количества узлов сетки при $n = 10$, представляющий собой последовательность вычислительных процедур: сначала нужно варьировать только один параметр из десяти, остальные девять параметров закреплены; затем варьировать два параметра при закрепленных остальных восьми параметрах. Расчеты необходимо продолжать до тех пор, пока число одновременно варьируемых параметров не достигнет десяти.

Результаты расчетов числа расчетных точек – узлов сетки по (53) приведены в таблице [10, с. 145, 146]:

$$W_f^n(k_i) = f^n(k_i), \quad (55)$$

где f – число разбиений одинаковое для каждого из варьируемых параметров, может последовательно принимать значения из ряда $2 \dots 6$; n – количество параметров системы, может последовательно принимать значения из ряда $1 \dots 10$; k_i – число одновременно варьируемых параметров, может последовательно принимать значения из ряда $1, 2, \dots, 10$.

Анализ таблицы [10, с. 145, 146] показал, что минимальное количество вычислительных процедур и, соответственно, минимальное время счета можно получить при одновременном варьировании всех n параметров. При этом необходимо строить всего лишь одну n -мерную картину устойчивости.

Этот результат позволяет из имеющегося количества методов нелинейного программирования выбрать те методы, где можно варьировать значения сразу всех параметров. Например, методы случайного поиска: метод Монте-Карло, метод ЛП_т-последовательности.

Метод ЛП_т-последовательности отличается от метода Монте-Карло повышенной равномерностью разбиения

на части каждого варьируемого параметра. Это хорошо видно при разбрасывании десяти точек тремя методами на отрезке прямой линии: самая большая разница в величине десяти отрезков между собой у метода Монте-Карло; при использовании метода ЛП_т-последовательности величина каждого из десяти отрезков отличается друг от друга незначительно, что практически соответствует величине отрезков, построенных методом сеток.

Поэтому, рассуждения об одинаковом разбиении каждого варьируемого параметра из n -мерного пространства параметров и таблица [10, с. 145, 146] больше соответствуют методу ЛП_т-последовательности. Математические выкладки при не одинаковом разбиении каждого варьируемого параметра, наоборот – больше соответствуют методу Монте-Карло.

С помощью методов случайного поиска, например, Монте-Карло можно получить огромный выигрыш в количестве расчетов. Применяя метод сеток на плоскости двух параметров ($n = 2$), каждый из которых делится на десять частей ($f = 10$), нужно выполнить 10^2 вычислительных процедур. При использовании метода Монте-Карло – всего десять, причем каждый из двух параметров будет разделен на десять неодинаковых между собой частей. В трехмерном пространстве параметров выигрыш в количестве расчетов еще более очевиден: при методе сеток – 10^3 вычислений, а с помощью метода Монте-Карло – всего десять. В десятимерном пространстве параметров при использовании метода сеток применяется 10^{10} вычислений, а с помощью метода Монте-Карло – всего десять, причем каждый из десяти параметров будет разделен на десять неодинаковых между собой частей.

Семейство новых прикладных критериев колебательной устойчивости-неустойчивости движения

Ю. К. Фавстов экспериментально установил парадоксальное явление, которое заключается в том, что покрытия, материал которых характеризуется большим значением критерия **логарифмического декремента колебаний**, зачастую хуже демпфируют колебания, чем покрытия с меньшим значением этого критерия.

Поэтому для исследований различного рода колебательных процессов предлагается два семейства новых прикладных критериев колебательной устойчивости-неустойчивости движения, которые свободны от «парадокса» логарифмического декремента колебаний [11].

В курсе «Теоретическая механика» в разделе «Динамика» теме «Колебания» из дифференциального уравнения движения груза, прикрепленного к пружине, под действием двух сил (силы упругости и силы сопротивления среды, пропорциональной первой степени скорости) выводится критерий темпа затухания колебательного процесса – логарифмический декремент колебаний

$$D = \left[\ln \left(\frac{A_i}{A_{i+1}} \right) = nT \right],$$

где A_i – амплитуда; n – коэффициент демпфирования; T – период колебаний.

Этот критерий до сих пор широко используется во многих областях науки и техники, например, при проектировании всех транспортных средств (самолетов, вертолетов, автомобилей и т. д.); на стадии проектирования звукоизолирующих перегородок в промышленных и гражданских зданиях.

Известно, что одним из средств борьбы с колебаниями упругих конструкций служат специальные покрытия, способные к интенсивному поглощению энергии колебаний. Эффективность применения на практике того или иного покрытия определяется критерием темпа затухания колебательного процесса D .

Рассмотрим виброграммы, приведенные на рисунке 25. По ним можно сделать вывод: процесс, соответствующий кривой 1, затухает медленнее процесса, соответствующего кривой 2. Хотя логарифмический декремент в первом случае больше, чем во втором. Объясняется это тем, что «логарифмический декремент колебаний характеризует затухание не за объективную единицу времени (например, за одну секунду), а за один период колебаний».

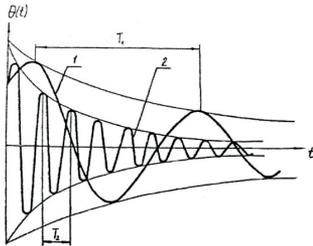


Рисунок 25 — Виброграммы двух процессов

Для исследований различного рода колебательных процессов предлагается два семейства новых прикладных критериев колебательной устойчивости-неустойчивости движения, которые свободны от «парадокса».

При этом любой критерий из каждого семейства критериев должен удовлетворять следующим требованиям:

- не должен противоречить теории линейных колебаний;
- должен отличать «медленные» и «быстрые» движения;
- может оценить колебания с увеличивающейся амплитудой.

«Расшифруем» перечисленные требования.

Под фразой «не противоречить теории линейных колебаний» понимается:

1) критерий не должен противоречить логарифмическому декременту колебаний, с помощью которого определяется темп затухания любых колебаний – линейных (для них логарифмический декремент – постоянное число) и нелинейных (логарифмический декремент постепенно меняется);

2) его можно аппроксимировать экспонентой, поскольку в основу логарифмического декремента колебаний положена экспоненциальная функция;

3) с его помощью можно оценить колебания с увеличивающейся амплитудой (нарастающие или расходящиеся колебания – признак неустойчивости движения).

Второе требование связано с терминами «медленные» и «быстрые» движения. Чтобы понять, что под ними кроется, рассмотрим пример.

Допустим, что колебательная система, например, управляемая ось автомобиля, имеет логарифмический декремент колебаний D , равный 10. Очевидно, что $D = 10$ можно получить бесчисленным числом способов сочетания n и T . Поэтому «медленными» будем считать те колебания, у которых $T > n$, а «быстрыми» – наоборот $n > T$.

Результаты этого примера можно объяснить проще, построив таблицу, верхняя и другие строчки которой имеют большую величину периода колебаний T – соответствуют «медленному» движению управляемых колес. Нижняя строчка и другие строчки с маленьким

значением периода T соответствуют «быстрому» движению управляемых колес (таблица 3).

n	T	nT
1	10	10
·	·	·
·	·	·
·	·	·
10	1	10

Физически это означает следующее. При ширине дорожного полотна 3 м автомобиль, движущийся со скоростью 15 м/с (54 км/ч), при наезде передними колесами на неровность, которая вызвала «быстрые» движения колес (см. рисунок 25, кривая 2), с дорожного полотна не сойдет. Если движения «медленные» (см. рисунок 25, кривая 1), автомобиль на полотне не удержится.

Исходя из сказанного, в качестве первого семейства критериев предлагается величина, обратная коэффициенту n демпфирования (затухания) системы.

Критерии первого семейства

$$F_1 = \frac{T}{2 \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}}, \dots, F_1 = \frac{\lambda T}{2 \ln \frac{A_i}{A_{i+\lambda}}}, \quad (56)$$

где i, λ – целые числа 1, 2, 3, ...

Критерий F_1 своим числителем оценивает время, а знаменателем – тенденции к нарастанию или затуханию колебаний. Если знаменатель больше нуля, то имеет место колебательная устойчивость (затухание колебаний), если меньше – колебательная неустойчивость (нарастание колебаний).

Первое семейство критериев (56) необходимо применять, когда логарифмический декремент колебаний остается постоянным для всего процесса затухающих или нарастающих колебаний.

В качестве второго семейства критериев предлагается величина, обратная коэффициенту n демпфирования (затухания) системы.

Приведем формулы для критериев второго семейства $F_2, F_3, F_4, \dots, F_n$. Здесь каждой цифрой ряда 2, 3, 4, ..., n обозначается суммарное количество амплитуд в числителе и в знаменателе дроби, находящейся под знаком натурального логарифма.

Критерии второго семейства

$$\text{Критерий } F_2 (j > i) \quad F_2 = \frac{\lambda T}{2 \ln \left(\frac{A_i + A_j}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda}} \right)}. \quad (57)$$

$$\text{Если } \lambda = 1, i = 1, j = 3, \text{ то } F_2 = \frac{T}{2 \ln \left(\frac{A_1 + A_3}{A_2 + A_4} \right)}.$$

$$\text{Если } \lambda = 3, i = 1, j = 2, \text{ то } F_2 = \frac{3T}{2 \ln \left(\frac{A_1 + A_2}{A_4 + A_5} \right)}.$$

$$\text{Критерий } F_3 (k > j > i) \quad F_3 = \frac{\lambda T}{2 \ln \left(\frac{A_i + A_j + A_k}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda} + A_{k+\lambda}} \right)}. \quad (58)$$

$$\text{Если } \lambda = 2, i = 1, j = 3, k = 4, \text{ то } F_3 = \frac{T}{\ln \left(\frac{A_1 + A_3 + A_4}{A_3 + A_5 + A_6} \right)}$$

Критерий F_4 ($l > k > j > i$).

$$F_4 = \frac{\frac{\lambda}{2} T}{\ln \left(\frac{A_i + A_j + A_k + A_l}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda} + A_{k+\lambda} + A_{l+\lambda}} \right)} \quad (59)$$

Если $\lambda = 4, i = 2, j = 3, k = 4, l = 5$, то

$$F_4 = \frac{2T}{\ln \left(\frac{A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{A_6 + A_7 + A_8 + A_9} \right)}$$

Второе семейство критериев (57) – (59) может применяться в тех случаях, когда логарифмический декремент колебаний не является постоянной величиной для всего процесса затухающих или нарастающих колебаний.

Многокритериальное проектирование управляемых неразрезных осей грузовых автомобилей

В работе описана стратегия многокритериальной оптимизации параметров различных конструкций управляемых неразрезных осей грузовых автомобилей и других колесных машин во всем скоростном диапазоне движения с помощью двух семейств критериев только колебательной устойчивости движения и совокупностью критериев колебательной и апериодической устойчивости движения. Приведены методики оптимизации параметров рулевых трапеций с помощью норм Чебышева и Гильберта. Рассмотрена процедура оптимизации параметров неразрезных мостов четырех разных конструкций колесных самоходных машин от ММО(1) до ММО(4) [12].

На стадии проектирования управляемой оси (или моста) важно преодолеть принципиальную конфликтность проекта – его многокритериальность, т. е. назначить такую совокупность значений параметров моста и его элементов (колеса 1 с цапфой 2 – $l_1, \alpha, \dots, \varepsilon$; балки 3 – $L, m_2, J_2, \beta, \dots, \gamma$; рулевой трапеции 4 – $\alpha, R, c_2, \dots, n_2$; пружин 5 и демпферов 6 подвески – c_1, \dots, n_1), при которой обеспечивается компромисс выходных характеристик во всем предполагаемом скоростном диапазоне движения проектируемой машины (рисунок 26).

Параметры моста (геометрические, жесткостные, массовые, конструктивные в виде n -мерного пространства параметров) представляют собой коэффициенты, стоящие перед слагаемыми каждого дифференциального уравнения второго порядка системы дифференциальных уравнений движения и дифференциальных уравнений движения и дифференциальных связей первого порядка катящихся без скольжения колес по дороге.

На рисунке 26 и далее в тексте α, ε – углы развала и схождения колес; m_1 – масса колеса; b – ширина профиля не обжатой шины; r – радиус качения колеса; $2a$ – длина площадки контакта колеса с дорогой; V – линейная скорость центра колеса; ξ, φ – боковая и угловая деформации шины; θ – угол поворота колес относительно шкворней; l_1 – длина

цапфы; β, γ – углы поперечного и продольного наклона шкворня; ψ – угол поворота балки относительно продольной оси машины; C_1, C_2 – жесткость пружин подвески и рулевого привода.

Для оптимизации параметров механико-математических описаний (ММО) различных конструкций мостов разработан вычислительный алгоритм, использующий один из методов случайного поиска: метод ЛП-последовательности.

Предварительно введем критерии устойчивости движения управляемых колес, износа шин, плавности хода и другие характеристики, необходимые для многокритериальной оптимизации параметров моста во всем скоростном диапазоне движения (пункты А – Д).

Пункт А. Для исследований различного рода колебательных движений предлагается два семейства новых прикладных критериев колебательной устойчивости движения.

В качестве первого семейства критериев предлагается величина

$$F_1 = \frac{\frac{\lambda}{2} T}{\ln \frac{A_i}{A_{i+\lambda}}}, \quad (60)$$

где i, λ – целые числа 1, 2, 3, ...

Критерий F_1 своим числителем оценивает время, а знаменателем – тенденции к нарастанию или затуханию колебаний: если знаменатель больше нуля – наблюдается затухание колебаний (колебательная устойчивость), если меньше нуля – нарастание колебаний (колебательная неустойчивость).

Первое семейство критериев (60) необходимо применять для всех видов затухающих или нарастающих колебаний, которыми описывают установившиеся во времени процессы.

В качестве второго семейства критериев предлагаются выражения:

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= \frac{\frac{\lambda}{2} T}{\ln \left(\frac{A_i + A_j}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda}} \right)}, F_3 = \frac{\frac{\lambda}{2} T}{\ln \left(\frac{A_i + A_j + A_k}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda} + A_{k+\lambda}} \right)}, \\ F_4 &= \frac{\frac{\lambda}{2} T}{\ln \left(\frac{A_i + A_j + A_k + A_l}{A_{i+\lambda} + A_{j+\lambda} + A_{k+\lambda} + A_{l+\lambda}} \right)}, \dots, F_N, \end{aligned} \right\} \quad (61)$$

где $l > k > j > i, N \geq 5$ – целые числа.

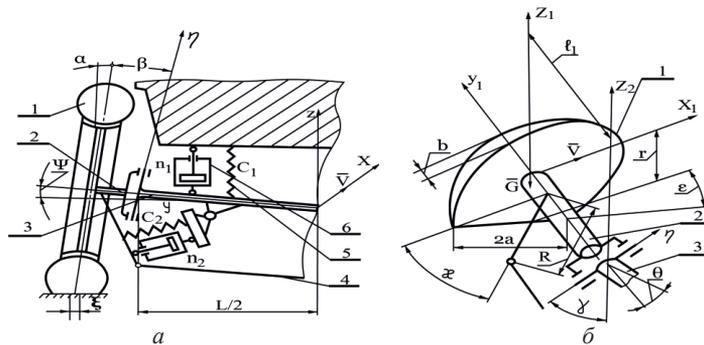


Рисунок 26 – Схемы управляемой неразрезной оси (а) и управляемого колеса (б) грузовых автомобилей и другой военной и гражданской колесной техники: 1 – колесо; 2 – цапфа; 3 – балка; 4 – рулевая трапеция; 5 – пружина; 6 – демпфер; привода; n_1, n_2 – коэффициенты жидкостного трения (демпфирования) в подвеске и в рулевом приводе; L – длина балки (шкворневая колея); m_2 – масса балки; J_2 – момент инерции балки относительно оси X ; R – длина продольного рычага рулевой трапеции; α – угол наклона продольного рычага рулевой трапеции к оси X

Второе семейство критериев может применяться для всех видов затухающих или нарастающих колебаний, которыми описывают неустойчившиеся во времени процессы.

Пункт Б. Для исследований колебательных и аperiodических движений предлагается совокупность двух критериев (62) и (63), работающих совместно. С их помощью можно оценить показатели устойчивости движения и стабилизации управляемых колес с учетом критерия – среднее время реакции водителей (от 0,5 до 1,5 с) в зависимости от возраста и физического состояния водителей.

Первый критерий F_{11} обеспечивает оценку только колебательных движений управляемых колес.

Второй критерий F_{22} необходим для определения характеристики аperiodических движений.

$$F_{11} = \min \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{|A_1| + |A_2|}{|A_3| + |A_6|}}, \quad (62)$$

$$F_{22} = \min \frac{t_1}{\ln \frac{|\theta_1|}{|\theta_2|}}, \quad (63)$$

где t_1 и $t_2 = 2T + t_1$ – время, за которое траектория колебательного движения управляемых колес относительно шкворней достигает соответственно первого и пятого экстремумов; T – период колебаний; $|A_1|, |A_2|$ и $|A_3|, |A_6|$ – соответственно модули амплитуд первого и третьего колебаний; $\theta(t)$ – уравнение вращательного движения управляемых колес относительно шкворней; t – время; θ_1 и θ_2 – углы поворота управляемых колес, совершающих аperiodическое движение при $t = t_1$ и $t = t_2$.

Пункт В. Для оптимизации параметров мостов разработан вычислительный алгоритм, с помощью которого осуществляется систематический просмотр многомерной области n -мерного пространства параметров пробными точками C_{ij} , являющимися членами ЛП_i – последовательности: $i = 1, N$ – число пробных точек; $j = 1, n$ – число варьируемых параметров.

Пункт Г. Поиск значений критериев F_1 или F_2 ; совокупности F_{11} и F_{22} для каждого ММО моста характеризуется следующим алгоритмом:

1) для каждой пробной точки C_{ij} численным способом решается система дифференциальных уравнений моста, выполняется анализ решений уравнений, а для пробных точек с колебательным движением колес вычисляется критерий F_1 или F_2 (если проектировщиков моста интересуют только колебательные движения), критерий F_{11} (если проектировщиков моста интересует совокупность колебательных и аperiodических движений);

2) выполняется ранжирование значений критерия F_1 или F_2 , F_{11} в порядке их возрастания. Верхние строчки ранжированных значений критерия F_1 или F_2 , F_{11} соответствуют их минимальным значениям, т. е. колебательной устойчивости, а нижние – наоборот соответствуют их максимальным значениям – колебательной неустойчивости;

3) определяется значение времени $t_2(F_{11min})$ для пробной точки с минимальным значением критерия F_{11} . Для нее и пробных точек с аperiodическим движением с учетом времени $t_2(F_{11min})$ вычисляется критерий F_{22} ;

4) выполняется ранжирование значений критерия F_{22} . Верхние строчки ранжированных значений критерия F_{22} соответствуют их минимальным значениям, т. е. аperiodической устойчивости; а нижние – наоборот

соответствуют их максимальным значениям – аperiodической неустойчивости.

Пункт Д. Показатель интенсивности износа шин или пропорциональную ему меру близости в k -х точках между зависимостями углов поворота внешнего колеса, полученными из уравнения котангенсов $\beta_{ok}(\alpha_{ok}, L, M)$ и из ММО, например, задней четырехзвенной рулевой трапеции $\beta_{Tk}(\alpha_{ok}, L, \alpha, R)$, предлагается определять с помощью одной или двух наиболее употребительных на практике норм Чебышева и Гильберта.

$$F_3 = \min_{1 < k \leq v} \max \left| \beta_{ok}(\alpha_{ok}, L, M) - \beta_{Tk}(\alpha_{ok}, L, \alpha, R) \right|, \quad (64)$$

$$F_4 = \min \sum_{k=1}^v \left[\beta_{ok}(\alpha_{ok}, L, M) - \beta_{Tk}(\alpha_{ok}, L, \alpha, R) \right]^2, \quad (65)$$

где $k = \overline{1, v}$ число точек в рассматриваемом диапазоне углов поворота внутреннего управляемого колеса α_{ok} ; M – база машины.

Минимальным значением критерия F_3 или F_4 соответствуют такие геометрические параметры задней четырехзвенной рулевой трапеции α и R , при которых колеса машины при повороте будут двигаться по траекториям, минимально отличающихся от траекторий, найденных из уравнения котангенсов. Критерии (64) или (65) можно применять для любых конструкций рулевых трапеций.

Рассмотрим примеры выбора совокупности значений параметров мостов самоходных машин различных конструкций (для диапазона возможных скоростей движения машины) с помощью ММО мостов.

Для каждого ММО моста выбираются управляемые параметры λ , на которые с учетом требований соответствующих ГОСТов; технических, конструктивных, агротехнических условий; особенностей прототипа накладываются ограничения в виде неравенств $\lambda_{jmin} \leq \lambda_j \leq \lambda_{jmax}$, $j = 1, n$, где j – число управляемых (варьируемых) параметров λ_{jmin} и λ_{jmax} задаются проектировщиком.

1. Оптимизация параметров неразрезных мостов колесных самоходных машин и прицепов, применяемых в военной и в гражданской технике (например, для различных модификаций комбайна КСК-100) с помощью простейшего ММО(1), учитывающего две степени свободы – поворот и вращение управляемых колес относительно шкворней и вокруг осей цапф и дополнительного ММО, например, четырехзвенной (передней или задней) рулевой трапеции. ММО(1) представляет собой систему одного дифференциального уравнения движения второго порядка и двух уравнений неголомомных связей первого порядка. Управляемыми параметрами ММО(1) являются t_1, l_1, m_1, n_2, C_2 , где t_1 – вынос колеса.

Выбор совокупности значений управляемых параметров, приемлемой для всего диапазона скоростей движения машины осуществляется специальным алгоритмом и программой. Сначала в предполагаемом скоростном диапазоне движения проектируемой машины выбирается несколько скоростей (обычно десять). Затем последовательно выполняются пять расчетных процедур:

1) определение значений критериев F_{11} и F_{22} для каждой величины скорости с учетом пункта 3 в Г);

2) ранжирование значений критерия F_{22} ;

3) формирование таблицы с числом столбцов по количеству скоростей и с числом строк в каждом столбце, находящихся в соответствии с количеством пробных точек, занятых при ранжировании значений критерия F_{22} ;

4) исключение из дальнейшего рассмотрения пробной точки i_1 , если она отсутствует в каком-то одном из десяти столбцов;

5) реализация минимаксного критерия, обеспечивающего приемлемое решение для всего диапазона скоростей движения машины:

$$\Phi_1 = \min_{i=1, N-N_1} \max_{j_1=1, 10} \{F_{22i, j_1}^*\}, \quad (66)$$

где $j_1 = \overline{1, 10}$ – число выбранных скоростей движения машины; i_1 – номер пробной точки; N_1 – число пробных точек, необходимых для реализации критерия F_{11} ; $F_{22i, j_1}^* = F_{22i, j_1} - F_{221(j_1)}$; F_{22i, j_1} – значение критерия F_{22} соответствующего пробной точке i_1 и расположенного в j_1 столбце; $F_{221(j_1)}$ – минимальное значение критерия F_{22} в j_1 столбце.

Оптимизация параметров четырехзвенной рулевой трапеции C_2, n_2, α, R выполнялась в два этапа. На первом этапе использовались критерии F_{11}, F_{22} и решался вопрос о назначении величин коэффициентов жесткости и демпфирования рулевой трапеции – C_2, n_2 с помощью ММО(1), инвариантного к геометрическим параметрам α и R трапеции.

На втором этапе с помощью критериев износа шин (64) и (65), ММО четырехзвенной рулевой трапеции, инвариантного к параметрам C_2, n_2 , учитываемым на первом этапе, и уравнения котангенсов осуществлялся выбор значений параметров трапеции α и R .

В зависимости от найденной ранее величины l и шага варьирования, задаваемого проектировщиком, определялись величины α_k и $k = \overline{1, v}$.

Поиск оптимальных геометрических параметров рулевых трапеций при заданном отношении L/M осуществлялся по критериям (64) и (64) с помощью двух алгоритмов: сканирование по двумерной сетке и поиск глобального экстремума с помощью ЛП_т-последовательности. Разница в значениях оптимальных геометрических параметров трапеции, вычисленных по одному из алгоритмов по целевым функциям (64) и (65), не превышала 3%; по одной целевой функции, но по разным алгоритмам – 2%. С учетом оптимальных параметров α и R построены графические зависимости $\beta_{ок}$ и $\beta_{тк}$, которые в диапазоне углов от 0° до 20° практически совпали. Расхождение кривых наблюдается в зонах малых и средних радиусов поворота машин.

II. Оптимизация параметров неразрезных мостов грузовых автомобилей, колеса которых имеют три степени свободы (поворот и вращение управляемых колес относительно шкворней и вокруг осей цапф и поворот балки моста вместе с колесами, пружинами и демпферами подвески относительно продольной оси машины, с помощью описаний ММО(2), плавности хода и четырехзвенной (передней или задней) рулевой трапеции ММО(2)) представляет собой систему двух дифференциальных уравнений движения второго порядка и четырех уравнений неголономных связей первого порядка. Управляемыми параметрами ММО(2) являются $n_1, \gamma, l_1, L, C_2, n_2, m_1, m_2, \alpha, R$.

При реализации критерия плавности хода

$$F_0 = \min_{0 \leq t \leq \tau} \max |\ddot{z}(t)|,$$

представляющего минимум наибольшего значения абсолютной величины вертикального ускорения кресла водителя в функции времени, выбирают, как правило, всего два параметра моста C_1 и n_1 по одной из моделей существующей в литературе иерархии ММО плавности

хода. Эти параметры оказывают большее влияние на критерий плавности хода, чем на критерии (60) и (61). Поэтому процедура оптимизации девяти параметров описания ММО(2) строилась так, чтобы сначала реализовать критерий F_0 , а затем – остальные критерии.

Оптимизация остальных семи управляемых параметров ММО(2) осуществлялась в два этапа. Сначала по критериям F_{11} и F_{22} при фиксированных (ранее определенных) значениях C_1, n_1 во всем диапазоне скоростей движения машины по аналогии с п. I определялись параметры $\gamma, l_1, L, C_2, n_2, m_1, m_2$. Затем, исходя из найденных величин l_1 и L с помощью критериев износа шин (64) и (65), по аналогии с п. I определялись значения геометрических параметров четырехзвенной рулевой трапеции α, R .

Наиболее эффективным приемом, используемым при одновременной реализации критериев F_0 и F_{11} , является штраф (в виде большего целого числа), накладываемый на F_{11} в случае превышения F_0 критериального ограничения, которое представляет собой санитарную норму допустимого значения абсолютной величины вертикального ускорения кресла водителя. При этом пробная точка, для которой значение абсолютной величины вертикального ускорения превысило величину критериального ограничения, исключается из дальнейшего рассмотрения. При вычислениях F_{22} процедура наложения на него штрафа аналогична.

Компромисс между критериями F_{22} и F_0 в диапазоне возможных скоростей движения машины определяется с помощью минимаксного критерия Φ_1 , который реализуется в двадцати столбцах нормированных ранжированных значений критериев \overline{F}_{22} и \overline{F}_0 (нормированный – каждое значение критерия в столбце делится на максимальную величину этого критерия в данном столбце).

Значение минимаксного критерия Φ_2 определяется аналогично Φ_1 :

$$\Phi_2 = \min_{i=1, N-N_1} \max_{j_1=1, 10} \{\overline{F}_{22i, j_1}^*, \overline{F}_{0i, j_1}^*\}.$$

Далее рассматриваются примеры выбора совокупности значений параметров различных по сложности (по числу учитываемых выходных характеристик) ММО, которым соответствуют разные конструкции моста (балка моста постоянной или переменной длины).

III. Оптимизация параметров управляемых мостов грузовых автомобилей и тракторов семейства «Беларусь» с помощью описания ММО(3), содержащего геометрические параметры рулевой трапеции (длина балки моста – постоянная). Управляемыми параметрами ММО(3) являются $C_{11}, C_{12}, n_{11}, n_{12}, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, l_1, l_2, L, C_2, n_2, t_{11}, t_{12}, m_{11}, m_{12}, m_2$. Индексы 1 и 2 соответствуют левому и правому колесу.

Для каждой пробной точки при одном значении скорости движения машины вычисляются $\beta_{ок}$ и $\beta_{тк}$, а также величина, например F_4 . Решается система дифференциальных уравнений движения [8] и вычисляются критерии F_0 и F_{11} . При превышении санитарных норм на критерии F_{11} и F_0 накладывается штраф. При вычислении критериев F_{22} и F_0 штрафы из-за F_0 повторяются. Выполняется процедура ранжирования критериев $\overline{F}_{22}, \overline{F}_4, \overline{F}_0$.

Компромисс между критериями F_{22}, F_4 и F_0 в диапазоне возможных скоростей движения машины определяется также с помощью минимаксного критерия (аналогично п. II), только реализуется он в тридцати столбцах, приведенных к безразмерному виду ранжированных значений критериев $\overline{F}_{22}, \overline{F}_4, \overline{F}_0$:

$$\Phi_3 = \min_{i=1, N-N_1} \max_{j_1=1, 10} \{\overline{F}_{22i, j_1}^*, \overline{F}_{4i, j_1}^*, \overline{F}_{0i, j_1}^*\}.$$

IV. Оптимизация параметров управляемых мостов тракторов семейства «Беларусь» с помощью описания ММО(3) (длина балки моста – переменная величина).

Компромисс между критериями F_{22}, F_{11}, F_0 в диапазоне возможных скоростей движения машины для значений длины балки управляемого моста, взятых из ряда L_1, \dots, L_5 , формируется таблица, содержащая по тридцать столбцов, приведенных к безразмерному виду ранжированных значений критериев F_{22}, F_4, F_0 . Минимаксный критерий Φ_4 в этом случае реализуется в 150 столбцах:

$$\Phi_4 = \min_{i=1, N-N_1} \max_{\substack{j_i=1, 10 \\ k_i=1, 5}} \left\{ \bar{F}_{22k_i, i_1, j_1}^*, \bar{F}_{4k_i, i_1, j_1}^*, \bar{F}_{0k_i, i_1, j_1}^* \right\},$$

где k_1 – число выбранных значений балки управляемого моста, взятых из L_1, L_5 ряда

Заключение

В данной работе описана часть новых прогрессивных технологий в виде научных, научно-методических разработок и компьютерных программ для повышения

эффективности преподавания студентам, магистрантам и аспирантам теоретической и прикладной механики.

За последние два десятилетия в литературе появились описания методик, методов и компьютерных программ, способствующих сокращению разрыва между методами проектирования машин в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов и знаниями обучающихся по теоретической и прикладной механике. К настоящему моменту было предложено еще несколько новых методов – рациональное решение, идентификация, выбор и многокритериальный синтез. Реализация этих методов уже частично осуществляется в различных по сложности статических составных конструкциях и в решениях задач кинематики сложного движения точки.

Применение в учебном процессе данных новых методик, методов и компьютерных программ по статике, кинематике, теоретической и прикладной механике будет способствовать формированию у обучающихся навыков многокритериального подхода; повышению уровня их квалификации и сокращению разрыва между современными методами проектирования машин и знаниями по теоретической и прикладной механике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гурвич, Ю.А. Многокритериальная идентификация и выбор в теоретической механике / Ю.А. Гурвич, А.Ю.Демко, О.С. Порожнюк // *Авиационный вестник*. – 2022. – № 6. – С. 26–42.
2. Гурвич, Ю.А. Формирование статических и кинематических конструкций методами синтеза / Ю.А. Гурвич, А.Ю.Демко // *Авиационный вестник*. – 2023. – № 8. – С. 20–29.
3. Гурвич, Ю.А. Расчет величины зоны и запаса устойчивого скольжения ползуна прессы в направляющих / Ю.А. Гурвич, Б.С. Бойко, А.П. Макаревич // *Теоретическая и прикладная механика* № 25. – Минск : БНТУ. – 2010. – С. 287–294.
4. Гурвич, Ю.А. Выбор значений конструктивных параметров ползуна кузнечнопрессового оборудования / Ю.А. Гурвич, Б.С. Бойко, А.П. Макаревич. *Теоретическая и прикладная механика* № 26. – Минск, 2011. – с. 208–217.
5. Друкто, К.И. Многокритериальный выбор параметров ползуна на стадии проектирования кузнечнопрессового оборудования с помощью технологии оптимизации IOSO / К.И. Друкто, Ю.А. Гурвич // *«Теоретическая и прикладная механика»*. Вып. 27. – Минск : БНТУ. 2012. – с. 326–330.
6. Гурвич, Ю.А. Синтез кинематики сложного движения точки / Ю.А. Гурвич, В.А. Макаревич, Е.В. Тимошенко // *Научные труды международной научно-практической конференции ученых МАДИ (ГТУ), РГАУ-МСХА, ЛНАУ. Москва-Луганск* : 2010. – С. 30–35.
7. Гурвич, Ю.А. Биомеханика вращения фигуриста относительно вертикальной оси / Ю.А. Гурвич и др. // *Научные труды Международной научно-практической конференции ученых МАДИ (ГТУ), РГАУ-МСХА, ЛНАУ. Москва-Луганск* : 2010. – С. 122–126.
8. Гурвич, Ю.А. Принятие решений в задачах многокритериальной оптимизации охраны государственной границы / Ю.А. Гурвич // *Актуальные проблемы обеспечения пограничной безопасности : материалы II Междунар. Заоч. науч.-практ. конф., Минск, 21 февраля 2018 г. В 2 ч. / ГИО «Институт пограничной службы Республики Беларусь»*. – Минск : ГИО «ИПС РБ», 2018. – Ч. 1. – С. 156–161.
9. Развитие теории и разработка механико-математического описания динамики многоосных и шарнирно-сочлененных автотранспортных средств в эксплуатационных режимах на основе критериев управляемости, устойчивости, безопасности движения, плавности хода и износа шин: отчет о НИР за 2011–2015 годы по ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия», «Шифр: Механика, техническая диагностика, металлургия 1.06» (заключ.) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю.А. Гурвич. – Минск, 2015. – 140 с. – № ГР 20122239.
10. Гурвич, Ю.А. Выбор критерия оптимизации параметров транспортных средств с помощью метода сеток / Ю.А. Гурвич // *«Машиностроение»*. Республиканский межведомственный сборник научных трудов, выпуск № 31. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 137–147.
11. Гурвич, Ю.А. Семейство новых прикладных критериев колебательной устойчивости-неустойчивости движения / Ю.А. Гурвич // *Теоретическая и прикладная механика*. – 2010. – № 25. – С. 306–308.
12. Гурвич, Ю.А. Многокритериальное проектирование управляемых неразрезных осей грузовых автомобилей / Ю.А. Гурвич // *Сборник научных статей военной академии Республики Беларусь*. – 2018. – № 35. – С. 72–80.

REFERENCES

1. Gurvich Ju.A., Demko A.Ju., Porozhnyuk O.S. *Mnogokriterial'naja identifikacija i izbor v teoreticheskoj mehanike* [Multicriteria identification and choice in theoretical mechanics]. *The Aviation Herald*, 2022, no 6, pp. 26-42.
2. Gurvich Ju.A., Demko A.Ju. *Formirovanie staticheskikh i kinematicheskikh konstrukcij metodami sinteza* [Formation of static and kinematic structures by synthesis methods]. *The Aviation Herald*, 2023, no 8, pp. 20-29.
3. Gurvich Ju.A., *Raschet velichiny zony i zapasa ustojchivogo skol'zhenija polzuna pressa v napravljajushihh* / Ju.A. Gurvich, B.S. Bojko, A.P. Makarevich // *Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika*, 2010, № 25, pp. 287-294.
4. Gurvich Ju.A., Bojko B.S., Makarevich A.P. *Vybor znachenij konstruktivnyh parametrov polzuna kuznechnopressovogo oborudovanija* [The choice of values of the design parameters of the slider of forging equipment]. *Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika*, 2011, no. 26, pp. 208-217.
5. Druk'to K.I., Gurvich Ju.A. *Mnogokriterial'noj vybor parametrov polzuna na stadii proektirovanija kuznechnopressovogo oborudovanija s pomoshh'ju tehnologii optimizacii IOSO* [Multicriteria selection of slider parameters at the design stage of forging and pressing equipment using IOSO optimization technology]. *Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika*, 2012, no. 27, pp. 326-330.
6. Gurvich Ju.A., Makarevich A.P., Timoshenko E.V. *Sintez kinematiki slozhnogo dvizhenija točki* [Synthesis of kinematics of complex point motion]. *Nauchnye trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii uchenyh Moskovskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta, Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Luganskogo nacional'nogo agrarnogo universiteta Estestvennyh i tehniceskikh nauk. Moskva-Lugansk*, 2010, pp. 30-35.
7. Gurvich Ju.A., Korytko L.S., Shumilov A.A., Kislova T.E. *Biomehanika vrashhenija figurista otositel'no vertikal'noj osi* [Biomechanics of figure skater rotation relative to the vertical axis]. *Nauchnye trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii uchenyh Moskovskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta, Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Luganskogo nacional'nogo agrarnogo universiteta Estestvennyh i tehniceskikh nauk. Moskva-Lugansk*, 2010, pp. 122-126.
8. Gurvich Ju.A. *Prinjatije reshenij v zadachah mnogokriterial'noj optimizacii ohrany gosudarstvennoj granicy* [Decision-making in the tasks of multicriteria optimization of state border protection]. *Aktual'nye problemy obespechenija pogranichnoj bezopasnosti : materijaly II Mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf., Minsk, 21 fevralja 2018 g.: v 2-h ch. / Institut pogranichnoj sluzhby Respubliki Belarus*. Minsk, 2018. P. 1, pp. 156-161.
9. *Razvitie teorii i razrabotka mehaniko-matematicheskogo opisaniya dinamiki mnogoosnyh i sharnirno-sochlenennyh avtotransportnyh sredstv v jekspluatacionnyh rezhimah na osnove kriteriev upravljajemosti, ustojchivosti, bezopasnosti dvizhenija, pлавности хода i iznosa shin: otchet o NIR, no. 20122239* [Development of the theory and development of a mechanical and mathematical description of the dynamics of multiaxial and articulated vehicles in operational modes based on the criteria of controllability, stability, traffic safety, smoothness and tire wear: research report, no. 20122239]. *Belorusskij nacional'nyj tehniceskij universitet, Minsk*, 2015, 140 p.
10. Gurvich Ju. A. *Vybor kriterija optimizacii parametrov transportnyh sredstv s pomoshh'ju metoda setok* [The choice of criteria for optimizing vehicle parameters using the grid method]. *Машиностроение. The Republican Interdepartmental Collection of the scientific works proceedings*, iss. 31. Minsk, Belorusskij Nacional'nyj Tehniceskij universitet, 2018. – pp. 137-147.
11. Gurvich Ju. A. *Semejstvo novyh prikladnyh kriteriev kolebatel'noj ustojchivosti-neustojchivosti dvizhenija* [A family of new applied criteria for vibrational stability-instability of motion]. *Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika*, 2010, no. 25, pp. 306-308.
12. Gurvich Ju. A. *Mnogokriterial'noe proektirovanie upravljajemyh nerazreznyh osей грузовых автомобилей* [Multicriteria design of controlled continuous axles of trucks] *Sbornik nauchnyh statej voennoj akademii Respubliki Belarus*, 2018, no. 35, pp. 72-80.

Статья поступила в редакцию
22.04.2024

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТАТЬЯМ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ

К публикации в журнале принимаются оригинальные, достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной.

Объем текста статьи должен составлять не менее 14 000 печатных знаков, но не превышать 40 000 печатных знаков (8–16 стр.). Рукописи большего объема принимаются только по специальному решению редакционной коллегии.

Статья должна быть выполнена в текстовом редакторе MS Word и отредактирована строго по следующим параметрам: ориентация листа — книжная, формат А4, поля по 2 см с каждой стороны, шрифт Times New Roman, кегль (для всей статьи кроме аннотации, ключевых слов и таблиц) — 14 пт, для таблиц — 12 пт, для аннотации и ключевых слов — 10 пт, междустрочный интервал — 1,5, выравнивание по ширине страницы, абзацный отступ — 1,25 см (без использования клавиш «Tab» или «Пробел»). Выделения в тексте возможны только полужирным шрифтом и (или) курсивом. Внутренние подзаголовки необходимо центрировать.

Статья должна иметь следующую структуру:

1. УДК (номер тематической рубрики). Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации набирается обычным шрифтом, с выравниванием по левому краю.

2. Название статьи. Должно содержать до 12 слов. Не допускается использовать в названии аббревиатуры и формулы. Набирается прописными буквами, начертание — полужирное, прямое без разбиения слов переносами, с выравниванием по центру строки, без абзацного отступа, без точки в конце. Рекомендуется, чтобы в названии статьи использовались ключевые слова.

3. Инициалы и фамилия автора (авторов) с обязательным указа-

нием организации аффилирования (места работы). Инициалы и фамилия автора набираются прописными буквами, с выравниванием по правому краю строки, без абзацного отступа, без точки в конце. Через запятую перечисляются все соавторы. После названия статьи указывается фамилия, имя и отчество (полностью) автора, ученая степень, ученое звание, должность и организация аффилирования (место работы) автора, страна, адрес электронной почты. Аналогичные данные всех соавторов указываются с новой строки.

4. Аннотация (авторское резюме) объемом 150–250 слов должна кратко представлять результаты работы и быть понятной, в том числе и в отрыве от основного текста статьи; должна быть информативной (не содержать общих фраз, общеизвестных положений), хорошо структурированной (один из вариантов написания аннотации — краткое повторение структуры статьи, включающее введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение или выводы). Текст должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, исторических справок, если они не составляют основное содержание рукописи. Следует избегать сокращений и условных обозначений, кроме общеупотребительных, ссылки на литературные источники не приводятся.

5. Ключевые слова должны содержать 5–10 слов или 3–5 словосочетаний, которые отделяются друг от друга запятой. Ключевые слова должны отражать содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования.

6. Метатекстовые данные (информация, указанная в пунктах 2–5) в той же последовательности приводится на английском языке.

Если статья англоязычная — вышеуказанные данные приводятся на русском языке.

7. Основной текст статьи может включать рисунки и таблицы (до 7–8).

Таблицы набираются в редакторе MS Word. Таблицы должны иметь номера и названия, которые должны быть указаны над таблицами. Единственная таблица в публикации не нумеруется. Используемые в таблице сокращения подлежат расшифровке в конце таблицы.

Графический материал (рисунки, чертежи, схемы, диаграммы, фотографии) должны представлять собой обобщенные материалы исследований. Не допускается составление рисунка из разрозненных элементов. Графический материал должен размещаться сразу после его первого упоминания в тексте, а также должен быть предоставлен в виде отдельных файлов в формате .jpg/ .png/ .cdr/ или .psd (Adobe Photoshop, без склеивания слоев) с разрешением не ниже 300 dpi). Желательно также предоставлять графические материалы в формате оригинала (Corel, диаграммы в Excel, Origin Pro и т. д.), т. е. в той программе, в которой они выполнены. Текст на рисунках набирается основной гарнитурой, причем начертание символов (греческое, латинское) должно соответствовать их начертанию в тексте. Все надписи, обозначения на всех графиках, рисунках, схемах должны быть достаточно крупными, легко читаемыми, выполненными одинаковым шрифтом. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (кегель — не менее 8 пт). Названия и номера графического материала должны быть указаны под изображением. Элементы рисунков и кривые нумеруются курсивными арабскими цифрами, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. Единственный рисунок в статье не

нумеруется. График должен быть наглядным, иметь аккуратное и четкое исполнение, должен легко читаться, для чего необходимо соблюдать следующие правила: координатные оси должны заканчиваться стрелками или штрихами; оси должны быть подписаны с указанием единиц измерения. Не допускается выход рисунков за границы текста на поля. Все рисунки должны обеспечивать простое масштабирование с сохранением взаимного расположения всех элементов и внутренних надписей.

Формулы и математические символы. Простые формулы и буквенные обозначения величин нужно вставлять, используя меню «Вставка. Символ». Формулы набираются с помощью встроенного в MS Word редактора формул MathType. Шрифт Times New Roman, кегль: основной текст – 14 пт, индекс – 10 пт. Буквы (прописные и строчные) латинского алфавита, обозначающие физико-математические величины, набирают курсивом. Русские, греческие буквы, сокращенные тригонометрические и математические термины (sin, cos, tg, arcsin, ln, lg, lim, const, min, max и т. д.) набирают прямым шрифтом. Нумеруются только те формулы, на которые автор ссылается по тексту.

Иллюстрации, формулы и сноски следует нумеровать в соответ-

ствии с порядком цитирования в тексте.

Аббревиатуры. В тексте следует использовать только общепринятые сокращения (аббревиатуры). Полный термин, вместо которого вводится сокращение, следует расшифровывать при первом упоминании его в тексте. Приводимые статистические данные, факты, цитаты, имена собственные и другие сведения должны быть обеспечены ссылками на источники. В тексте пишутся в квадратных скобках.

8. Список использованных источников должен включать в себя все работы, использованные автором в тексте, и оформлен на русском (белорусском) языке в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003). Цитируемая литература приводится общим списком по мере упоминания. Каждый источник должен иметь свой порядковый номер в списке.

Затем приводится список цитированных источников в романском алфавите (латиница) (References) со следующей структурой: авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного

источника (транслитерация) [перевод названия источника на английский язык], выходные данные с обозначениями на английском языке. Транслитерация русскоязычных названий выполняется согласно стандарту BSI.

Структура списка литературы на английском языке отличается от предписанной ГОСТом (ГОСТ 7.1-2003). При оформлении списка литературы на английском языке (References) для транслитерации кириллицы используйте систему Board of Geographic Names (BGN).

Тире, а также символ // в описании на английском не используются.

Перечисляются все авторы материала через запятую. Фамилия и инициалы транслитерируются. Инициалы от фамилии запятой не отделяются.

Названия книг, журналов, материалов конференций, сборников, авторефератов и диссертаций транслитерируются и переводятся.

Транслитерация набирается курсивом, перевод – в квадратных скобках [].

Названия статей (составных частей) из журналов, сборников и т. д., а также патентов, законов, ГОСТ, СНБ, ТКП, СНиП, СанПиН и т. д. только переводятся.

К печати принимаются статьи, отвечающие профилю журнала, не публиковавшиеся ранее в других изданиях.

Материал должен быть подписан всеми авторами.

Материалы, оформленные с нарушением требований или не прошедшие рецензирование (отклонены рецензентами) не публикуются.

Примеры оформления материалов статьи и транслитерации приведены на сайте bga.by.



РУБРИКИ ЖУРНАЛА

Технические науки

(проектирование и эксплуатация авиационной техники, навигация и управление воздушным транспортом, авиационная безопасность и безопасность полетов)

Педагогические науки

(профессиональная подготовка авиационных специалистов, развитие профессионального образования)

Юридические науки

(правовое регулирование в области гражданской авиации)

Психологические науки

(инженерная психология, эргономика, авиационная психология, человеческий фактор)

УСЛОВИЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ

Для опубликования статьи в журнале необходимо представить:

1. Экспертное заключение о возможности опубликования в открытых источниках печати в электронном виде в формате pdf (оригинальные экспертные заключения необходимо обязательно предоставить в оргкомитет).
2. Выписка из протокола заседания кафедры или иной научной структуры с рекомендацией к опубликованию материалов статьи в научно-практическом журнале «Авиационный вестник».
3. Статьи о результатах работ, проведенных в научных учреждениях, должны иметь разрешение на опубликование (сопроводительное письмо ректората или дирекции либо выписку из протокола заседания ученого совета, отдела или кафедры).
4. Анкету автора (форму можно посмотреть на сайте Академии/Наука и инновации/Журнал «Авиационный вестник».
5. Материалы статьи и сопроводительные документы представляются в электронном и письменном виде согласно установленным требованиям.
 - Электронную версию материалов присылать по адресу: avia.vestnik@bgaa.by. В названии файла указывать фамилию автора (либо соавторов через запятую) в именительном падеже, а также первые два-три слова из названия статьи.
 - Бумажный вариант статьи, подписанный всеми авторами (подписи должны быть заверены) направлять по адресу редакционной коллегии с пометкой «Научно-практический журнал «Авиационный вестник».

Языки материала статьи: белорусский, русский, английский.

Плата за публикацию не взимается.

Электронная версия журнала будет опубликована на сайте учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации».

bgaa.by

Журнал включен в перечень Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам (эксплуатация воздушного транспорта, навигация и управление воздушным транспортом) согласно приказу Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь № 94 от 01.04.2014 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 16.02.2021 № 36).

Журнал включен в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

220096, г. Минск, ул. Уборевича, 77

Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»

Телефон: +375 (17) 354-32-34

e-mail: avia.vestnik@bgaa.by

Подписано в печать 08.08.2024. Формат 60x90/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 4,65. Тираж 200 экз. Заказ №3269

Отпечатано: ООО «НАВИТЕХ».

ЛП №3820000018525 от 21.02.2017

220024, Республика Беларусь, г. Минск, Асаналиева, д. 84/2, каб. 5.