

Том 24, № 02, 2021

ISSN 2079-0619

e-ISSN 2542-0119

Научный Вестник МГТУ ГА

Civil Aviation High TECHNOLOGIES

Vol. 24, No. 02, 2021

Издается с 1998 г.

Москва
2021

Научный Вестник МГТУ ГА решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Главная редакция

Главный редактор: *Елисеев Б.П.*, заслуженный юрист РФ, проф., д. ю. н., ректор МГТУ ГА, Москва, Россия.

Зам. главного редактора: *Воробьев В.В.*, проф., д. т. н., зав. каф. МГТУ ГА, Москва, Россия.

Ответственные секретари главной редакции: *Наумова Т.В.*, доцент, д. филос. н., профессор кафедры МГТУ ГА, Москва, Россия;
Полешкина И.О., доцент, к. э. н., доцент кафедры МГТУ ГА, Москва, Россия.

Члены главной редакции:

Козлов А.И., заслуженный деятель науки и техники РФ, проф., д. ф.-м. н., советник ректората МГТУ ГА, Москва, Россия;

Гаранина О.Д., почетный работник науки и техники РФ, проф., д. филос. н., профессор МГТУ ГА, Москва, Россия;

Туркин И.К., проф., д. т. н., зав. каф. МАИ (национального исследовательского университета), Москва, Россия;

Калугин В.Т., проф., д. т. н., декан МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия;

Лукин Д.С., заслуженный деятель науки РФ, проф., д. ф.-м. н., проф. МФТИ, Москва, Россия;

Шапкин В.С., заслуженный работник транспорта РФ, проф., д. т. н., первый заместитель генерального директора Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского», Москва, Россия;

Боев С.Ф., проф., д. т. н., д. э. н., генеральный директор Межгосударственной акционерной корпорации «Вымпел», Москва, Россия;

Дамиан Ривас Ривас, проф., PhD, проф. Университета Севильи, Севилья, Испания;

Сюй Хаудзюнь, PhD, Университет военно-воздушных сил, Хиан, Китай;

Франческа де Кресченцио, профессор, кафедра промышленной инженерии, Болонский университет, Болонья, Италия;

Владимир Немец, PhD, Транспортный факультет Яна Пернера, кафедра воздушного транспорта, Университет Пардубице, Пардубице, Чешская Республика;

Станислав Сзабо, PhD, Факультет авиационной техники, Технический университет в Кошице, Кошице, Словацкая Республика.

Сайт: <http://avia.mstuca.ru>

E-mail: vestnik@mstuca.aero

Тел.: +7 (499) 459-07-16

Плата за публикацию в Научном Вестнике МГТУ ГА с аспирантов не взимается

Chief Editorial Board

- Editor-in-chief:** *Boris Eliseev*, Professor, Doctor of Sciences, Rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;
- Deputy Editor-in-chief:** *Vadim Vorobyev*, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;
- Executive Secretaries:** *Tatiana Naumova*, Associate Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;
Irina Poleshkina, Associate Professor, Candidate of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia.

Members of the Chief Editorial Board:

Anatoly I. Kozlov, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Olga D. Garanina, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Igor K. Turkin, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia;

Vladimir T. Kalugin, Professor, Doctor of Sciences, Dean, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

Dmitry S. Lukin, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia;

Vacily S. Shapkin, Honored Worker of Transport of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, First Deputy General Director, The National Research Center "Zhukovsky Institute" Moscow, Russia;

Sergey F. Boev, Professor, Doctor of Sciences, General Director, Interstate Joint Stock Corporation "Vimpel", Moscow, Russia;

Damian Rivas Rivas, Professor, PhD, University of Seville, Seville, Spain;

Xu Haojun, PhD, Air Force Engineering University, Xi'an, China;

Francesca De Crescenzo, Professor, Department of Industrial Engineering DIN, University of Bologna, Bologna, Italy;

Vladimir Němec, PhD, Faculty of Transportation Sciences, Jan Perner Transport Faculty, University of Pardubice, Pardubice, Czech Republic;

Stanislav Szabo, Associate Professor, PhD, Dean, Faculty of Aeronautics, Technical University of Košice, Košice, Slovak Republic.

Редакционный совет

Абрамов О.В., заслуженный деятель науки РФ, проф., д. т. н., Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия;

Акиншин Р.Н., проф., д. т. н., в. н. с., секция оборонных проблем МО РФ при президенте РАН, Москва, Россия;

Бачкало Б.И., проф., д. т. н., в. н. с. ЦНИИ ВВС МО РФ, Щелково, Россия;

Брусов В.С., проф., д. т. н., проф. МАИ (национального исследовательского университета), Москва, Россия;

Бышинский В.В., проф., д. т. н., проф. МФТИ, г. н. с. ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, Жуковский, Россия;

Горелик А.Г., проф., д. ф-м. н., проф. МИФИ, Москва, Россия;

Гузий А.Г., д. т. н., зам. директора ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр», Москва, Россия;

Давидов А.О., доцент, д. т. н., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина;

Красильщик И.С., проф., д. ф-м. н., проф. МНУ, Москва, Россия;

Кубланов М.С., проф., д. т. н., профессор МГТУ ГА, Москва, Россия;

Кузнецов В.Л., проф., д. т. н., зав. каф. МГТУ ГА, Москва, Россия;

Кузнецов С.В., проф., д. т. н., зав. каф. МГТУ ГА, Москва, Россия;

Логвин А.И., заслуженный деятель науки РФ, проф., д. т. н., профессор МГТУ ГА, Москва, Россия;

Нечаев Е.Е., проф., д. т. н., зав. каф. МГТУ ГА, Москва, Россия;

Пантелеев А.В., проф., д. ф-м. н., зав. каф. МАИ (национального исследовательского университета), Москва, Россия;

Рухлинский В.М., д. т. н., председатель комиссии МАК по связям с Международной организацией гражданской авиации, Москва, Россия;

Самохин А.В., д. т. н., проф. МГТУ ГА, Москва, Россия;

Сарычев В.А., проф., д. т. н., г. н. с. АО «Радар-ММС», Санкт-Петербург, Россия;

Татаринов В.Н., действительный член Академии электромагнетизма США, проф., д. т. н., проф. ТУСУР, Томск, Россия;

Увайсов С.У., проф., д. т. н., зав. каф. МТУ, Москва, Россия;

Халютин С.П., проф., д. т. н., ген. директор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», Москва, Россия;

Харитонов С.А., проф., д. т. н., зав. каф. НГТУ, Новосибирск, Россия;

Ходаковский В.А., заслуженный деятель науки ЛССР, проф., д. т. н., Рига, Латвия;

Чинючин Ю.М., проф., д. т. н., профессор МГТУ ГА, Москва, Россия;

Шахтарин Б.И., академик РАЕН, заслуженный деятель науки и техники РФ, проф., д. т. н., проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), Москва, Россия;

Юрков Н.К., заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, проф., д. т. н., проф. ПГУ, Пенза, Россия.

Editorial Council

Oleg V. Abramov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;

Ruslan N. Akinshin, Professor, Doctor of Sciences, Section of Applied Problems under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

Boris I. Bachkalo, Professor, Doctor of Sciences, Leading Research Fellow, Russian Air Force Central Scientific Research Institute of Ministry of Defence, Shchelkovo, Russia;

Vladimir S. Brusov, Professor, Doctor of Sciences, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;

Viktor V. Vyshinsky, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow Institute of Physics and Technology, Chief Research Fellow, Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovskiy, Russia;

Andrey G. Gorelik, Professor, Doctor of Sciences, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia;

Anatoliy G. Guziy, Doctor of Sciences, UTair Airlines, Moscow, Russia;

Albert O. Davidov, Assistant Professor, Doctor of Sciences, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine;

Iosif S. Krasilschik, Professor, Doctor of Sciences, Moscow Independent University, Moscow, Russia;

Michael S. Kublanov, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Valeriy L. Kuznetsov, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Sergey V. Kuznetsov, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Aleksandr I. Logvin, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation Moscow, Russia;

Evgeniy E. Nechaev, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Andrey V. Panteleev, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;

Victor M. Rukhlinskiy, Doctor of Sciences, Chairman of the Commission for Relations with ICAO Board, International and Interstate Organizations of the Interstate Aviation Committee, Moscow, Russia;

Aleksey V. Samokhin, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia.

Valentin A. Sarychev, Professor, Doctor of Sciences, "Radar-MMS" Joint-Stock Company, St.Petersburg, Russia;

Viktor N. Tatarinov, Actual Member of the US Electrical Magnetism Academy, Professor, Doctor of Sciences, Tomsk State Radio Electronic and Control Systems University, Tomsk, Russia;

Saygid U. Uvaysov, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Moscow Technological University, Moscow, Russia;

Sergey P. Khalyutin, Professor, Doctor of Sciences, Director General, CEO LLC "Experimental laboratory NaukaSoft", Moscow, Russia;

Sergey A. Kharitonov, Professor, Doctor of Sciences, Head of Chair, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia;

Vladimir A. Hodakovskiy, Honored Worker of Science of Latvian Soviet Socialist Republic, Professor, Doctor of Sciences, Riga, Latvia;

Yuriy M. Chinyuchin, Professor, Doctor of Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia;

Boris I. Shakhtarin, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

Nikolay K. Urkov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor, Doctor of Sciences, Penza State University, Penza, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

К 50-ЛЕТИЮ МГТУ ГА

Елисеев Б.П. Актуальные проблемы и задачи вузовской науки	8
Козлов А.И. История и современность: о науке за 50 лет	25
Полтавский А.В. Телекоммуникация систем связи и управления на платформах беспилотных воздушных судов	58

ТРАНСПОРТ

Виноградов Е.А. Ключевые технологии связи для поддержки систем управления движением гражданских беспилотных летательных аппаратов (обзор зарубежной литературы)	70
Gladkikh A.A., Volkov A.K., Ulasyuk T.G. Development of biometric systems for passenger identification based on noise-resistant coding means	93
Киселев М.А., Левицкий С.В., Морошкин Д.В., Подобедов В.А. Особенности летно-технических характеристик нового учебно-тренировочного самолета ЯК-152	105
Samoylenko V.M., Gromov O.V., Litinsky G.I., Gromov V.K. Mathematical modeling of objects functioning and technical means for airfield control ensuring process	119

CONTENTS

DEDICATED TO THE 50th ANNIVERSARY OF MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY OF CIVIL AVIATION

Eliseev B.P. Current issues and critical tasks of university science	8
Kozlov A.I. History and modernity: about science over 50 years	25
Poltavsky A.V. Telecommunication of communication and control systems on unmanned aerial vehicles platforms.	58

TRANSPORT

Vinogradov E.A. Key wireless communication technologies to support traffic management systems of unmanned aerial vehicles for civil application (review of foreign literature).....	70
Gladkikh A.A., Volkov A.K., Ulasjuk T.G. Development of biometric systems for passenger identification based on noise-resistant coding means.....	93
Kiselev M.A., Levitsky S.V., Moroshkin D.V., Podobebov V.A. Features of the new YAK-152 flight-training aircraft performance	105
Samoylenko V.M., Gromov O.V., Litinsky G.I., Gromov V.K. Mathematical modeling of objects functioning and technical means for airfield control ensuring process.....	119

К 50-ЛЕТИЮ МГТУ ГА

УДК 001.3

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-8-24

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ВУЗОВСКОЙ НАУКИ

Б.П. ЕЛИСЕЕВ¹

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия

Свой юбилей Московский государственный технический университет гражданской авиации встречает как известный в отрасли научно-образовательный центр, являющийся частью национальной научно-инновационной системы. Стратегические государственные инициативы исходят из признания научных и технологических достижений в качестве ключевых факторов перехода российской экономики на качественно новую модель развития; формирования геополитического статуса, определяющего позиции страны в глобальной экономике, возможность и условия ее интеграции в мировую экономическую систему; конкурентоспособности в соперничестве за лидерство на общемировых высокотехнологичных рынках. Анализ результатов достижения целевых показателей, отраженных в государственных актах, в том числе Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, показывает, что несмотря на предпринимаемые усилия, ощутимых позитивных сдвигов в состоянии и результативности отечественной науки в целом и вузовской в частности пока не произошло, запланированные значения отдельных индикаторов (внутренние затраты на исследования и разработки, доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования, наукометрические показатели публикаций российских авторов в международных базах Scopus и Web of Science и др.) не достигнуты. Рассмотрены причины неудовлетворительной динамики. Отмечено, что вузовская наука обладает богатейшим государственным ресурсом – интеллектуальным капиталом, научными школами, талантливой молодежью, связями с академическими исследовательскими институтами, производством и бизнесом, что при соответствующей государственной политике может сделать университеты центрами интеграции отдельных субъектов научной и инновационной деятельности, обеспечив между ними функциональную связь. Выделены специфические аспекты научной работы в отраслевых вузах. Определены приоритетные задачи модернизации научно-исследовательского процесса и инновационной деятельности в МГТУ ГА в соответствии со Стратегией развития университета до 2030 г.

Ключевые слова: университетская наука, формы научно-исследовательской работы в вузе, индикаторы науки, наукометрические показатели, результативность труда интеллектуальных работников.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА) в этом году отмечает свой полувековой юбилей. Символично, что эта дата совпала с проведением Года науки и технологий в Российской Федерации, утвержденным Указом Президента № 812 от 25 декабря 2020 г.¹ К этой дате МГТУ ГА (далее – Университет) подошел как крупный учебный и научный комплекс, оснащенный современными тренажерами типа MTD и MFTD – это тренажеры ВС Airbus A320/A330 французского производителя FAROS и тренажеры Boeing 737NG канадского производителя AEROSIM, комплексным системным авиадиспетчерским тренажером «СИНТЕЗ-ТЦ», техническим и компьютерным оборудованием, лабораториями, в том числе лабораторией беспилотных летательных аппаратов, учебным авиационно-техническим центром с действующими воздушными судами гражданской авиации и радиолокационным оборудованием. В состав университетского комплекса входят шесть филиалов высшего и среднего специального образования, расположенных в разных регионах России. В настоящее время в Университете обучается около 12 тысяч студентов и курсантов. Учебный процесс осуществляется по девятнадцати основным образовательным программам, в их числе

¹ О проведении в Российской Федерации Года науки и технологий. Указ Президента Российской Федерации от 25.12.2020. № 812.

как программы современной двухступенчатой системы высшего образования «бакалавр-магистр», так и программы специалитета. Подготовка кадров высшей квалификации происходит в аспирантуре по общеобразовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров. Выпускникам присваивается квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Наш Университет предоставляет обучающимся возможность наряду с дипломом о высшем образовании получить международные сертификаты по обслуживанию иностранных воздушных судов, отвечающие требованиям Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Для удовлетворения образовательных и профессиональных потребностей работников отрасли, их профессионального развития, обеспечения соответствия квалификации меняющимся условиям профессиональной деятельности и социальной среды² в Институте повышения квалификации и аттестации кадров МГТУ ГА ведется подготовка по дополнительным профессиональным программам – программам повышения квалификации и программам профессиональной переподготовки. Только за прошедшие пять лет дополнительные профессиональные программы повышения квалификации освоили свыше 7,5 тысяч руководителей и специалистов гражданской авиации. Аттестовано более 18 тысяч работников, ответственных за обеспечение транспортной безопасности субъектов и объектов транспортной инфраструктуры, транспортных средств.

Когда говорят о высшей школе, ее задачах, путях и перспективах развития, имеют в виду прежде всего образовательный процесс. Вместе с тем научно-исследовательская деятельность, наряду с образовательной, является обязательной и важнейшей составляющей деятельности высшего учебного заведения, входит в качестве неперемennого компонента в обучение и подготовку выпускников.

С одной стороны, чтобы проводить занятия со студентами по утвержденным учебным планам и рабочим программам дисциплин, использовать в своей преподавательской работе рекомендованные соответствующими учебно-методическими объединениями учебники, собственно, наличие ученой степени кандидата или доктора наук, а тем более ученого звания доцента или профессора, не требуется. Знание своего предмета, опыт его преподавания и определенное педагогическое мастерство позволяют преподавателю вуза успешно передавать свои знания обучающимся. А если такой преподаватель еще имеет и навыки практической работы на производстве или в отраслевых организациях, его педагогические возможности существенно расширяются. С другой стороны, обладатель ученой степени кандидата или доктора наук в преподавательской работе опирается на свою научную квалификацию, умеет анализировать актуальные тенденции в науке, находится в курсе последних научно-технических достижений, способен выявлять новые знания, видеть перспективы их дальнейшего развития, излагать эти знания в научной и учебно-методической литературе, внедрять новации в учебный процесс. Именно это позволяет обучать на перспективу, формировать у обучающихся компетенции, которые не устареют к моменту окончания учебного заведения. В этом, кстати, состоит принципиальное отличие высшей школы, где знания рождаются и передаются обучаемым, от средней, где знания только передаются учащимся. А значит, вузовская наука – не вспомогательная компонента учебной деятельности, а ее ключевой атрибут, который и делает высшую школу высшей. А кандидат либо доктор наук, доцент либо профессор – это не преподаватель, ведущий научную работу, а ученый, ведущий педагогическую деятельность [1].

Сегодня профессорско-преподавательский состав (ППС) вузов России насчитывает около 229 тысяч человек, из которых 137 тысяч имеют ученые степени доктора или кандидата наук. Иными словами, вузовская наука обладает богатейшим государственным ресурсом – работающими в ней учеными, которых государство утвердило в статусе ученых высшей квалификации.

² Об образовании в Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2012. № 273-ФЗ. Ст.76.

Несомненно, в вузах сосредоточен колоссальный научный потенциал, но возникает естественный вопрос: располагая таким уникальным богатством, как государство его использует. Вопрос тем более актуален, что по данным авторитетных национальных исследований в общей численности российских исследователей сектор высшего образования составляет менее 30 % (рис. 1). И только 19 % ППС, имеющих ученые степени, задействованы в научных исследованиях [2, с. 209; 3, с. 84].



Рис. 1. Распределение исследователей, имеющих ученые звания, по секторам науки
Fig. 1. Distribution of researchers with academic titles by the sectors of science

В сформированной и функционирующей в Российской Федерации системе стратегического управления наукой государственным органам управления, научным учреждениям, фондам поддержки научных исследований, а также инструментам финансирования и поддержки научной деятельности определены конкретные функции и задачи. Существует и своя специфика организации науки, в которой доминируют научно-исследовательские институты (НИИ), составляющие 40 % от общего числа научных организаций страны [4], тогда как образовательные организации высшего образования составляют только 23 % (рис. 2). По сути дела, действует модель, сформированная еще в советское время. В американской и европейской практике не существует деления науки на отраслевые НИИ, академические институты и вузы.

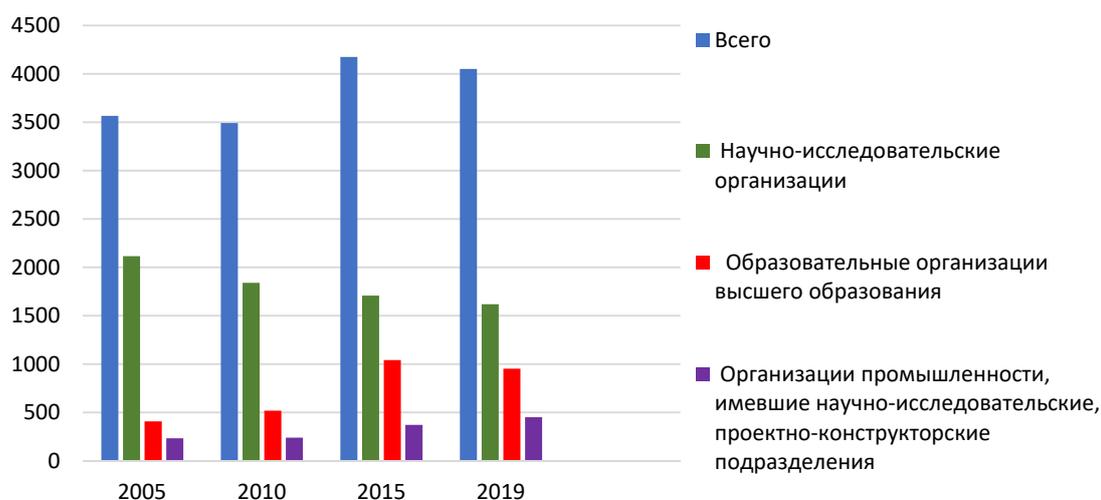


Рис. 2. Количество организаций Российской Федерации, выполнявших научные исследования и разработки, по типам организаций
Fig. 2. Number of research and development organizations in the Russian Federation by type of organizations

Преобладание в структуре научных организаций нашей страны НИИ, с одной стороны, отделенных от вузов, а с другой стороны, от бизнеса – одна из причин не отвечающих современным вызовам показателей науки, о которых речь пойдет ниже.

Основные принципы развития в нашей стране научной деятельности в целом и вузовской в частности определены в Федеральных законах «Об образовании», «О науке и государственной научно-технической политике»^{3,4}, конкретизированы в указах Президента «О доктрине развития российской науки», «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации», «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»^{5,6,7}. Применительно к транспортной отрасли – в Распоряжениях Правительства «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года», «Об утверждении Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года»^{8,9} и др.

В Стратегии национальной безопасности Российской Федерации наука, технологии и образование названы в числе стратегических приоритетов, обеспечивающих реализацию национальных интересов страны¹⁰. Это свидетельствует о том, что государство рассматривает науку и образование в качестве своих фундаментальных ресурсов. В документе провозглашается, что «стратегическими целями обеспечения национальной безопасности в области науки, технологий и образования являются: развитие системы научных, проектных и научно-технологических организаций, способной обеспечить модернизацию национальной экономики, реализацию конкурентных преимуществ Российской Федерации, оборону страны, государственную и общественную безопасность, а также формирование научно-технических заделов на перспективу; повышение социальной мобильности, качества общего, профессионального и высшего образования, его доступности для всех категорий граждан, а также развитие фундаментальных научных исследований»¹¹. А среди факторов, негативно влияющих на национальную безопасность, приведены «неэффективная система стимулирования деятельности в области науки, инноваций и промышленных технологий, снижение престижа профессий преподавателя и инженера, уровня социальной защищенности работников инженерно-технического, профессорско-преподавательского и научно-педагогического состава, качества общего, среднего профессионального и высшего образования»¹². Для решения задач национальной безопасности в области науки и образования, согласно этому документу, требуется совершенствование инновационной политики государства.

Здесь уместно напомнить об еще одном значимом государственном акте, утвержденном Распоряжением Правительства РФ в 2011 году и до недавнего времени определявшем цели, приоритеты и инструменты государственной инновационной политики, – Стратегии инно-

³ Об образовании в Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2012. № 273-ФЗ.

⁴ О науке и государственной научно-технической политике. Федеральный закон от 23.08.1996. № 127-ФЗ.

⁵ О доктрине развития российской науки. Указ Президента РФ от 13.06.1996. № 884.

⁶ Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации. Указ Президента РФ от 7.07.2011. № 899.

⁷ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента РФ от 1.12.2016. № 642.

⁸ Об утверждении Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 6.02.2021. № 255-р.

⁹ Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008. № 1734-р.

¹⁰ Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 31.12.2015. № 683.

¹¹ Там же.

¹² Там же.

вационного развития Российской Федерации на период до 2020 года¹³ (далее – Стратегия). Как известно, Стратегия декларировала амбициозную цель – к 2020 году перейти к прорывному научному, технологическому и социально-экономическому развитию страны, конкретизировала приоритеты и инструменты государственной инновационной политики, была призвана дать ответы на вызовы и угрозы инновационному развитию, задавала долгосрочные ориентиры развития инфраструктуры научно-технической деятельности, определяла источники финансирования фундаментальной и прикладной науки, содержала целевые индикаторы инновационного развития.

В контексте данной статьи интерес представляет раздел VII. «Эффективная наука», в котором значительное внимание уделено аспектам, в той или иной мере связанным с деятельностью вузов. Например, когда речь идет о структурных преобразованиях в секторе научных исследований и разработок, предполагается расширение сотрудничества между вузами и иными организациями фундаментальной и прикладной науки, предприятиями, при этом конкурентоспособные университеты будут развиваться за счет концентрации значительной части компетенций в сфере прикладных исследований и разработок, в том числе за счет максимальной интеграции науки и образования, передачи вузам части компетенций ликвидируемых отраслевых научных организаций, расширения взаимодействия с компаниями. Проблема воспроизводства кадрового потенциала отечественной науки предполагает реализацию таких мер, как поддержка существующих и новых научных школ, объединяющих исследователей разных поколений; дальнейшая интеграция академической и вузовской науки, создание в области фундаментальных и поисковых прикладных исследований единого комплекса, характеризующегося высокой внутренней мобильностью между научными образовательными организациями, а также более широкой практикой совмещения преподавательской и исследовательской деятельности; отработка и внедрение новых моделей обучения аспирантов с ориентацией на оправдавшие себя мировые практики и др.

В части, касающейся совершенствования научной и образовательной деятельности в стране, в Стратегии сформулированы целевые индикаторы. Наиболее, на наш взгляд, значимые из них следующие:

- увеличение количества российских вузов, входящих в число 200 ведущих мировых университетов согласно мировому рейтингу университетов (Quacquarelli Symonds World University Rankings);
- повышение внутренних затрат на образование;
- снижение среднего возраста исследователей;
- повышение доли исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей;
- увеличение доли публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах;
- увеличение количества цитирований в расчете на одну публикацию российских исследователей в научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science;
- увеличение доли сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки;
- увеличение доли средств, получаемых за счет выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в структуре средств, поступающих в ведущие российские университеты за счет всех источников финансирования;
- повышение внутренних затрат на исследования и разработки.

¹³ Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 8.12.2011. № 2227-р.

Что немаловажно, Стратегия устанавливала конкретные количественные значения этих индикаторов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития
Российской Федерации
Target Indicators of the Strategy of Innovative Development Implementation
of the Russian Federation

Наименование индикатора	Исходный показатель индикатора, 2010 г.	Целевой показатель индикатора, 2020 г.
Количество российских вузов, входящих в число 200 ведущих мировых университетов согласно мировому рейтингу университетов (Quacquarelli Symonds World University Rankings), единиц	1	4
Внутренние затраты на образование, % ВВП*	5,1	6,5
Средний возраст исследователей, лет	49	43
Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, %	32,8	35
Доля публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, %	2,08	3
Количество цитирований в расчете на одну публикацию российских исследователей в научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, ссылок на статью	2,4	4
Доля средств, получаемых за счет выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), в структуре средств, поступающих в ведущие российские университеты за счет всех источников финансирования, %	15	25
Внутренние затраты на исследования и разработки, % ВВП*	1,3	3
Доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки, %	8,4	15

*Валовый внутренний продукт (ВВП).

Об окончательных итогах реализации Стратегии говорить пока рано, сведения еще собираются, анализируются. Однако та информация, которую уже можно найти в официальных и иных авторитетных источниках, к сожалению, не внушает оптимизма. Об этом свидетельствуют некоторые данные о фактических показателях целевых индикаторов. Например, в мировом рейтинге университетов, представленном на платформе QS World University Rankings, из российских вузов только МГУ им. Ломоносова вошел в число 200 ведущих мировых университетов, заняв 84 место¹⁴. За ним следует Новосибирский государственный университет на 231 месте, Санкт-Петербургский государственный университет на 234-м и т. д.

¹⁴ QS World University Rankings [Электронный ресурс] // TopUniversities. URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2021> (дата обращения: 11.02.2021).

Внутренние затраты на образование, согласно данным статистического сборника «Образование в цифрах: 2020», составили в 2019 году 3,7 % от ВВП [3, с. 31]. В 2016 году данный показатель составлял 4,1 % [3, с. 27]. Иными словами, вопреки ожидаемому росту, наблюдается устойчивая тенденция снижения показателя. Для сравнения на рис. 3 приведены показатели внутренних затрат на образование в некоторых странах мира.

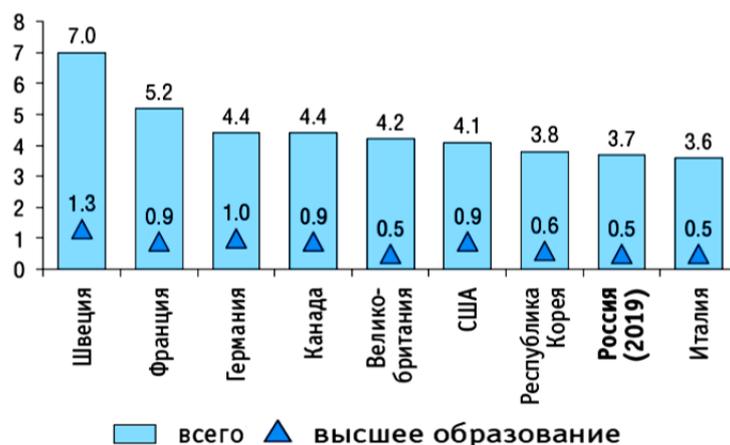


Рис. 3. Расходы на образование в процентах к валовому внутреннему продукту по странам
Fig. 3. Education expenditure as a percentage of the gross domestic product on the country-by-country basis

Насколько удалось достичь других целей Стратегии, можно судить по результатам широкомасштабного экспертно-аналитического исследования состояния науки в РФ «Индикаторы науки: 2020», в котором собраны и обобщены материалы Федеральной службы государственной статистики, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральной службы по интеллектуальной собственности, Межгосударственного статистического комитета СНГ, Организации экономического сотрудничества и развития, Европейской комиссии, Евростата, ЮНЕСКО, Всемирной организации интеллектуальной собственности, а также методологические и аналитические разработки Института статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [2].

Средний возраст российских исследователей составляет 47 лет, и с 2013 года этот показатель остается неизменным. Достичь показателя 43 года не удалось. С 2010 года сохраняется тенденция роста числа исследователей в возрасте 30–39 лет, но при этом отмечается отрицательная динамика исследователей в возрасте до 29 лет. Насколько можно судить по представленным в исследовании данным, целевой показатель индикатора «доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей» достигнут и даже превышен – почти 44 % при запланированных 35 % [2, с. 51–54].

Одним из общепринятых в международном научном сообществе показателей результативности труда интеллектуальных работников является публикационная активность. Следует заметить, что нельзя рассматривать публикационную активность как ключевой индикатор научной деятельности ни в общенациональном, ни в международном масштабе. Она лишь элемент системы наукометрических показателей, используемых для оценки общенационального научного потенциала и сопоставления его с потенциалами других стран.

Расширение конкурсной формы финансирования исследований с одновременным поэтапным сокращением доли финансирования в форме государственных контрактов предполагает использование наукометрических показателей, характеризующих публикационную активность и цитируемость, в качестве одного из ключевых критериев оценки квалификации руководителей коллективов и исследователей. Иными словами, эти показатели дают конкурентное преимущество [5].

Интеграция российской науки в международную наукометрическую систему повлекла существенные изменения требований к научным изданиям, в которых должны быть опубликованы и процитированы результаты научных исследований. Национальная библиографическая база данных научного цитирования – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) по популярности постепенно уступает место иностранным платформам, прежде всего таким, как Scopus и Web of Science (WoS), поскольку только научные издания, проиндексированные на этих платформах, признаются международными рейтингами. Потому повысить к 2020 году долю публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах до 3 %, а количество цитирований в расчете на одну публикацию российских исследователей в научных журналах, индексируемых в базе данных WoS, до четырех ссылок на статью – задача вполне логичная. По информации, имеющейся в открытых источниках, в 2018 году значения этих индикаторов были 2,9 и 3,8 % ссылок соответственно [2, с. 315–316].

Насколько можно судить по данным, приведенным на портале национальной электронной библиотеки eLibrary.Ru, общее количество научных публикаций в нашей стране внушительно растет (рис. 4). За прошедшие 10 лет этот рост составил более 23 %, иными словами, инертными авторов не назовешь.

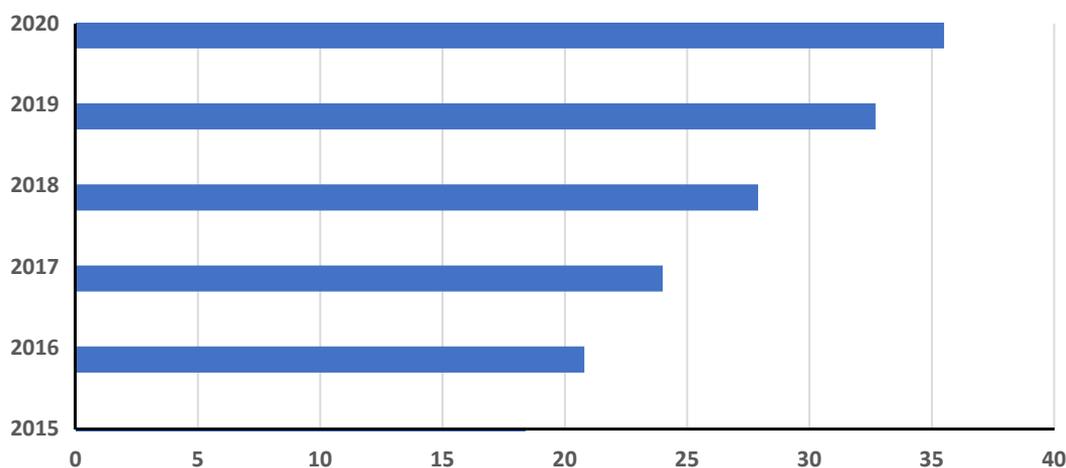


Рис. 4. Динамика числа проиндексированных в РИНЦ публикаций, млн
Fig. 4. Trends in the number of RSCI indexed publications, mil.

Причина некоторого отставания от целевых показателей публикационной активности в зарубежных базах, очевидно, организационная. Даже авторитетные российские научные журналы, а таковыми всегда считались журналы из перечня ВАК, в которых традиционно печатали результаты своих исследований ученые, в том числе вузовские, для включения в международные реферативные базы вынуждены переформатировать свою работу под новые критерии и пройти непростую процедуру экспертного отбора. Чаше эти критерии носят формальный, нежели содержательный характер (наличие развернутой аннотации на английском языке, количество источников цитирования, применение зарубежных стандартов библиографического описания ссылок на источники и др.). Но на реорганизацию журнала требуется время. Публикация же в зарубежных научных изданиях, индексируемых в международных базах цитирования, для русскоязычных авторов сопряжена с рядом трудностей – коммуникация с редакцией и представление материала только на английском языке, большинство изданий за редакторские услуги взимает плату, и не малую. В изданиях, где публикация бесплатна, из-за перегруженности «редакционных портфелей», как правило, ожидать опубликования приходится несколько месяцев, иногда – лет.

Коммерциализация научной публикационной деятельности – это еще одна проблема, сдерживающая публикационную активность авторов. Потому «только 5 % отечественных ста-

тей в Scopus опубликованы в ведущих журналах, входящих в число топ-10 по цитируемости. В США эта доля составляет 22 %, в Германии – 19 %, в Китае – 17 %» [4]. Для достижения целевых показателей необходимо продвижение в международные базы данных возможно большего количества отечественных научных изданий.

Согласимся с позицией коллег из Российского научно-исследовательского института экономики, политики и права в научно-технической сфере (РИЭПП), утверждающих, что для достижения необходимых показателей роста российской публикационной активности «необходимо задействовать крупные сектора российской научно-образовательной системы, и прежде всего – вузовский». И решать эту проблему следует через «включение вузов в комплексную программу стимулирования публикационной активности <что> подразумевает внедрение и совершенствование различных практик академических надбавок, которые способны дать научным и научно-педагогическим кадрам необходимый стимул к повышению публикационного потока» [6, с. 131–147].

Пожалуй, важнейшим аспектом развития науки, а значит и социально-экономического роста любого государства, является финансирование фундаментальных и прикладных исследований, экспериментальных разработок. Примерно 65–67 % всех затрат на науку составляют бюджетные средства, это около 42 млрд долл. в год. Еще 29 % средств инвестирует предпринимательский сектор страны. Средства образовательных организаций высшего образования составляют менее 1 %. О недофинансировании российской науки говорят конкретные цифры. Ежегодная господдержка науки в Индии, например, составляет 49 млрд долл., в Южной Корее – 90 млрд долл., в Германии – 132 млрд долл., в Китае – 500 млрд долл. И если в России за прошедшие двадцать лет государственные инвестиции в науку выросли в 4 раза, то в том же Китае – в 15 раз. Во многом этим объясняется феномен «китайского экономического чуда».

Неутешительная тенденция недофинансирования отечественной науки продолжает усугубляться. Разрыв между целевыми и фактическими показателями внутренних затрат на исследования и разработки усиливается (рис. 5). К 2020 году реальные затраты составили 0,99 % ВВП, из которых на сектор высшего образования – 0,1 % ВВП.

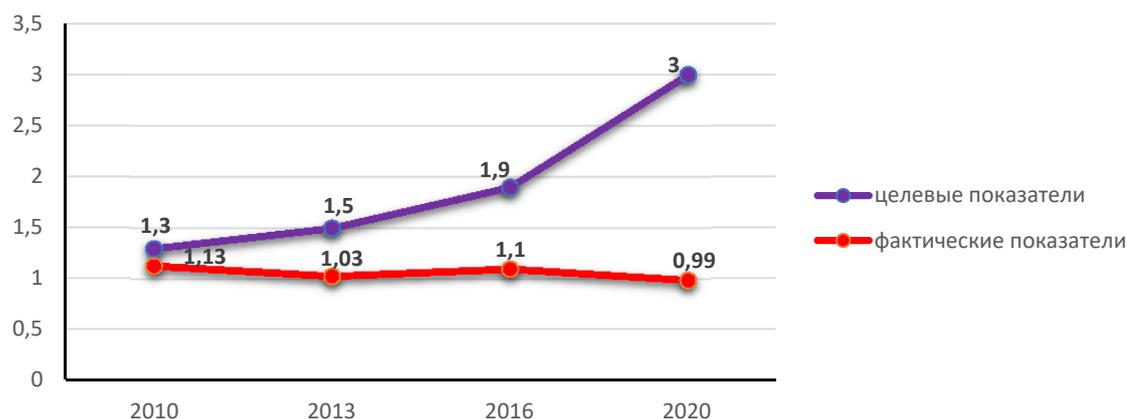


Рис. 5. Данные по индикатору «внутренние затраты на исследования и разработки», % ВВП
Fig. 5. Data on the indicator "domestic research and development costs", GDP %

К 2018 году доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки составила 9,7 %, что ниже запланированного в Стратегии для 2013 года, не говоря уже об итоговом 2020 году (рис. 6). То есть на всю вузовскую науку приходится около 10 % от общего объема финансовой поддержки научных исследований, остальные 90 % сосредоточены в других секторах науки. Для примера: в Советском Союзе доля вузов в затратах на науку

составляла примерно 6 %, из чего следует, что за три десятилетия у нас так и не произошло ощутимых позитивных сдвигов, прогрессивных подвижек в этом вопросе в сравнении с мировыми научными лидерами.

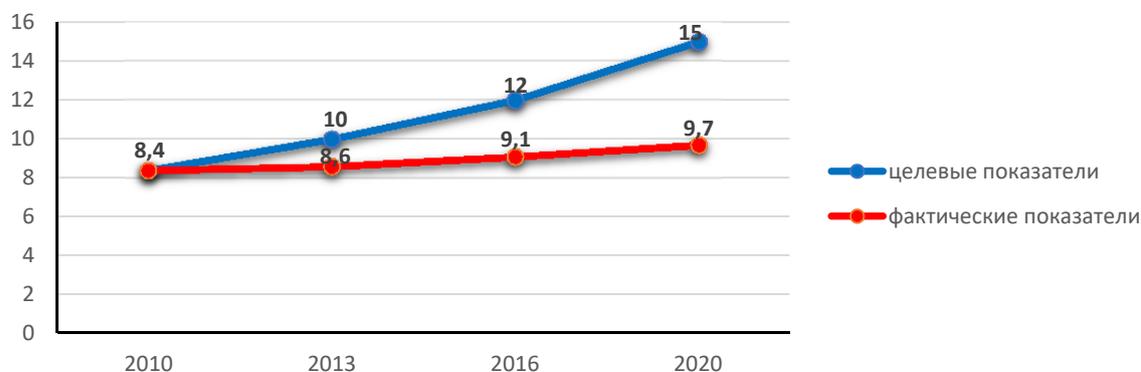


Рис. 6. Данные по индикатору «доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки», %

Fig. 6. Data on the indicator "share of the higher education sector in domestic research and development costs", %

Международные сопоставления показывают, что статус России все еще далек от мировых лидеров. В обнародованном в 2020 году отчете Счетной палаты Российской Федерации «Определение основных причин, сдерживающих научное развитие в Российской Федерации: оценка научной инфраструктуры, достаточность мотивационных мер, обеспечение привлекательности работы ведущих ученых» отмечается, что «наблюдается отставание России по ряду финансовых показателей и качественных характеристик науки от уровня развитых стран. Россия занимает десятое место в рейтинге ведущих стран мира по объему внутренних затрат на исследования и разработки... по удельному весу затрат на науку в ВВП... Россия существенно отстает от ведущих стран мира, находясь на 34 месте. Еще ниже позиция по индикатору внутренних затрат на исследования и разработки в расчете на одного исследователя (в эквиваленте полной занятости) – 47 место...» [4]. На рис. 7 приведены показатели затрат на научные исследования в странах мира в процентах ВВП этих государств. Можно заметить, что Россия (0,99 %) весьма скромно выглядит по сравнению с Германией (3,13 %), США (2,83 %), Китаем (2,19 %) и тем более со странами-лидерами – Израилем (4,94 %) и Республикой Корея (4,53 %). Если учесть, что в 2003 году у нашей страны этот показатель был 1,29 %, то следует говорить об усилении отставания.

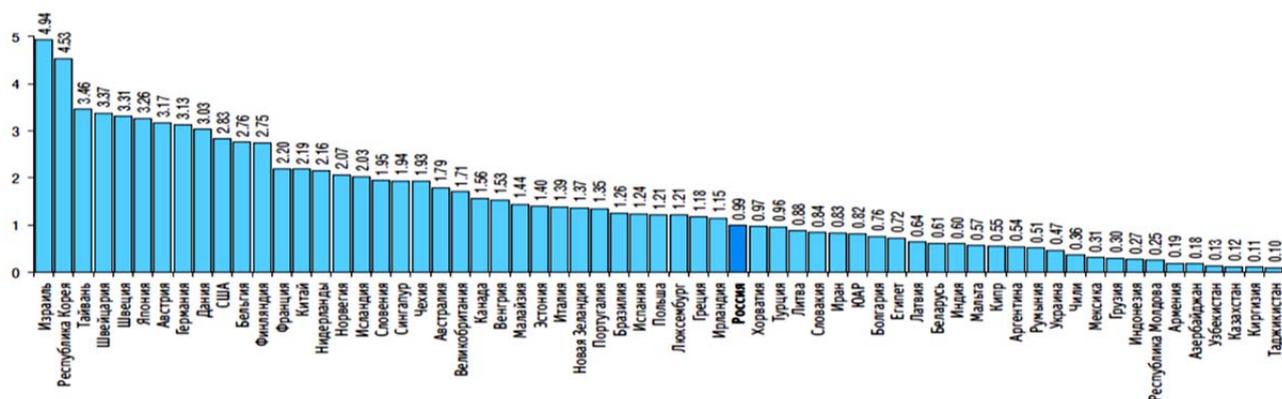


Рис. 7. Затраты на научные исследования, % ВВП

Fig. 7. Research costs, GDP %

По оценке Института Внешэкономбанка, к 2024 году расходы России на науку смогут увеличиться только до 1,2 % ВВП. При таких показателях затраты на научные исследования и разработки способны обеспечить в ближайшие 10–15 лет не более 0,15 % потенциального роста ВВП, что не решит поставленную задачу перехода к преимущественно инновационной модели развития.

Парадоксы нашего времени проявляются еще и в следующем: традиционно высокую оценку в российском обществе роли науки, научных исследований подтверждает проведенный в 2018 году опрос населения в возрасте 18–65 лет, который показал, что 70 % опрошенных признают пользу для России науки, новых технологий, техники, для сравнения в 1995 году так считали только 14 % респондентов. Возрастающую роль науки в России признают 87 % опрошенных, еще выше, по мнению россиян, этот показатель для роли науки в мире – около 93 % (рис. 8) [2, с. 275].

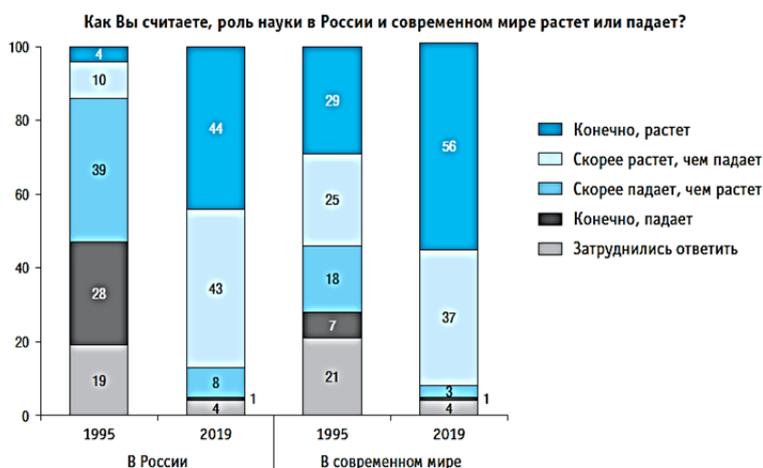


Рис. 8. Общественное мнение о науке
Fig. 8. Public opinion on science

Казалось бы, такое общественное мнение делает научно-исследовательскую деятельность привлекательной. Однако начиная с 2001 года наблюдается динамика снижения численности занятых в научных исследованиях, в том числе в вузовском сегменте. Выпускники первого года, а это в основном талантливые и перспективные аспиранты, составляют около 3 % численности сотрудников вузов, занятых в научных исследованиях. Среди причин подобного тренда – низкий уровень престижа научной работы и неудовлетворенность молодых ученых оплатой труда. С учетом изложенных выше аспектов финансирования отечественной науки очевидно, что вузовская наука должна стать привлекательной для бизнеса.

Таким образом, целевые показатели Стратегии инновационного развития – 2020 нельзя считать достигнутыми, а «инфраструктура научной деятельности по качественным и количественным характеристикам является недостаточной для обеспечения достижения амбициозных целей и показателей научного прорыва» [4].

В ответ на реалии времени в конце прошлого года Минобрнауки РФ был обнародован новый национальный проект «Наука и университеты», рассчитанный на 2021–2030 годы. Планируется, что по своему содержанию он будет представлять новый формат действующих нацпроектов «Наука» и «Образование» и включать четыре федеральных проекта – «Интеграция», «Исследовательское лидерство», «Инфраструктура» и «Кадры». Помимо доступности высшего образования, основная цель нацпроекта сфокусирована на повышении привлекательности научной карьеры. Уже само название нацпроекта демонстрирует роль вузовской науки в достижении цели вхождения России в топ-10 ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок. При реализации нового нацпроекта вузы неизбежно столкнутся с целым

комплексом кадровых, организационных и финансовых проблем. Решение видится в интеграции образовательной и научной деятельности, создании научно-образовательных центров, консолидации вузовского, академического, предпринимательского сегментов и сферы индустрии, то есть в создании модели, ядром которой станут университеты (и не только ведущие!), функционально обеспечивающие связь науки, образования и инновационного бизнеса.

Сегодня университетам приходится конкурировать с бюджетными научными организациями, причем в неравных условиях. Госзадания на науку, а значит и устойчивое финансирование, получает узкий круг ведущих вузов страны. Выше уже отмечалось, что доля сектора высшего образования во внутренних затратах на науку не превышает 10 %, из которых больше половины предназначается им. А в бюджетных научных организациях, главным образом научно-исследовательских институтах, доля госзадания на науку приближается к 80 %. Отсутствие прозрачной государственной системы финансирования науки вообще и университетской в частности отмечается многими авторами [4, 7]. Ведомственные вузы, ограниченные в финансировании, вместе с тем имеют свою специфику научной-исследовательской деятельности, ориентированную в большей степени на отраслевые проблемы.

МГТУ ГА как государственное высшее учебное заведение в обязательном порядке осуществляет научные исследования, которые реализуются в совместной деятельности профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Проведение научных исследований считается одним из приоритетных направлений деятельности Университета. Основными целями научно-исследовательской деятельности в Университете являются: выполнение фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований при эффективном использовании образовательного, научно-технического и инновационного потенциала вуза; развитие творческой деятельности научно-педагогических работников и обучающихся; подготовка научно-педагогических кадров высшей квалификации; повышение качества подготовки выпускников. Для достижения этих целей мы перед собой ставим и решаем следующие задачи:

- развитие актуальных научных направлений;
- сохранение и развитие собственных научных школ;
- эффективное использование научного потенциала научно-педагогических работников Университета;
- поддержка исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники;
- совместное с другими вузами и научными организациями выполнение научных программ по направлениям компетенции МГТУ ГА;
- расширение сотрудничества с потенциальными заказчиками;
- содействие развитию международного научного сотрудничества;
- обеспечение органичной связи научных исследований и учебного процесса;
- активное вовлечение студентов и аспирантов в научную деятельность.

Среди приоритетных направлений научных исследований в МГТУ ГА следует отметить такие, как безопасность полетов воздушных судов, авиационная безопасность, информационная безопасность; техническая эксплуатация авиационной техники; организация, выполнение, обеспечение и обслуживание воздушных перевозок и полетов воздушных судов; организация и обслуживание воздушного движения; автоматизация бизнес-процессов авиапредприятий. Иными словами, наша профильная тематика согласуется с теоретическими и прикладными проблемами воздушного транспорта, поэтому среди основных заказчиков научных исследований – Федеральное агентство воздушного транспорта (ФАВТ), Международный авиационный комитет (МАК), ПАО «Аэрофлот – российские авиалинии», ПАО «Компания "Сухой"», ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», ФГУП «ГосНИИАС», АО НПО «СПАРК», Росстандарт, ООО «Технологии и автоматизации», АО «НТЦ "Промтехаэро"» и др. Распределение НИР в Университете по источникам финансирования иллюстрирует рис. 9.

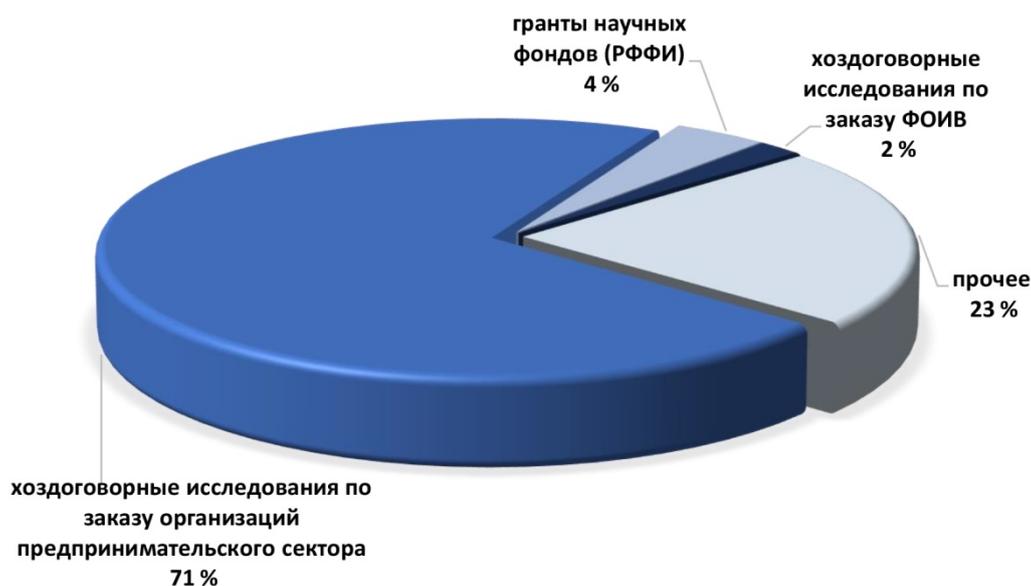


Рис. 9. Распределение НИР в МГТУ ГА по источникам финансирования (2016–2020 гг.)
Fig. 9. Distribution of Research-and-Development at MSTU CA by funding sources (2016–2020)

Проблемы финансирования вузовской науки, о которых речь шла выше, для отраслевых университетов стоит более остро, поскольку государство свою финансовую поддержку ориентирует в первую очередь ведущим вузам страны. В определенной мере такая позиция понятна: эти университеты обладают высоким научным потенциалом, имеют известные научные школы, вносят внушительный вклад в российскую науку, на них приходится основной вклад российских статей в ведущих научных журналах, индексируемых в международных базах. С чем же прежде всего сталкиваются вузы, не относящиеся к категории ведущих? «В российской университетской среде четко наблюдается «кризис заказчика»: государственные и частные организации не обеспечивают плотный поток заказов на исследования с соответствующим долгосрочным финансированием. В советское время вузы имели гарантированный портфель заказов по хозяйственным договорам» [8, с. 135]. Отсутствие объемных научно-исследовательских работ (НИР), требующих привлечения большого числа специалистов, приводит к тому, что научные исследования выполняются профессорско-преподавательским составом в свободное от их основной работы время. Штатных научных работников, для которых научная работа – основной вид профессиональной деятельности, у таких вузов очень немного, именно потому, что отсутствуют регулярные заказы на крупные исследования, складывается своеобразный замкнутый круг. Ведущие университеты, напротив, имеют устойчивые, крупные коллективы научных работников, куда входят именитые ученые.

Можно согласиться с распространенным мнением, что фундаментальная научная школа формируется за три поколения научной деятельности ученых, а это около ста лет, на создание научной школы в области прикладных исследований уходит около 10 лет. И даже если оспаривать эти конкретные цифры, по существу, это ситуацию не меняет. Научную школу создать за короткое время невозможно даже при достойном финансировании, как, собственно, невозможно без финансовых вложений и долговременное устойчивое функционирование существующей научной школы. Другим важным аспектом сохранения научной школы является ее кадровый резерв.

В этом вопросе у вузов есть некоторое преимущество, поскольку молодежь концентрируется главным образом в университетах. Между тем по данным Росстата все меньше молодых людей идет в науку сразу после окончания вуза. За прошедшие двадцать лет эти цифры снизились на треть. В тех вузах, где сформированы сильные научные школы, действует система под-

держки исследовательской активности студентов и аспирантов, налажена интеграция науки и высшей школы, молодежь остается работать. Но как отмечалось выше, такие возможности сегодня предоставляют преимущественно ведущие вузы страны.

Если говорить о потенциале студенческой науки в МГТУ ГА, то веским показателем является тот факт, что на нашей традиционной студенческой научно-технической конференции работает не менее 25 тематических секций, посвященных не только актуальным отраслевым вопросам, таким как комплексная безопасность на воздушном транспорте, аэродинамические и летно-технические характеристики летательных аппаратов, smart-технологии и киберриски авиаперевозок в условиях цифровой трансформации, но и мировоззренческим проблемам, волнующим все человечество, например, вызовам информационной цивилизации. В целом на конференцию представляется около 500 докладов. Для выступления на отдельных секциях подаются заявки до 40–50 человек, работа таких секций иногда продолжается до позднего вечера и вызывает откровенный интерес не только самих студентов и преподавателей Университета, но и приглашенных специалистов. Наши студенты становятся победителями отраслевых и всероссийских научных конкурсов.

Университет реализует все доступные формы научно-исследовательской работы. Помимо исследований по хоздоговорной тематике в рамках внебюджетного финансирования это могут быть научные исследования по внешним грантам РФФИ (РНФ); инициативные научно-исследовательской работы; научные исследования по грантам Ученого совета МГТУ ГА; научные исследования по государственному заданию в рамках бюджетного финансирования. Заслуживает внимания экспертно-аналитическая деятельность как составная часть научно-исследовательской работы, связанная с экспертизой и подготовкой заключений на материалы по профильным научным направлениям, подготовкой аналитических материалов по полученным в ходе проводимых исследований результатам. В качестве экспертов наш учредитель – Росавиация привлекает работников Университета – специалистов по направлению оценки проработки Государственной системы управления безопасностью полетами (ГосСУБП) и программ Авиационной безопасности авиакомпаний. Сотрудники МГТУ ГА являются членами ряда экспертных (научно-технических) советов в организациях, с которыми у МГТУ ГА заключены договоры о сотрудничестве, в их числе ФГБУ ГНИИЦ робототехники МО РФ, ООО «Авиареал», АО «Технодинамика», ПАО «Корпорация "Иркут"», ООО «Северный ветер», Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), АО «Гражданские самолеты Сухого», Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» МО РФ, ОАО «Азимут», ФГУП ГосНИИ ГА, «Каз-АэроПроект» (Республика Казахстан).

Руководствуясь требованиями Минобрнауки РФ и Минтранса РФ к результативности такого важнейшего критерия эффективности деятельности научных и образовательных организаций, как публикационная активность, следует отметить, что сотрудники и обучающиеся Университета активно публикуются в изданиях, входящих в базы цитирования РИНЦ, Web of Science и Scopus. Ежегодное количество публикаций в РИНЦ за прошедшие пять лет выросло на 78 %. В целом за этот период опубликовано почти 2,5 тысячи научных трудов. По цитируемости в РИНЦ наш Университет тоже соответствует предъявляемым требованиям. Отмечается устойчивый рост числа цитирований научных публикаций наших сотрудников в базах Web of Science и Scopus. За те же пять лет этот показатель вырос более чем в семь раз. Но до требуемого уровня мы пока не дотягиваем. Здесь мы сталкиваемся с теми же проблемами, что и большинство российских авторов научных публикаций – ограниченное число российских изданий, входящих в Scopus и Web of Science, иные требования к оформлению рукописей, продолжительное рассмотрение и принятие материалов к опубликованию либо внушительная стоимость редакторских услуг. Не стоит забывать, что научная работа университетского преподавателя совмещается с аудиторной, методической, воспитательной, иногда общественной и админи-

стративной занятостью. И в таком небольшом, но самодостаточном вузе, как МГТУ ГА, с небольшим по численности контингентом научно-педагогических работников часто все эти ипостаси сплетаются воедино. А на подготовку качественной научной статьи требуется время. Тем не менее министром транспорта поставлена перед нашим Университетом задача увеличить в четырнадцать раз ежегодное количество публикаций, индексируемых на платформе Scopus, и мы работаем над ее решением.

Для реализации политики государства в сфере вузовской науки, во исполнение указов Президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»¹⁵ и «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»¹⁶, для достижения стратегических целей, поставленных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, Министерством транспорта Российской Федерации, Федеральным агентством воздушного транспорта, Университет ставит перед собой следующие задачи, зафиксированные в р. VI. Модернизация научно-исследовательского процесса и инновационной деятельности Стратегии развития МГТУ ГА на период 2016–2030 годов.

- Задача 1. Развитие и повышение эффективности научно-инновационной деятельности.
- Задача 2. Совершенствование научно-образовательной деятельности.
- Задача 3. Обеспечение тесной интеграции образовательной, научной и производственной деятельности.
- Задача 4. Развитие научного потенциала Университета.
- Задача 5. Создание эффективной системы управления научной деятельностью.
- Задача 6. Развитие инфраструктуры обеспечения и стимулирования научных исследований.

Приоритеты видим в необходимости повысить результативность исследовательской деятельности; проработать основные научные направления кафедр МГТУ ГА для более четкого позиционирования области компетенции Университета; активнее планировать участие профессорско-преподавательского состава кафедр в конкурсах, поддерживаемых субсидиями, грантами РФФИ и других фондов; скорректировать локальные нормативные акты, регламентирующие научно-исследовательскую деятельность, разработать систему дополнительных стимулов; сосредоточить внимание на расширении активной базы потенциальных заказчиков хозрасчетных НИР; продолжить работу по привлечению бюджетных средств для выполнения научных исследований и участию МГТУ ГА в федеральных госпрограммах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Елисеев Б.П.** Современный университет в пространстве противоречий: проблемы и пути их решения: монография. 3-е изд. М.: ИТК «Дашков и К°», 2020. 274 с.
2. **Гохберг Л.М.** Индикаторы науки: 2020: статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, Е.И. Евневич, М.Н. Коцемир и др. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 336 с.
3. **Гохберг Л.М.** Образование в цифрах: 2020: краткий статистический сборник / Л.М. Гохберг, О.К. Озерова, Е.В. Саутина, Н.Б. Шугаль. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 120 с.
4. **Изотова Г.С.** Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Определение основных причин, сдерживающих научное развитие в Российской Федерации: оценка научной инфраструктуры, достаточность мотивационных мер, обеспечение привлекательности

¹⁵ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018. № 204 (В редакции указов Президента Российской Федерации от 19.07.2018 № 444, от 21.07.2020. № 474).

¹⁶ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020. № 474.

работы ведущих ученых» [Электронный ресурс] // Счетная палата Российской Федерации. URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/Work_materials_discussion/sp.pdf (дата обращения: 12.02.2021).

5. Куракова Н.Г., Григорьев О.Г. Проблемы достижения адресности финансирования ведущих ученых и научных коллективов с использованием показателей публикационной активности // Экономика науки. 2015. № 4. С. 282–291.

6. Соколов Д.В. Публикационная активность как наукометрический индикатор: российский и международный опыт // Управление наукой и наукометрия. 2014. № 15. С. 131–147.

7. Знаменский Д.Ю., Омельченко Н.А. Политика Российской Федерации в сфере развития университетской науки: контуры возможной концепции // Политическая наука. 2020. № 1. С. 145–165. DOI: 10.31249/poln/2020.01.06

8. Суходолов А.П., Анохов И.В., Михалева Е.О. Университетская наука. Внутренние возможности стимулирования научной деятельности в российских университетах // Экономика науки. 2019. Т. 5, № 2. С. 129–142.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Елисеев Борис Петрович, доктор юридических наук, профессор, ректор МГТУ ГА, главный редактор Научного Вестника МГТУ ГА, b.eliseev@mstuca.aero.

CURRENT ISSUES AND CRITICAL TASKS OF UNIVERSITY SCIENCE

Boris P. Eliseev¹,

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

ABSTRACT

The Moscow State Technical University of Civil Aviation celebrates the 50th anniversary as a well-known scientific and educational center integrated into the national scientific and innovation system. The strategic government initiatives are based on the recognition of scientific and technological achievements as the key factors in the transition of the Russian economy into a qualitatively new development model; the formation of a geopolitical status that determines the country's position in the global economy, the opportunity and conditions for its integration into the world economic system; competitiveness in global high-tech markets. The analysis of the targets results of the State Acts, including the Strategy for Innovative Development of the Russian Federation for the period up to 2020, shows that despite the undertaken efforts, considerable positive changes in state and effectiveness of national science in general as well as university science in particular, have not taken place yet. The planned values of individual indicators (domestic research and development costs, the share of the higher education sector in domestic research costs, scientometric indicators of Russian authors' publications in the international databases of Scopus and Web of Science, etc.) have not been achieved. The reasons for unsatisfactory dynamics are considered. It is noted that university science is the richest state-resource that means intellectual capital, scientific schools, talented youth, connections with academic research institutes, manufacture and business, which, by means of the appropriate state policy, can make universities the centers for integration of individual subjects of scientific and innovative activity, ensuring a functional connection. The specific aspects of scientific work in industry universities are highlighted. The priority tasks for modernization of research process and innovation activities in MSTUCA are defined in accordance with the University Development Strategy until 2030.

Key words: university science, forms of research work at university, science indicators, scientometric indicators, productivity of intellectual workers.

REFERENCES

1. Eliseev, B.P. (2020). *Sovremennyy universitet v prostranstve protivorechiy: problemy i puti ikh resheniya: Monografiya* [Modern university in the space of contradictions: problems and ways to solve them: Monograph]. 3rd ed. Moscow: ИТК "Dashkov i K°", 274 p. (in Russian)

2. **Gokhberg, L.M., Ditkovsky, K.A., Yevnevich, E.I., Kotsemir, M.N. and others.** (2020). *Indikatoriy nauki: 2020: statisticheskiy sbornik* [Science indicators: 2020: statistical compilation]. Moscow: NIU VShE, 336 p. (in Russian)
3. **Gokhberg, L.M., Ozerova, O.K., Sautin, E.V. and Shugal, N.B.** (2020). *Obrazovaniye v tsifrakh: 2020: kratkiy statisticheskiy sbornik* [Education in numbers: 2020: a brief statistical collection]. Moscow: NIU VShE, 120 p. (in Russian)
4. **Izotova, G.S.** (2020). *Otchet o rezultatakh ekspertno-analiticheskogo meropriyatiya «Opredeleniye osnovnykh prichin, sderzhivayushchikh nauchnoye razvitiye v Rossiyskoy Federatsii: otsenka nauchnoy infrastruktury, dostatochnost motivatsionnykh mer, obespecheniye privlekatelnosti raboty vedushchikh uchenykh»* [Report on the results of the expert-analytical event "Determination of the main reasons hindering scientific development in the Russian Federation: assessment of scientific infrastructure, sufficiency of motivational measures, ensuring the attractiveness of the work of leading scientists"]. Available at: http://fgosvo.ru/uploadfiles/Work_materials_discussion/sp.pdf (accessed 12.02.2021). (in Russian)
5. **Kurakova, N.G. and Grigorev, O.G.** (2015). *Issues in achieving targeted funding for leading scientists and scientific communities using indexes of publication activity*. The Economics of Science, vol. 1, no. 4, pp. 282–291. (in Russian)
6. **Sokolov, D.V.** (2014). *Publikatsionnaya aktivnost kak naukometricheskiy indikator: Rossiyskiy i mezhdunarodnyy opyt* [Publication activity as a scientometric indicator: Russian and international experience]. Science Governance and Scientometrics, no. 15, pp. 131–147. (in Russian)
7. **Znamenskiy, D.Yu. and Omelchenko, N.A.** (2020). *Policy of Russian Federation at the sphere of universities' science development: contours of probable conception*. Political Science (RU), no. 1, pp. 145–165. DOI: 10.31249/poln/2020.01.06 (in Russian)
8. **Sukhodolov, A.P., Anokhov, I.V. and Mihalyova, E.O.** (2019). *University science. Internal possibilities of stimulating scientific activity in Russian universities*. The Economics of Science, vol. 5, no. 2, pp. 129–142. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Boris P. Eliseev, Doctor of Law, Professor, Rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Chief Editor of Civil Aviation High Technologies, b.eliseev@mstuca.aero.

Поступила в редакцию 22.02.2021
Принята в печать 25.03.2021

Received 22.02.2021
Accepted for publication 25.03.2021

УДК 001.3

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-25-57

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ: О НАУКЕ ЗА 50 ЛЕТ

А.И. КОЗЛОВ¹

*¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

В статье представлен содержательный обзор полувековой истории развития научной деятельности в Московском государственном техническом университете гражданской авиации, начиная с образования вуза в 1971 году и по настоящее время. Отмечается, что изначально перед вузом стояла задача создания организационной структуры, включающей научно-исследовательские подразделения, которая была успешно решена, благодаря чему уже через два года появились первые научные результаты. Грамотная стратегия руководства и Ученого совета вуза на протяжении десятилетий определяла главные направления научных исследований. Становлению научных школ Университета способствовало приглашение на работу в вуз известных своими научными достижениями отечественных ученых и привлечение к научным исследованиям талантливой, перспективной молодежи. В статье дана характеристика наиболее значимых этапов становления научных школ И.С. Голубева, И.М. Синдеева, А.А. Кузнецова, В.И. Васильева, В.Г. Воробьева, С.В. Кузнецова, Н.Н. Смирнова, Ю.М. Чинючина, В.Г. Ципенко, И.В. Никитина, В.С. Стреляева, В.С. Шапкина, С.К. Камзолова, А.И. Козлова, А.И. Логвина, В.Д. Рубцова, В.В. Соломенцева, Е.Е. Нечаева, О.В. Репиной, О.Д. Гараниной, Б.П. Елисеева, В.В. Воробьева и др. Показано, как формированию научного авторитета Университета способствовало международное научное сотрудничество; деятельность диссертационных советов; публикации, авторские свидетельства, патенты, научные награды сотрудников Университета, отражающие результаты фундаментальных и прикладных исследований. В статье нашли отражение объективные сложности развития университетской науки, с которыми приходилось сталкиваться в разные годы, а также актуальные трудности сегодняшнего дня. Показано, что Университет сегодня обладает внушительным научным потенциалом, которому под силу как выявлять отраслевые научные проблемы, так и решать их.

Ключевые слова: научная работа в вузе, научные исследования, научные школы, отраслевая наука.

В этой статье я хочу показать свое видение истории развития научной деятельности в нашем Университете и поделиться воспоминаниями о некоторых фактах с позиций человека, который в течение двадцати лет занимал должность проректора по научной работе, преобразованной позднее в должность проректора по научной работе и экономике. Ограниченность объема статьи вынудила оставить «за кадром» многие интересные и значимые факты и, самое главное, даже фамилии некоторых ученых и их вклад в научную деятельность Университета, и я заранее приношу им за это свои извинения. Наиболее полно история науки в Университете отражена в книге, изданной в 1996 году под названием «Московский государственный технический университет гражданской авиации. 25 лет» [1].

Буквально с первых же дней образования Московского института инженеров гражданской авиации (МИИГА) его ректор профессор, доктор технических наук Иван Семенович Голубев четко определил, что фундаментом, на котором будет стоять и развиваться новый относительно небольшой вуз на фоне десятков московских вузов, может быть только научное лицо института, которое на первых порах поставит его вровень с ведущими вузами Москвы. В институт на постоянную работу приглашается ряд ученых, имеющих научный авторитет как за пределами Москвы, так и за границей нашей Родины. Это разработчики и создатели самых современных образцов авиационной и космической техники. Среди них лауреаты Ленинской премии, профессора, доктора технических наук П.А. Агаджанов, В.Ф. Роцин, А.И. Уткин, заслуженные деятели науки и техники РСФСР Б.Е. Авчинников, И.С. Голубев, И.М. Синдеев, а также профессора, доктора технических наук В.М. Амербаев, Г.Н. Дубинин, В.И. Иванов, В.П. Иванов, П.А. Казанджан, П.А. Константинов, В.И. Кузнецов, В.И. Протопопов, Г.И. Страхов, В.С. Стреляев, А.Д. Суханов, В.П. Фролов, А.А. Червоный. Работу, связанную с

организацией научной деятельности в институте, возглавил и успешно осуществил проректор по научной работе Е.В. Промыслов.

Ученый совет института формулирует направления главных научных исследований. С 1 января 1980 года по этим направлениям при трех ведущих кафедрах, возглавляемых профессорами И.С. Голубевым, Н.Н. Смирновым и А.А. Кузнецовым, создаются первые научно-исследовательские лаборатории (НИЛ), образующие научно-исследовательский сектор, начальником которого назначается А.К. Скворчевский. Кафедры становятся основным звеном вуза, обеспечивающим единство учебного и научного процессов. Научные исследования в НИЛ выполняют как штатные сотрудники, так и на условиях совместительства профессорско-преподавательский и инженерно-технический составы. Основными заказчиками проводимых в институте научно-исследовательских работ в эти годы выступали непосредственно Министерство гражданской авиации, ГосНИИ ГА, ЦНИИ АСУ ГА, заводы гражданской авиации и авиационные отряды.

В этот период можно было говорить о первой именно научной школе, имеющей достаточно высокий авторитет и признание как внутри, так и вне отрасли. Это научная школа профессора, доктора технических наук И.С. Голубева. Научная биография исследований в области аэродинамики, динамики полета и баллистики летательных аппаратов начинается буквально с первых дней существования института, когда начали развиваться исследования по двум научным направлениям. В рамках первого из них под научным руководством ректора института



И.С. Голубев

профессора, доктора технических наук Ивана Семеновича Голубева проводились исследования, связанные с повышением эффективности эксплуатации существующих и перспективных воздушных судов. Второе направление исследований, научное руководство которого осуществлял профессор, доктор технических наук Герман Иванович Страхов, было направлено на решение проблем, связанных с поврежденными конструкциями. Следует отметить также научные разработки, выполненные под научным руководством профессора, доктора технических наук Вадима Ивановича Иванова, посвященные методам управления техническим состоянием функциональных систем, которые были внедрены на самолете Ту-204.

Успехи в решении задач привели к созданию научной школы, занимающейся повышением эффективности эксплуатации воздушных судов (ВС) и математическим моделированием динамики полета ВС, возглавляемой профессором, доктором технических наук Владимиром Федоровичем Роциным. Исследования поискового характера в области эксплуатационных характеристик сверхзвуковых гражданских самолетов возглавил лауреат Ленинской премии, профессор, доктор технических наук Александр Иванович Уткин. Активное

участие в этих работах принимают профессор, доктора технических наук В.И. Протопопов и В.В. Васильев.

Весьма значимый вклад в развитие научной деятельности в институте внес пришедший с должности заведующего кафедрой эксплуатации авиационного оборудования и электрооборудования летательных аппаратов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского профессор, доктор технических наук генерал-майор-инженер Игорь Михайлович Синдеев. Без преувеличения можно сказать, что это был, пожалуй, самый маститый ученый и профессор, преподававший в институте. И.М. Синдеев является одним из создателей научных основ отечественного авиационного электрооборудования. Он один из авторов многотомной монографии «Электрификация самолетов», первого в мире фундаментального научного труда, в котором освещены и систематизированы основные вопросы электрооборудования самолетов [2]. Много внимания И.М. Синдеев уделял вопросам авиационного электропривода и систем управления агрегатами летательных аппаратов (ЛА). Крупным вкладом в авиационную науку явилась разработка И.М. Синдеевым методов автоматического контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния бортового оборудования.



И.М. Синдеев

Направление научных исследований на кафедре физики «Воздействие атмосферного электричества на ВС и их молниезащита» определил ее первый заведующий, доктор физико-математических наук Александр Дмитриевич Суханов. Основные достижения этого направления – разработка под руководством кандидата физико-математических наук Ю.В. Тихомирова ряда прошедших лётные испытания приборов для измерения параметров электрического поля за бортом и заряда ВС, разработка методов диагностики повреждений, а также остаточной прочности элементов конструкции и их восстановления после поражения молнией, выполненных под руководством тогда еще кандидата наук С.К. Камзолова, ставшего впоследствии уже в ранге доктора технических наук одним из ведущих ученых страны в области молниезащиты ВС.

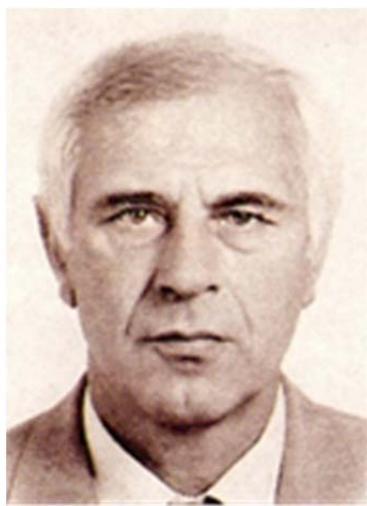
В эти же годы начала формироваться и добиваться первых заметных успехов научная школа радиотехнического профиля по направлению управления воздушным движением, возглавляемая профессором, доктором технических наук Альбертом Андреевичем Кузнецовым. Здесь уже можно было выделить ряд наиболее значимых научных результатов. Прежде всего это разработка алгоритмов оптимальной оценки параметров линейной и нелинейной траекторий полета ВС в автоматизированных системах управления воздушным движением (УВД), а также разработка метода и средств повышения безопасности полетов ВС в зонах с малой интенсивностью воздушного движения и низкой оснащенностью их наземными средствами обеспечения



А.А. Кузнецов

полетов. Серьезные успехи были достигнуты в решении «вечной» задачи гражданской авиации по совершенствованию и разработке новых алгоритмов работы систем предупреждения столкновения ВС при переходе на спутниковую технологию навигации. Наконец, нельзя не отметить уникальную в своем роде разработку тезауруса радиообмена «диспетчер – ВС». С середины 1980-х годов научная школа, возглавляемая профессором, доктором технических наук А.А. Кузнецовым, стала общепризнанным в стране лидером в области решения теоретических и прикладных задач по управлению воздушным движением.

Создание одной из первых активно развивающихся научных школ в институте, авторитет которой быстро распространился за его пределы, принадлежит самому тогда молодому доктору технических наук Владимиру Ивановичу Васильеву. Направление его исследований было посвящено разработке основных принципов построения информационно-вычислительной сети гражданской авиации. Достоинством работ этой школы являлась их четко выраженная практическая направленность, что нашло воплощение в организации межмашинного обмена с использованием международного протокола СИДИН, рекомендованного экспертами ИКАО к применению в информационно-вычислительных сетях гражданской авиации. В.И. Васильеву принадлежит разработка теории помехоустойчивого приема сигналов в реальных трактах при наличии случайных импульсных помех. Именно авторитет научной школы В.И. Васильева способство-



В.И. Васильев

вал открытию в институте под его председательством кандидатского диссертационного совета по специальностям информационных технологий. В.И. Васильев – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, имеющий 37 авторских свидетельств, автор нескольких монографий и свыше 150 научных статей. Им подготовлены два доктора наук (В.Л. Горбунов и В.А. Свириденко) и свыше 30 кандидатов наук.

Первые шаги будущей, получившей в дальнейшем большой авторитет в гражданской авиации научной школы профессора, доктора технических наук Владимира Георгиевича Воробьева приходятся на 1974 год, когда на возглавляемой им, тогда еще кандидатом наук, кафедре авиационных приборов и автоматов была организована научно-исследовательская группа, куда входили как штатные сотрудники (В.П. Зыль, С.М. Сахаров, С.А. Арнольд), так



В.Г. Воробьев

и преподаватели (И.К. Кадышев, В.В. Глухов, В.Д. Константинов). Научное руководство осуществлял В.Г. Воробьев. Было определено научное направление: «Оптимизация процессов эксплуатации и автоматизированных средств контроля авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов ГА». О научном авторитете этой научной группы говорит тот факт, что уже через несколько лет заказчиком научно-исследовательских работ стали такие организации, как ОКБ – им. А.Н. Туполева, С.В. Ильюшина, М.Л. Миля, а также научно-исследовательские институты ГосНИИ ГА, ГосНИИ ЭРАТ, ЛИИ МАП, ГосНИИ ЭРАТ ВВС, НИИ АО, МИЭА и ряд вузов – МАИ, КИИ ГА, РКИИ ГА. Итогом научных исследований явились десятки отраслевых и межотраслевых инструктивных методических документов, утвержденных на уровне Министерства гражданской авиации и Министерства авиационной промышленности. Помимо научно-методических документов разрабатывается и доводится до действующего образца «Наземное автоматизированное средство контроля (НАСК) демонтированного авиационного оборудования», которое успешно прошло испытание в а/п Шереметьево, демонстрировалось на ВДНХ СССР и за рубежом (Китай, 1989 год), где было удостоено диплома и пяти медалей, в том числе двух золотых. Результаты испытаний были использованы при разработках технических заданий на НАСК изделий «204» и «96-300», утвержденных конструкторами А.Н. Туполевым и Г.В. Новожиловым, а также при разработках опытных образцов НАСК, изготавливаемых в Киеве и Харькове. Научные результаты группы внедрялись в производство. Развивается важное для ГА направление научно-исследовательских работ (НИР) – разработка методики и алгоритмов обработки полетных данных в процессе испытаний систем управления самолетами на этапе посадки. Активно работая по научному направлению кафедры, по результатам выполненных научных исследований, В.Г. Воробьев в 1982 году защитил докторскую диссертацию. Научная деятель-

ность В.Г. Воробьева была подтверждена присвоением ему почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР». Признание научных заслуг В.Г. Воробьева выразилось в избрании его академиком Российской инженерной академии, Российской академии транспорта, и Академии наук авиации и воздухоплавания. Под его научным руководством успешно защитили диссертации доктора наук В.П. Зыль и С.В. Кузнецов и 12 кандидатов наук, среди них сотрудники МГТУ ГА Ю.А. Полунин, В.А. Бестугин, В.Н. Габец, Г.Е. Перегудов. Признание научных заслуг В.Г. Воробьева выразилось в избрании его академиком Российской академии транспорта, Инженерной академии РФ и Академии наук авиации и воздухоплавания. В 1994 году он был избран членом Американского общества инженерного образования. Награжден орденами «Знак Почета», «За заслуги перед Отечеством» IV ст., Дружбы, медалями. Лауреат премии «Икар» за личный вклад в развитие гражданской авиации. В рамках реализуемого на кафедре научного направления опубликованы две монографии, написано более пятисот научных работ, сделано более двухсот докладов на различных международных, всесоюзных, республиканских, городских и межвузовских симпозиумах, съездах, конференциях и семинарах.

Последние десять лет научную школу «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и авионики» возглавляет ученик В.Г. Воробьева профессор, доктор технических наук Сергей Викторович Кузнецов, имеющий высокий авторитет в гражданской авиации и как



С.В. Кузнецов

ученый, и как прекрасный педагог, что нашло отражение в Указе Президента РФ, объявляющем о присвоении С.В. Кузнецову высшего отраслевого почетного звания «Заслуженный работник транспорта РФ». Научные заслуги С.В. Кузнецова признаны ученым сообществом избранием его член-корреспондентом Академии авиации и воздухоплавания. Сегодня научная школа С.В. Кузнецова, продолжая лучшие традиции научной школы В.Г. Воробьева, ведет активную научную работу, вовлекая в нее не только сотрудников Университета, но и многочисленный отряд студентов. Только за последние пять лет в рамках этой научной школы по заказу ГосНИИАС были успешно выполнены пять хозяйственных научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование бортового оборудования и процессов его технической эксплуатации.

Первые шаги в формировании новых, непосредственно зародившихся и развивающихся в институте научных школ, принадлежат профессору, доктору технических наук Николаю Николаевичу Смирнову, возглавившему научные исследования в области процессов и методов технической эксплуатации авиационной техники и ее эксплуатационной технологичности. Рассуждая с позиции сегодняшнего дня, можно четко утверждать, что основная заслуга

Н.Н. Смирнова как ученого состоит в том, что он своими трудами показал, что техническая эксплуатация – это не набор каких-то правил и инструкций, как это было принято считать, а серьезная фундаментальная наука, имеющая ярко выраженный прикладной характер. Проводя медицинскую аналогию, можно говорить, что это наука о старении организма, его болезнях и методах лечения. Профессор Н.Н. Смирнов внес в развитие авиационной отрасли совершенно новые, нестандартные формы деятельности. Он впервые в СССР предложил техническое обслуживание авиационной техники по её фактическому состоянию. Сегодня Н.Н. Смирнов является общепризнанным основателем получившей широкое признание в отечественной авиации научной школы по проблемам технического обслуживания и ремонта воздушных судов и двигателей, а также общей теории технической эксплуатации авиационной техники. Его учебники и монографии, а также более 250 научных статей открыли дорогу в авиацию десяткам будущих ученых и сотням студентов.



Н.Н. Смирнов

Его перу принадлежат четыре монографии и четыре учебника. Он являлся научным руководителем у четырех докторов наук и пяти кандидатов наук. Заслуги Н.Н. Смирнова как ученого были отмечены высшей государственной наградой ученого – званием заслуженного деятеля науки и техники РСФСР. Н.Н. Смирнов был первым в Университете, кому Ученый совет присвоил почетное звание «Заслуженный работник МГТУ ГА». Признание его научных заслуг нашло отражение в избрании его академиком Российской академии транспорта. Нельзя не сказать, что он был также руководителем дипломных проектов у сотен выпускников Университета, среди которых хотелось бы выделить тех, от чьих решений сегодня напрямую зависит развитие и будущее гражданской авиации России и ее науки. Это руководитель Федерального агентства воздушного транспорта А.В. Нерадько и первый заместитель генерального директора НИЦ им. Н.Е. Жуковского профессор, доктор технических наук В.С. Шапкин.

Заметный вклад в решение задач, связанных с исследованием эксплуатационной технологичности воздушных судов, в формирование программ технического обслуживания новых типов ВС, обоснование допусков на эксплуатационные повреждения авиационной техники, а также в совершенствование системы поиска неисправностей ВС внес профессор, доктор технических наук Александр Абрамович Ицкович, автор 10 монографий и свыше 150 научных статей. Результаты его исследований были использованы при разработке комплексов отраслевых и межотраслевых нормативно-методических документов при разработке АСУ и ИУС по технической эксплуатации летательных аппаратов.



А.А. Ицкович

Одним из достойных преемников Н.Н. Смирнова в деле развития теории и практики науки о технической эксплуатации является его ученик профессор, доктор технических наук Юрий Михайлович Чинючин, основатель новой научной школы, носящей название «Система поддержания летной годности вновь создаваемых и перспективных типов воздушных судов, обеспечение безопасности полетов». Опять же, возвращаясь к медицинской аналогии, это звучит так: «Как надо постоянно поддерживать здоровье от молодости до старости». И с этой задачей он успешно справляется. Профессором Ю.М. Чинючиным внесен большой вклад в развитие теории и практики основ технической эксплуатации современных и перспективных типов летательных аппаратов, в решение задач управления эффективностью процессов эксплуатации и безопасностью полетов, в обоснование перспектив развития системы технической эксплуатации авиационной техники. Заметный вклад внесен им в разработку программы и стратегии обслуживания авиационной техники, а также в разработку практических методов технологического характера по поддержанию летной годности в процессе длительной эксплуатации авиационной техники. Ю.М. Чинючиным разработаны научно-методические основы построения комплекс-



Ю.М. Чинючин

ной системы мониторинга и управления ресурсными и возрастными параметрами магистральных самолетов, эксплуатируемых в авиакомпаниях, на примере воздушных парков России и Монголии. Особую значимость для эксплуатантов гражданской авиации имеют разработанные

Ю.М. Чинючиным принципы и методы оценки ресурсов и сроков службы магистральных самолетов и их съемных компонентов, а также оценка целесообразности увеличения ресурсов изделий авиационной техники по критерию работоспособности на длительный период эксплуатации. Большое внимание в работах Ю.М. Чинючина уделено анализу инженерных и технологических основ технического обслуживания планера, силовых установок и гидромеханических систем современных летательных аппаратов, а также общим видам работ по их обслуживанию. На сегодняшний день можно однозначно утверждать, что Ю.М. Чинючин достойно принял от своего учителя Николая Николаевича Смирнова эстафету ведущего специалиста в области технической эксплуатации авиационной техники в гражданской авиации России. Свою активную научную работу Ю.М. Чинючин успешно сочетает с учебно-методической. Результаты этой работы отмечены в Указе Президента РФ, на основании которого Ю.М. Чинючину в 2015 году присвоено высшее для работника высшего учебного заведения почетное звание «Заслуженный работник высшей школы РФ». Признание его заслуг перед гражданской авиацией выразилось в присвоении ему звания «Почетный работник транспорта России» и награждении знаком «Отличник Аэрофлота», а перед Университетом – в присвоении звания «Заслуженный работник МГТУ ГА». О научном авторитете Ю.М. Чинючина свидетельствует тот факт, что в течение 10 лет он был членом Экспертного совета по транспорту Высшей аттестационной комиссии РФ. Он автор шести монографий и четырех учебников. По числу научных статей – 450, ему нет равных ни в Университете, ни в гражданской авиации, да и вряд ли во многих технических вузах. Под научным руководством Ю.М. Чинючина успешно защитили докторские диссертации Ю.А. Борисов, А.С. Борзова, С.В. Далецкий, С.В. Петрунин, В.М. Рухлинский, Б.А. Чичков, а также защищено 10 кандидатских работ.

С удовлетворением можно констатировать, что на ноги становится третье научное поколение школы Н.Н. Смирнова во главе с его учеником профессором, доктором технических наук О.Ф. Машошиным, в биографии которого уже есть опыт работы проректором, деканом, заведующим кафедрой. Он непосредственный участник создания в Университете Учебно-тренажерного центра, направленного на обеспечение соответствия уровня профессиональной подготовки студентов требованиям, предъявляемых работодателем.



О.Ф. Машошин

Начиная с 1990 года по причине отхода от активной научной деятельности ведущих ученых в области аэродинамики и динамики полета, в первую очередь в силу возраста, происходит изменение научного профиля ряда проводимых научных исследований. Научное лидерство переходит к молодому доктору наук Владимиру Григорьевичу Ципенко. Формируемая им научная школа по проблемам летной эксплуатации воздушных судов быстро за-

воевыывает научный авторитет как у нас в стране, так и за рубежом. Большую значимость имела совместная с ЭМЗ им. В.М. Мясищева и ЦАГИ разработка технического проекта нетрадиционного ЛА – вертолата (ВС-80), продувка модели которого проводилась в аэродинамической трубе Университета. Этот проект и показ его радиоуправляемого макета проводился на Международных выставках (1993, 1995 гг.) в г. Жуковском Московской области. Отдельного внимания заслуживают разработки, проведенные совместно с ВНИИ ПАНХ, научно-исследовательских методов оценки летных качеств и безопасности полетов вертоле-



В.Г. Ципенко

тов с грузом на внешней подвеске и программного комплекса для моделирования динамики полета вертолета с грузом на внешней подвеске. Росту авторитета научной школы В.Г. Ципенко способствовала разработанная профессором, доктором технических наук Михаилом Семеновичем Кублановым «Система математического моделирования динамики полета ЛА» (СММ ДП ЛА), по которой был проведен большой цикл работ с предприятиями гражданской авиации и авиационной промышленности по вводу в летную эксплуатацию самолетов Ил-96-300 и Ил-96Т, по расширению ожидаемых условий эксплуатации на взлете и посадке самолетов Ил-86, Ил-76, Ту-154 и по исследованию авиационных происшествий с самолетами Ил-76 и Ту-204. Об авторитете научной школы В.Г. Ципенко и признании ее одним из научных лидеров страны в области современных проблем и задач аэродинамики свидетельствуют регулярно проводимые в течение уже более 25 лет Международный авиационно-космический научно-гуманитарный семинар им. братьев С.М. и О.М. Белоцерковских, а также секции международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества». Об этом же свидетельствует присуждение В.Г. Ципенко и Н.Н. Чунаревой премии Российско-Европейского фонда развития науки и техники в области гражданской авиации (Фонда Гросса, 1993 год). Охват научных проблем, разрабатываемых и исследуемых в научной школе В.Г. Ципенко, был столь велик, что на этой базе зарождались и активно развивались новые научные направления и формировались научные школы.

Ежегодно росли успехи студенческого конструкторского бюро, где под научным и организационным руководством профессора, доктора технических наук Германа Ивановича Страхова группа студентов шаг за шагом осваивала конструкции создаваемых ими мотодельтапланов и полеты на них. Душой этого студенческого коллектива и его лидером был будущий доктор технических наук Игорь Валентинович Никитин, под руководством которого были разработаны основные требования и непосредственно Нормы летной годности и сертификационные документы на изготовление, испытания и летную эксплуатацию мотодельтапланов для аэро-

съемок и хозяйственных работ. Именно на разработанном в МГТУ ГА мотодельтаплане в сентябре 2012 года Президент РФ В.В. Путин совместно И.В. Никитиным совершили в рамках эксперимента российских орнитологов «Полет надежды» длительный полет, о котором говорил и который, благодаря телевидению, видел весь мир. К глубокому сожалению, Игорь Валентинович Никитин трагически погиб при испытании новой модели мотодельтаплана.



*Полет Президента РФ
В.В. Путина*



И.В. Никитин

Приняв эстафету от воистину блестящих ученых в области аэродинамики и динамики полета И.С. Голубева, В.И. Иванова, В.И. Протопопова, А.И. Рощина, Г.И. Страхова и А.И. Уткина, Владимир Григорьевич Ципенко сумел не только сохранить их лучшие научные традиции, но и, обобщив их научный и организационный опыт, создал свою научную школу, достойную, а в чем-то даже превосходящую научные школы своих предшественников. Именно это стало основанием Указа Президента РФ о присвоении В.Г. Ципенко звания «Заслуженный деятель науки РФ» – высшей государственной оценки научных заслуг ученого. Почти 30 лет В.Г. Ципенко (рекордный срок для Университета) возглавлял одну из ведущих кафедр Университета – аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов. Под его научным руководством успешно защитили докторские диссертации А.В. Гребенкин, В.В. Ефимов, В.Б. Козловский, М.С. Кубланов, И.В. Никитин, С.А. Паршенцев, В.Н. Рисухин, С.А. Тепнадзе, В.П. Усков, В.И. Шевяков, а 19 человек стали кандидатами наук. В.Г. Ципенко автор четырех фундаментальных монографий и свыше 350 научных статей. Его высокий научный авторитет нашел свое выражение в том, что он в течение последних 25 лет является членом экспертного совета Высшей аттестационной комиссии РФ, а также членом трех докторских диссертационных советов, созданных при МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ и Санкт-Петербургском ГУГА (ОЛАГА). Будучи специалистом высшего класса в области аэродинамики, динамики полета и баллистики летательных аппаратов, В.Г. Ципенко успешно привнес свои обширные знания в учебный процесс. Он автор пяти базовых учебников по аэродинамике и динамике полета. Им издано более 50 учебно-методических разработок и учебных пособий по различным видам занятий, а также поставлено три полнометражных учебных научно-популярных видеофильма. В.Г. Ципенко принимал непосредственное участие в формировании, постановке и развитии на кафедре учебных дисциплин с применением компьютерных обучающих и контролирующих программ, а также в установке на кафедре уникального лабораторного аэродинамического комплекса УЛАК-1. Среди его учеников люди, от решений которых зачастую зависят жизнь и здоровье тысяч авиапассажиров. Это летный директор ОАО «Аэрофлот» В.И. Перепелица, заместитель главного конструктора АК им. Ильюшина О.В. Круглякова, начальник комплекса аэродинамики АК «ГСС» В.И. Шевяков, пилоты

ОАО «Аэрофлот» В.П. Усков и В.Н. Рисухин. Профессор, доктор технических наук В.Г. Ципенко является академиком Академии авиации и воздухоплавания, за высокие показатели в научно-педагогической и общественной деятельности он награжден нагрудными знаками «Отличник Аэрофлота», «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», «Заслуженный работник МГТУ ГА», «80 лет гражданской авиации России», а также различными медалями и грамотами от руководства гражданской авиации и ректората Университета.

С 2003 года начали активно проводиться научные исследования по расширению возможностей системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов на динамику вертолета с грузом на внешней подвеске, которые возглавил ученик В.Г. Ципенко доктор технических наук Вадим Викторович Ефимов.



В.В. Ефимов

Больших успехов в проведении научных исследований добилась научно-исследовательская лаборатория, заведующим которой был Александр Сергеевич Ковалевский, а научное сопровождение осуществлял видный ученый в области механики и сопротивления материалов заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор, доктор технических наук Владимир Степанович Стреляев. Он внес значительный вклад в методы расчета элементов конструкций машин, работающих в условиях усталости и длительной прочности. Им были разработаны и экспериментально обоснованы статистические методы расчета деталей из композиционных и полимерных материалов, разработана методика проектирования несущих сетчатых па-



В.С. Стреляев

нелей из композиционных материалов, используемые в космической технике. Его научная деятельность была тесно связана с промышленностью и ведущими КБ. Он автор четырех монографий и свыше 200 научных статей и десятков докладов на научно-технических конференциях. Им подготовлено три доктора наук – Н.А. Бородин, В.В. Никонов, В.С. Шапкин и 16 кандидатов наук. Он являлся членом ВАК и членом Президиума ВНТО машиностроения. Именно эта научная лаборатория по существу явилась своего рода «родиной» получившей в дальнейшем мировое признание научной школы Василия Сергеевича Шапкина.



В.С. Шапкин

Быстро становилась на ноги научная школа, родоначальником которой был тогда еще кандидат технических наук Василий Сергеевич Шапкин. Здесь успешно стали решаться проблемы не только летной эксплуатации, аэромеханики и прочности воздушных судов, но и поддержания их летной годности. Важное значение для гражданской авиации имеет разработанная в научной школе уже к тому времени заслуженного работника транспорта РФ, профессора, доктора технических наук В.С. Шапкина методика оценки летной годности экземпляров воздушных судов для продления их эксплуатации.

Успешно защитив докторскую диссертацию, Сергей Константинович Камзолов активно продолжал свои исследования. Результаты, полученные под его научным руководством на базе анализа последствий реального повреждения конструкции молнией всего парка самолетов Ту-154 Аэрофлота СССР, а также теоретических и лабораторных исследований с использованием специ-



С.К. Камзолов

ально созданной на кафедре высоковольтной разрядной установки, воспроизводящей основные параметры молнии, легли в основу Технических требований к эксплуатационной надежности и живучести элементов конструкции перспективных ВС ГА после поражения разрядом атмосферного электричества; дополнений и изменений Регламента и Технологических указаний по самолету ТУ-134; рекомендаций по уточнению Наставлений по производству полетов гражданской авиации; Регламента летной эксплуатации и Регламентов технического обслуживания самолетов. Такие научные успехи, достигнутые им и его научной группой, дали возможность говорить о научной школе С.К. Камзолова. Профессор, доктор технических наук С.К. Камзолов является автором и соавтором более 130 научных трудов (в том числе монографии и пяти изобретений), несколько его аспирантов успешно защитили кандидатские диссертации, был членом Совета по электромагнитной совместимости Миннауки РФ, членом подсекции «Электромагнитные поля атмосферы» IV секции РАН по комплексной проблеме «Научные основы электрофизики и электроэнергетики». В 2002 году был избран членом международной организации Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE), которая является основным разработчиком стандартов в области авиационно-космической техники.

Начиная с 1978 года автором настоящей статьи профессором, доктором физико-математических наук Анатолием Ивановичем Козловым формируется вторая научная школа радиотехнического профиля по направлению радиолокация и радиофизика. В эти же годы первые успешные шаги делает третья научная школа радиотехнического профиля по направлению радионавигация, формируемая профессором, доктором технических наук Виталием Дмитриевичем Рубцовым. Успехи этих научных школ проявлялись в результатах многочисленных научно-исследовательских работ, выполняемых по заказам Министерства гражданской авиации, Министерства радиопромышленности, Министерства геологии, ГосНИИ ГА, НЭЦ АУВД и ряда других организаций. Итоги научных исследований находили отражение в десятках научных статей, публикуемых в ведущих отечественных научных журналах, монографиях и учебниках, выступлениях на всесоюзных и отраслевых научных конференциях. Признание «радиотехнического авторитета» института находит свое отражение в решении Высшей аттестационной комиссии о создании в нем в 1983 году кандидатского диссертационного совета по трем специальностям радиотехнического профиля.

В 1983 году ректором института назначается тогда еще кандидат технических наук Владимир Георгиевич Воробьев, который продолжает курс на дальнейшее развитие и повышение эффективности научной деятельности в институте. Организация научной деятельности была возложена на меня как проректора по научной работе. Начальником научно-исследовательского сектора (НИС) назначается молодой кандидат технических наук Александр Валентинович Прохоров. В последующем основная часть организационной работы по переводу научной деятель-



А.В. Прохоров

ности института на хозрасчет и самофинансирование выпала на его долю, и даже несмотря на эту поистине титаническую нагрузку, А.В. Прохоров продолжал успешно проводить серьезные научные исследования по разработке методов оптимизации распределения ресурсов радиотехнических средств управления воздушным движением, завершившиеся защитой им докторской диссертации. А.В. Прохоров автор шести монографий и учебников, а также свыше 30 научных статей. Он был избран академиком Российской академии транспорта. Им подготовлено восемь кандидатов технических наук. Имеет звание «Заслуженный работник МГТУ ГА».

В институте в это время успешно функционировали три научно-исследовательские лаборатории, выполнявшие научную работу по трем главным научным направлениям, утвержденным специальным решением Ученого совета, а также студенческое конструкторское бюро (СКБ) под руководством профессора, доктора технических наук Германа Ивановича Страхова. Численность штатного состава НИС была около тридцати человек. В научной работе участвовало 30 % профессорско-преподавательского состава института. В эти годы происходит резкий рост научных исследований по направлениям радиотехнического профиля, существенно опережающий рост исследований по другим направлениям.

К концу 1980-х годов достижения ученых института в области радиотехники и радиофизики вышли далеко за пределы института и стали широко известны в научном кругу советских специалистов. Результаты десятков научно-исследовательских работ, выполняемых по заказу Министерства гражданской авиации и Министерства радиопромышленности, а также ведущих научно-исследовательских институтов страны, находили свое отражение в монографиях, многочисленных научных публикациях в ведущих научных журналах, а успешная защита доктор-



А.И. Козлов



А.И. Логвин

ских и кандидатских диссертаций убедительно свидетельствовала о формировании крупных научных школ, где в первую очередь выделялись научные школы профессора, доктора физико-математических наук А.И. Козлова, ставшая ведущей в стране в области радиополяриметрии, и профессора, доктора технических наук А.И. Логвина, успешно ведущая исследования в области обработки радиолокационных сигналов. Их совместные исследования привели к получившей в дальнейшем мировое признание научной школе А.И. Козлова – А.И. Логвина. Мировое признание получила решенная А.И. Козловым задача о радиолокационном контрасте, названная лучшим достижением в мире в области радиополяриметрии в 1977 году. Ему удалось в полном объеме решить задачу о разложении и синтезе радиолокационных целей. Заметный вклад внесен А.И. Козловым в разработку теории нелинейных радиолокационных целей и их поляризационных характеристик, впервые введено понятие матрицы рассеяния таких целей. Получено основное уравнение нелинейной радиолокации применительно к случаям непрерывного и им-

пульсного режимов работы. Совместно с профессором А.И. Логвиным разработаны теоретические основы определения электрофизических характеристик объектов при помощи одного импульса. Ими же была разработана теория визуализации и классификации радиолокационных целей путем использования введенной ими специальной сферы, получившей в мировой литературе название KLL-сферы (по первым буквам фамилий А.И. Козлова, А.И. Логвина и их голландского коллеги Л.П. Лихарта), давшей возможность осуществлять взаимно-однозначное соответствие между точками на KLL-сфере и физическим объектом наблюдения. Было разработано принципиально новое научное направление – радиополяриметрия микроволнового радиоизлучения. Большое практическое применение имеют задачи по определению микроволнового радиоизлучения и его поляризационных характеристик неоднородных слоистых сред, средами с внутренними структурами. Большое внимание уделено решению обратных задач и задач маскировки. Под руководством А.И. Козлова была разработана первая и единственная в СССР уникальная радиолокационная станция (РЛС) для обнаружения заглубленных нелинейных радиолокационных целей методами радиополяриметрии.

Широкую известность и высокий авторитет в стране к этому времени приобрела научная школа профессора, доктора технических наук В.Д. Рубцова, успешно занимавшаяся исследованиями в области негауссовских процессов и решением теоретических и прикладных задач радионавигации. О мировом признании научного авторитета В.Д. Рубцова и его научной школы свидетельствует избрание В.Д. Рубцова академиком Нью-Йоркской академии наук и включение его в издаваемый в Англии библиографический Перечень ведущих ученых мира.

Признанием авторитета ученых института в области радиотехнических наук явилось открытие в нем докторского диссертационного совета по трем специальностям. В Москве это был единственный (!) совет, имеющий право рассматривать докторские и кандидатские диссертации по специальности «Радиолокация и радионавигация». Всего в стране было только три совета, получивших такое право (в Москве, Ленинграде и Томске). Результаты научных достижений по радиотехническому направлению исследований научных школ А.И. Козлова, А.И. Логвина и В.Д. Рубцова воплотились в докторские диссертации ученых – Г.Н. Андреева, Г.К. Асланова, Р.Х. Вагапова, А.А. Генова, Ю.М. Демидова, А.Н. Зайцева, Ш.И. Касьмова, А.И. Кораблева, Э.А. Лутина, Е.Е. Нечаева, О.Е. Орлова, В.В. Соломенцева, Е.И. Компанцевой, В.А. Подзинского, А.В. Прохорова, В.Р. Русинова, П.М. Слепченко, В.И. Троицкого, В.С. Уварова, Т.А. Ходаковской и несколько позже Р.Н. Акиншина, Д.А. Затучного, Д.В. Колядова, А.В. Самохина, А.В. Старых, а также гражданина Вьетнама Дао Ти Тханя.

Поскольку организация работы по переводу научной деятельности в институте на новый хозяйственный механизм (хозрасчет) была возложена на А.И. Козлова и А.В. Прохорова, то к «выпускникам» упомянутых научных школ следует отнести также докторов экономических наук Е.В. Богачева и О.В. Репину.

Двадцать семь докторов и свыше девяноста кандидатов наук – отличный итог деятельности названных научных школ. Было издано только в центральных издательствах 22 монографии, а в ведущих научных журналах радиотехнического профиля «Радиотехника и электроника», «Радиотехника», «Журнал технической физики», «Proceedings of IEEE» – свыше 35 статей.

Среди всех книг особо следует выделить уникальную фундаментальную трехтомную монографию «Поляризация радиоволн» (Радиотехника, 2005–2008), написанную совместно А.И. Козловым, А.И. Логвиным и В.А. Сарычевым [3–5], и ее иностранное издание "Introduction to the Theory of Radiostems Polarimetric Navigation Systems" (Springer, 2020) [6], написанное теми же авторами. В 1990 году профессора А.И. Козлов и А.И. Логвин, а также два профессора одного из ведущих научно-исследовательских институтов страны – ВНИИ РА получают официальное приглашение принять участие в международной конференции по радиолокации в США. Это был первый случай, когда четверо советских ученых официально приняли участие

в таком форуме. На нем А.И. Козловым и А.И. Логвиным было сделано десять докладов, вызвавших неподдельный интерес. Большой интерес у участников конференций вызвала представленная в докладах новая математическая функция, выражаемая через сумму интегралов Бесселя в интервале $[-\pi/2, +\pi/2]$, которая удачно описывает вероятностные процессы в системах слежения за изменением поляризационных характеристик радиоволн. В дальнейшем эта функция вошла в практику радиополяриметрии и получила название KL-функции (по первым буквам фамилий А.И. Козлова и А.И. Логвина). В эти же дни профессора А.И. Козлов и А.И. Логвин были приглашены на научно-техническую конференцию в ракетный центр в г. Хансвилл (NASA Visitor Center US Space and Rocket Center, Alabama), где ими было сделано пять научных докладов. Следует обратить внимание, что это был первый случай, когда советские граждане посетили данный центр. На этой конференции профессор Лихгарт, директор одного из институтов ведущего вуза Нидерландов – Делфтского технологического университета (университет входит в первую сотню ведущих университетов мира) предложил проведение совместной с нашим институтом научно-исследовательской работы. Договор между университетами был заключен в 1992 году и продолжался до 2008 года. Его основное направление состояло в решении задач, связанных с разработкой моделей и алгоритмов дистанционного поверхностного и подповерхностного радиозондирования, основанного на принципах радиополяриметрии.

К выполнению работ привлекались кроме А.И. Козлова и А.И. Логвина как ведущие ученые Университета профессора В.Г. Воробьев, А.В. Прохоров, Э.А. Лутин, так и молодые специалисты, аспиранты и студенты, среди них ставшие впоследствии докторами наук Г.А. Андреев, А.И. Кораблев, Д.В. Колядов, А.В. Старых и др. Результаты работы нашли отражение более чем в 30 томах отчетов (объем каждого тома составлял от 50 до 100 страниц текста) по выполняемой работе и совместной монографии А.И. Козлова, А.И. Логвина и Л. Лихгарта "Mathematical and Physical Modeling of Microwave Scattering and Polarimetric Remote Sensing" [7], первой в истории Университета книги, изданной за рубежом. Здесь следует отметить, что у «выпускника» научной школы А.И. Козлова – А.И. Логвина, ныне доктора технических наук Д.А. Затучного в рамках авторских коллективов с его участием за рубежом в 2020–2021 годах вышло девять (!) монографий, в эти же годы в отечественных издательствах вышло, кроме того, еще три монографии. Он автор свыше 140 научных статей, шести свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и одного патента на изобретение.

Успешный дебют на Международном конгрессе в США, в Далласе в 1990 году, а также новые многочисленные публикации в отечественных и зарубежных журналах способствовали росту авторитета Университета. Ученые Университета регулярно стали получать приглашения и выступать на различных международных конгрессах, симпозиумах и конференциях, многие вузы из разных стран стали искать контакты с нашим Университетом. Вот перечень стран, где ученые Университета выступали с научными докладами и сообщениями: Европа – Польша, Норвегия, Дания, Бельгия, Нидерланды, Франция, Англия, Германия, Швейцария, Италия; Азия – Китай, Тайвань, Гонконг, Сингапур, Южная Корея, Япония, Таиланд; Америка – США, Мексика, Колумбия, Перу, Бразилия; Африка – ЮАР, Марокко; Австралия. На этих конференциях было сделано в общей сложности почти 150 научных докладов и сообщений, основными авторами которых были А.И. Козлов и А.И. Логвин, а также В.Г. Воробьев, Д.В. Колядов, Э.А. Лутин, А.В. Прохоров, А.В. Старых.

Научные заслуги ученых названных научных школ были отмечены на самом высоком уровне. Указами Президента РФ звания заслуженных деятелей науки и техники РФ присвоены В.Г. Воробьеву, А.И. Козлову и А.И. Логвину, а звание почетного работника науки и техники – В.Д. Рубцову, который имеет также почетное звание «Изобретатель СССР». За успехи в научной деятельности А.И. Козлов был награжден орденом «Дружбы» и отраслевыми наградами – медалью Ю.А. Гагарина и медалью А.А. Пистолькорса, а также знаком «Отлич-

ник Аэрофлота». А.И. Козлов и А.И. Логвин имеют почетное звание «Заслуженный работник Университета».

Говоря о научных достижениях ученых Университета, следует особо выделить научные успехи одного из самых блестящих ученых Университета Виталия Дмитриевича Рубцова, внесшего весьма заметный вклад в формирование научного авторитета Университета. Вот краткий перечень его научных достижений – основные направления его научных исследований: радионавигация, теоретическая радиотехника, радиофизика и акустика. В.Д. Рубцовым



В.Д. Рубцов

разработана теория негауссовых помех, широко опубликованная в отечественных и зарубежных научных статьях, дающая возможность при использовании ее результатов существенно повысить точность определения параметров сигнала. Им совместно с профессором А.Г. Иноземцевым сделано защищенное семью авторскими свидетельствами изобретение, послужившее основой разработки теории волновых антенн для приема акустических и сейсмических волн. Использование регистрирующих устройств на основе волновых антенн дает возможность успешно решать такие задачи, как обнаружение приближения «сдвига ветра» к аэродромной зоне; контроль уровня турбулентности атмосферы на взлетно-посадочной полосе (ВПП); предупреждение метеослужб приморских аэропортов о приближении «океанических бурь»; регистрация повышения сейсмической активности вблизи аэропортов; обнаружение ледовых подвижек в зоне ледовой ВПП; регистрация на подводной лодке шумов, создаваемых проходящими вблизи них морскими судами и др. Изобретение получило положительную оценку специальным решением Президиума Академии наук СССР в 1977 году. В.Д. Рубцовым в 1985 году была подана заявка на изобретение способа регистрации гравитационных волн путем обнаружения продукта их взаимодействия с радиоизлучением космических мазеров, излучающих высокостабильные по частоте радиоволны в дециметровом диапазоне волн. Способ был признан новым и перспективным, однако заявка была отклонена по причине того, что на момент ее подачи (1985 год) факта о достоверности наличия гравитационных волн не было, их существование было признано после 2000 года. Несколько лет назад гравитационные волны, возникшие при слиянии двух «черных дыр», были обнаружены и, судя по публикациям, именно предложенным В.Д. Рубцовым способом. Возможно если бы заявка В.Д. Рубцова не была отклонена в 1985 году, то и он был бы в числе ученых, которым за открытие таких волн была присуждена Нобелевская премия. В.Д. Рубцовым разработан метод, обеспечивающий практически полное устранение погрешностей навигационных определений подвижных объектов с использованием фазовых радионавигационных станций при перемещении объектов в ограниченной зоне путем компенсации ошибок, вызванных ионосфер-

ными возмущениями, на основе учета данных предыдущих навигационных определений. В.Д. Рубцовым опубликовано свыше 300 научных работ, в том числе три монографии, 26 научных статей в отечественных и зарубежных академических изданиях («Радиотехника и электроника» (РАН), "PHYSICS OF VIBRATIONS", "PHYSICS OF WAVE PHENOMENA" (Allerton Press, Inc., New York)) и 16 научных статей в других центральных изданиях, получено 12 авторских свидетельств на изобретения. Под его руководством защищено 9 докторских и 40 кандидатских диссертаций.

Заметный вклад в формирование «радиотехнического» научного лица Университета внес профессор, доктор технических наук Виктор Владимирович Соломенцев, исследования и работы которого были направлены на повышение эффективности использования радиолокационных систем дистанционного зондирования (РСДЗ) в сложных географических районах. Им проведе-



В.В. Соломенцев

на классификация задач радиолокационного дистанционного зондирования с точки зрения использования информации, получаемой при зондировании, сформулированы показатели делимости классов сигналов радиозондирования и обоснованы возможности их использования для повышения эффективности радиолокационных систем дистанционного зондирования, разработаны методы обеспечения и повышения эффективности координатной привязки РСДЗ в сложных географических районах. Он автор семи монографий и учебников и свыше 100 научных статей. Им подготовлено пять кандидатов наук. Академик Российской академии транспорта. Отличник воздушного транспорта.

Сегодня основным научным направлением радиотехнического профиля становятся исследования, проводимые под руководством заведующего кафедрой технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта Э.А. Болелова. В этом развиваемом им научном направлении есть все, что создавалось его научными предшественниками. Здесь и очень сложная цифровая обработка сигналов, и решение навигационных задач, и использование методов радиополяриметрии для решения радиолокационных задач, и решения очень сложных задач дистанционного определения состояния атмосферы. Исследования направлены на построение различных прогнозов и запретов на полеты. Уже есть первые успехи, к которым можно отнести блестящую защиту докторской диссертации, защиту кандидатской диссертации его аспирантки, выход в свет за рубежом монографии, издание четырех учебников и большого числа научных статей – все это убедительно свидетельствует, что достижения научной школы доктора технических наук Эдуарда Анатольевича Болелова будут скоро известны широкому кругу отечественных и зарубежных специалистов.



Э.А. Болелов

Уверенные шаги делает научная школа профессора, доктора технических наук Евгения Евгеньевича Нечаева, успешно проводящая и развивающая три научных направления, имеющих большое практическое значение как для гражданской авиации, так и для обороны страны. К первому из них относятся исследования проблем, связанных с особенностями эксплуатации антенной техники – «всевидящего глаза» всего без исключения и наземного, и бортового радиотехнического оборудования. Второе научное направление напрямую связано с совершенствованием управления воздушным движением и организацией его навигационного обеспечения. Оно включает в себя вопросы и проблемы инженерно-технического обеспечения безопасности на воздушном транспорте, инновационного развития глобальной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС для управления воздушным движением, разработки и внедрения специализированных тренажёров и оборудования для учебных и научных исследований. Третье научное направление напрямую связано с применениями технологий дополненной (комбинированной) реальности в гражданской авиации. «Изюминку» составляет контур технических средств виртуальной реальности, дающий возможность



Е.Е. Нечаев

диспетчеру, находящемуся в произвольной точке мира, с помощью шлема виртуальной реальности оказываться в любой точке удаленно обслуживаемого аэродрома и иметь возможность видеть виртуальную модель с виртуальными воздушными судами. Е.Е. Нечаев член двух докторских диссертационных советов, автор свыше 200 научных трудов, а также 55 ав-

торских свидетельств и патентов. Состоит в редакционных советах четырех рецензируемых научных журналов, входящих в перечень ВАК. Им подготовлено два доктора наук – О.А. Горбачев и О.Н. Скрыпник, а также четыре кандидата наук. Заслуги Е.Е. Нечаева отмечены высшей государственной отраслевой наградой «Заслуженный работник транспорта РФ». Он награжден нагрудными знаками «Изобретатель СССР», «Отличник воздушного транспорта», лауреат премии имени Г.Н. Пирогова.

О серьезных успехах в научных исследованиях по направлению социально-гуманитарного профиля можно было говорить уже с конца 1980-х – начала 1990-х годов, первыми лидерами в которых были профессора, доктора философских наук Г.Г. Лукава и К.Н. Панферов, избранные депутатами Государственной Думы первого созыва. При этом честь открытия Первой Думы была предоставлена профессору, доктору философских наук Георгию Георгиевичу Лукаве. Направление его научных исследований – это методологический анализ военной теории, а также диалекта теории и практики военного искусства. В работах Г.Г. Лукавы осуществлен комплексный философско-методологический анализ военной теории. Основное внимание в последних работах Г.Г. Лукавы направлено на выявление философских оснований государственного патриотизма и гуманизации общества, а также определении его места в новых социально-этических категориях и принципах. Он член Международной академии наук информатизации, информационных процессов и технологий.



Г.Г. Лукава



К.Н. Панферов

Профессор, доктор философских наук Константин Николаевич Панферов – автор более 400 опубликованных работ по проблемам экономики, культуры, социальной философии. Заслуженный работник культуры РФ. Удостоен государственных наград СССР, среди которых медаль «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.». Особой популярностью пользуется книга К.Н. Панферова «Экономическая культура (социально-философский анализ)» (2000), которая как широко используется в учебном процессе, так и служит основанием для серьезных профессиональных дискуссий.

В эти же годы начинает формироваться и добивается первых серьезных успехов, далеко выходящих за пределы Университета, научная школа доктора философских наук Ольги Денисовны Гараниной, блестяще защитившей докторскую диссертацию на философском факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Именно этот успех оказался, в конечном счете, решающим фактором, послужившим основанием для открытия в аспирантуре подготовки специалистов по трем научным специальностям: 07.00.10 – История науки и техники, 09.00.08 – Философия науки и техники, 22.00.08 – Социология управления. Это дало основание ВАК для создания в Университете нескольких разовых диссертационных советов. Успехи науч-



О.Д. Гаранина

ной школы О.Д. Гараниной «Философские проблемы науки и техники» нашли свое отражение в выполненных под ее руководством докторской диссертации Т.В. Наумовой и восьми кандидатских диссертациях. О.Д. Гаранина – автор шести монографий и 220 научных статей. Об общероссийском признании ее научного авторитета свидетельствует факт избрания академиком Международной академии информатизации и Российской академии естествознания и факт участия ее в редакционных коллегиях журналов, входящих в перечень ВАК, – «Научный Вестник МГТУ ГА», «Гуманитарный научный вестник» и «Инновации в гражданской авиации» (в статусе зам. гл. редактора). О.Д. Гаранина – почетный работник науки и техники РФ. Министерство транспорта РФ наградило ее медалью Августина Бетанкура. Она почетный работник МГТУ ГА.

Широкую известность в стране имеет научная школа профессора, доктора философских наук Сергея Ивановича Некрасова, исследующая философские проблемы, связанные как с классической философией – проблемы философии науки и техники, философской антропологии, так и с философскими проблемами науки и техники, такими как информатика и вычислительная техника, техническая эксплуатация и информационная безопасность. С.И. Некрасов – автор 27 монографий и 47 учебников и учебных пособий, а также свыше 400 научных статей. Им подготовлен доктор наук и 16 кандидатов наук, шесть его монографий были представлены на книжных выставках России, Германии, Франции и Италии.



С.И. Некрасов

Такое редкое событие, как открытие в философских науках, принадлежит профессору, доктору философских наук Андрею Викторовичу Панибратцеву, который впервые ввел в научный оборот переводы философских курсов Московской славяно-греко-латинской академии и философских курсов академика Г.Б. Бильфингера. Член-корреспондент РАЕН А.В. Панибратцев – автор трех монографий и более 40 научных статей.



А.В. Панибратцев

Кафедра гуманитарных и социально-политических наук – это, помимо кафедры иностранных наук, единственная кафедра Университета, на которой проходят обучение все без исключения аспиранты. Это предъявляет особые требования к научной и профессиональной эрудиции преподавателей кафедры. И с этой задачей кафедра под руководством своих заведующих Любови Ильиничны Карповой до 2011 года и позднее Ирины Александровны Ламбаевой успешно справляется. Научные интересы преподавателей кафедры объединены инициативными



Л.И. Карпова



И.А. Ламбаева

научно-исследовательскими работами по темам «Информационно-культурная среда как фактор формирования инноваций в гражданской авиации» и «Наука, техника и образование: история, философия, методология», в рамках которых проводятся исследования по историографии, военной истории, истории авиации, социальной экологии, философии науки и техники. Итоги исследовательской работы кафедры опубликованы в монографиях, рецензируемых научных журналах, представлены на международных и российских научно-практических конференциях.

С 2013 года было подготовлено и издано 15 монографий. Средний показатель публикационной активности кафедры – 33 статьи в год. Ежегодно коллектив кафедры организует и проводит научные конференции и семинары, в том числе межвузовские научные конференции аспирантов «Человек. Наука. Техника», по итогам которых издаются сборники материалов, размещаемые в базе РИНЦ. Под научным руководством преподавателей кафедры были подготовлены один доктор и 18 кандидатов наук.

Объективным свидетельством признания в стране научного авторитета Университета является тот факт, что начиная с 1988 года и по настоящее время ученые нашего Университета постоянно входили в состав различных экспертных советов Высшей аттестационной комиссии – В.В. Воробьев (в статусе зам. председателя экспертного совета), С.К. Камзолов (в статусе ученого секретаря экспертного совета), А.И. Козлов (в статусе зам. председателя экспертного совета), В.Г. Воробьев, Л.Н. Елисов, Б.В. Зубков, В.Л. Кузнецов, А.И. Логвин, В.М. Самойленко, В.Г. Ципенко, Ю.М. Чинючин (в статусе членов экспертных советов).

Вторым фактом такого признания следует считать функционирование в Университете с середины 1980-х годов четырех постоянно действующих докторских диссертационных советов: по трем специальностям эксплуатационного профиля (председатель совета В.Г. Воробьев), по трем специальностям радиотехнического профиля (председатель совета А.И. Козлов), по двум специальностям экономического профиля (председатель совета В.Г. Воробьев). Несколько раз в Университете образовывались разовые докторские и кандидатские диссертационные советы по социально-экономическим наукам. Длительное время функционировал кандидатский диссертационный совет по специальностям информационно-вычислительного направления (председатель совета В.И. Васильев). Следует особо подчеркнуть, что за все годы существования диссертационных советов не было ни одного случая отклонения решений советов по присуждению ученых степеней. Основной контингент соискателей составляли выпускники аспирантуры и сотрудники нашего вуза, а также вузов, различных служб и предприятий гражданской авиации. Значительный процент приходился на аспирантов и работников столичных вузов МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МЭИ, МИРЭА. Заседания советов первых двух направлений проходили практически ежемесячно, на них, как правило, рассматривалось по две, реже по одной, диссертационных работы.

Исторически сложилось так, что с 1 января 1988 года Московский институт инженеров гражданской авиации и Николаевский кораблестроительный институт в своей научной деятельности в соответствии с решением Правительства первыми в стране перешли на полный хозрасчет и самофинансирование. Работу по исполнению этого решения возглавил ректор института Владимир Георгиевич Воробьев, а непосредственная организационная работа, связанная с этим, была возложена на меня как проректора по научной работе и на начальника Научно-исследовательского сектора, тогда еще кандидата технических наук, а ныне доктора технических наук Александра Валентиновича Прохорова. К этой работе были привлечены принявшие самое активное участие в ее исполнении молодые кандидаты, а в последующем доктора экономических наук Евгений Николаевич Богачев, Ольга Валентиновна Репина и Александр Абрамович Фридлянд, кандидат технических наук Анатолий Сергеевич Чичерин, а также Татьяна Александровна Шаглей, в будущем ставшая кандидатом технических наук. С болью могу сказать, что на сегодня уже ушли из жизни Евгений Богачев и Татьяна Шаглей. Полную поддержку и помощь мы получили со стороны работников Министерства гражданской авиации, в первую очередь начальника Главного технического управления Вячеслава Евстафьевича Тригоны, а также начальника Управления учебными заведениями Виктора Антоновича Пархимовича и работников возглавляемых ими управлений – Натальи Павловны Чижовой, Владимира Михайловича Ашихмина, Владимира Николаевича Буробина. Уже первые результаты такого перехода произвели ошеломляющее впечатление. За несколько лет число выполняемых договоров на проведение научных исследований уве-

личилось в 15 раз, превысив число 400. В активную научную работу, наряду со штатными научными сотрудниками, включился почти весь профессорско-преподавательский состав, почти все очные аспиранты и большая группа студентов. Число научно-исследовательских лабораторий возросло до 18, число штатных работников научно-исследовательского сектора составило 178, а совместителей – 462 человека. На 1.01.94 объем выполняемых НИОКР в долларовом выражении превзошел величину в 1 миллион. В отдельные годы объем выполняемых хоздоговорных научных работ превосходил аналогичные показатели таких вузов-гигантов, как МВТУ им. Баумана, МАИ, МЭИ, МИРЭА.

Институт стал общепризнанным в стране лидером внедрения новых форм хозяйствования в научную работу, а разработанные им нормативные документы по вузовскому хозрасчету были использованы более чем в 200 вузах страны. Среди выполненных вузом работ десятки имели международное и отечественное признание. Результаты научных работ с успехом экспонировались на различных, в том числе международных, научно-технических выставках.

В соответствии с постановлением Госкомтруда СССР и ГКНТ от 1.11.90 наш институт в составе других 14 научных организаций страны был включен во Всесоюзный эксперимент по внедрению контрактной системы оплаты труда работников научной сферы. Было принято решение оставлять в руках исполнителей в виде выплат до 50–70 % от объема выполняемых НИР. Внутри института был осуществлен переход на налоговую систему с предоставлением полной хозяйственной самостоятельности научным лабораториям. Из прибыли от научных работ стали формироваться общеинститутские фонды, давшие возможность решать ряд социальных задач и содействовать развитию материально-технической базы института. Именно на эти средства была приобретена для научных исследований весьма дорогостоящая аэродинамическая труба.

Непосредственный опыт разработки и внедрения нового хозяйственного механизма в научную деятельность высших учебных заведений позволил Ольге Валентиновне Репиной



О.В. Репина

обобщить полученные результаты и, опираясь на эти обобщения, успешно защитить докторскую диссертацию, посвященную разработке теоретических основ и прикладных методов синтеза экономического механизма вуза. Это послужило основанием для формирования получившей в дальнейшем высокий научный авторитет научной школы О.В. Репиной, первой в гражданской авиации женщины, получившей степень доктора экономических наук. Фактически ею были заложены основы так называемой статистической экономики применительно к бюджетным организациям, проводящим в качестве второй основной хозрасчетную

деятельность, на примере государственного высшего учебного заведения. Результаты ее работ были использованы более чем в 400 таких организациях. Ее научный авторитет был в это время столь заметен, что она неоднократно официально участвовала с российской стороны в ряде международных совещаний, в частности с Финляндией и Германией, а также в работе семинара Всемирного банка по транспортному проектированию. Авторитет О.В. Репиной подтверждался тем, что она входила в состав трех докторских диссертационных советов при МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИ ВО и МГТУ ГА (в статусе ученого секретаря). Она автор шести монографий, более чем 150 научных статей. Член редколлегии «Бюллетеня транспортной информации РФ». Под научным руководством О.В. Репиной были успешно защищены две докторские (Е.Ю. Захарова и А.Н. Мелетиев) и 33 кандидатские диссертации. О.В. Репина – заслуженный работник высшего профессионального образования РФ, отличник воздушного транспорта, академик Российской академии транспорта и член-корреспондент Международной академии информатизации. Заслуженный работник МГТУ ГА и лауреат премии МГТУ ГА.

Разработке методологии и методов управления высшим учебным заведением в условиях становления рыночных отношений была посвящена докторская диссертация Евгения Николаевича Богачева.

Заметную роль в обосновании и становлении хозрасчетных отношений в научной деятельности нашего вуза играл профессор, доктор экономических наук заведующий кафедрой экономики Евгений Георгиевич Пинаев, под руководством которого был выполнен комплекс исследований, заложивших научно-методологические основы рыночного реформирования гражданской авиации России как на отраслевом уровне, так и на отдельных отраслевых предприятиях. Под научным руководством Е.Г. Пинаева его учениками были успешно защищены несколько докторских и свыше 20 кандидатских диссертаций.

Одним из непосредственных разработчиков документов, касающихся перевода научной деятельности на хозрасчет, был ученик профессора Е.Г. Пинаева профессор, доктор экономиче-



А.А. Фридлянд

ских наук Александр Абрамович Фридлянд. Ныне один из ведущих специалистов отрасли по вопросам совершенствования системы государственного регулирования на воздушном транспорте, управления и стимулирования развития авиапредприятий и аэропортов и экономического обоснования процессов реформирования в гражданской авиации России. Под научным руководством А.А. Фридлянда выполнены десятки научных исследований и консалтинговых проектов в интересах предприятий воздушного транспорта, результаты которых успешно внедрены в отраслевые методические разработки. Им подготовлено 20 кандидатов наук.

Начавшийся в стране стихийный процесс создания кооперативов, совместных малых предприятий и др. с более высоким уровнем зарплаты, чем на государственных предприятиях, повлек за собой отток как научных кадров, так и спроса на научные исследования. В силу, на мой взгляд, грубейших ошибок со стороны лиц в органах власти в гражданской авиации, по видимому недооценивающих роли и значимости научных исследований, неожиданно в середине 1995 года было принято беспрецедентное решение о прекращении заказов на научно-исследовательские работы, проводимые в подведомственных им вузах гражданской авиации. Итог: 140 человек одним росчерком пера остались без работы, без зарплаты. Благодаря усилиям ректора Университета В.Г. Воробьева и руководителей научной деятельности в Университете, полностью удалось решить возникшие вопросы трудоустройства людей. После такой резекции научных работ удалось обеспечить поддержание и развитие научной деятельности, однако не в тех воистину гигантских масштабах. Показатели стали существенно скромнее. Отсутствие спроса на диссертационные советы привело к закрытию трех из четырех таких советов.

С середины 1980-х годов начали заметно развиваться научные взаимосвязи с вузами гражданской авиации – Ордена Ленина Академией гражданской авиации (ОЛАГА) в г. Ленинграде, с Киевским и Рижским институтами инженеров гражданской авиации (КИИГА и РКИИГА). Совместные научно-исследовательские работы, статьи, учебники и монографии, совместные научно-технические конференции стали обычным атрибутом взаимодействия вузов. В диссертационные советы каждого из них входили ученые из других вузов. Такой научной кооперации способствовала активная позиция в этом вопросе ректоров – Александра Федотовича Аксенова, Владимира Георгиевича Воробьева, Георгия Алексеевича Крыжановского и Владимира Анатольевича Ходаковского. Это взаимодействие активно поддерживали руководители ряда Управлений Министерства гражданской авиации – Юрий Петрович Дарымов, Вячеслав Евстафьевич Тригоны, Виктор Антонович Пархимович.

В конце 1980-х и начале 1990-х годов в период, вошедший в историю как период перестройки (в ее еще положительной фазе), стремительно проходил поиск новых форм взаимодействия между Министерствами, организациями и научными коллективами. Появляется первая в стране общественно-научная Инженерная академия. Именно тогда ректоры вузов ГА – В.Г. Воробьев, Г.А. Крыжановский, В.А. Ходаковский и автор этой статьи А.И. Козлов в ранге проректора по научной работе выдвигают идею объединить ученых транспортных отраслей прежде всего с целью выявления и формулировки задач, стоящих перед отраслью, проведения оценки эффективности (по различным критериям) использования решений этих задач в транспортной отрасли с последующей передачей таких научно обоснованных решений в соответствующие государственные и правительственные органы. Эта идея сразу же получила поддержку со стороны ученых железнодорожного, автомобильного и морского транспорта. Устав Академии прошел согласование во всех инстанциях и 26 июня 1991 года был утвержден в Министерстве юстиции.

В последующем академиками и член-корреспондентами Академии транспорта были избраны: В.И. Васильев, В.Г. Воробьев, А.И. Козлов, В.И. Кривенцев, А.А. Кузнецов, А.И. Логвин, Е.Г. Пинаев, А.В. Прохоров, О.В. Репина, В.Д. Рубцов, Р.В. Сакач, Н.Н. Смирнов, В.С. Уваров, В.Г. Ципенко. Первым президентом Российской академии транспорта был избран Г.А. Крыжановский, а вице-президентом – А.И. Козлов.

Сегодня Российская академия транспорта представляет собой общероссийскую общественную организацию, объединяющую ученых, специалистов и руководителей на основе общности интересов и активного участия в разработке, совершенствовании и реализации приоритетных решений в области развития единой транспортной системы РФ, а также всего комплекса наук о транспорте. В ее состав входят 11 региональных отделений в России от Владивостока до Калининграда, она насчитывает 660 действительных членов. В число действительных членов Академии входит 41 иностранный ученый из 16 стран, в том числе из Германии, Швеции, Нидерландов, Финляндии и др.

Оценивая со своей позиции ситуацию сегодняшнего дня, могу констатировать, что курс, который сегодня четко проводит под руководством ректора Университета Б.П. Елисеева проректор по научной работе и инновациям В.В. Воробьев, уже начал приносить первые серьезные научные успехи даже в тех непростых условиях, в которых оказалась вузовская наука.

Здесь прежде всего отметим имеющую высокий авторитет в России научную школу ректора Университета профессора, доктора юридических наук Бориса Петровича Елисеева в области государственного управления, административного и муниципального права в сочетании с



Б.П. Елисеев

проблемами высшего образования и путями их решения. Б.П. Елисеев – автор десяти монографий, среди которых большой популярностью среди работников высшего образования пользуется книга «Современный университет в пространстве противоречий: проблемы и пути их решения» [8]. Следует обратить внимание, что в 2020 году одним из ведущих мировых издательств Springer опубликована монография коллектива авторов, среди которых был Б.П. Елисеев. Он автор свыше 100 научных статей. О значимости научных трудов Б.П. Елисеева свидетельствует тот факт, что он среди ученых Университета имеет самый высокий индекс Хирша, равный 14. Им было подготовлено 17 кандидатов юридических, социологических и технических наук. Б.П. Елисеев – академик Российской академии естественных наук, почетный профессор Технологического университета Нинбо (КНР). Он награжден орденом Дружбы, орденом Почета. Указами Президента РФ Б.П. Елисееву были присвоены звания «Заслуженный юрист РФ» и «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Большую значимость для развития научной деятельности имел приход в Университет после 2010 года большой группы молодых по сравнению с теми, чьи научные школы определяли научное лицо Университета, ученых, прежде всего из знаменитой Жуковки. Среди них доктора технических наук В.В. Воробьев, А.О. Давидов, М.А. Киселев, О.Ю. Кокурина, А.А. Комов, В.Н. Котовский, А.А. Кулешов, А.М. Лукацкий, Ю.В. Петров, В.М. Самойленко, А.И. Сухоруков, С.П. Халютин.

В эти же годы руководство научной деятельностью в Университете возлагается сначала на профессора, доктора технических наук Е.Е. Нечаева, а затем на профессора, доктора технических наук В.В. Воробьева.

Профессор, доктор технических наук Вадим Вадимович Воробьев является научным руководителем широко известной среди специалистов как по гражданской, так и по военной авиационной технике научной школы «Безопасность полетов», проводящей широкий круг научных исследований в области разработки алгоритмического сопровождения активных систем обеспечения безопасности полетов. Под его научным руководством успешно защитили

докторскую диссертацию В.Д. Шаров, а четыре человека – кандидатские работы. В.В. Воробьев является автором четырех монографий и двух учебников, а также более 70 научных статей. Две монографии, в авторские коллективы которых он входит, изданы в одном из ведущих мировых издательств Springer. Следует особо отметить, что на возглавляемой им кафедре безопасности полетов и жизнедеятельности за последние годы ее сотрудни-



В.В. Воробьев

ками были успешно защищены четыре докторских (Т.В. Наумова, Н.И. Николайкин, О.Г. Феоктистова, В.Д. Шаров) и несколько кандидатских диссертаций. В.В. Воробьев является член-корреспондентом Академии естественных наук РФ и советником Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Признанием научного авторитета В.В. Воробьева служит тот факт, что он является заместителем председателя экспертного совета ВАК. В.В. Воробьев имеет правительственные награды СССР и РФ.

Выше я обращал внимание на то, что научная деятельность в Университете происходит в очень непростых условиях. Основная причина таких «непростых» условий – это практически, на мой взгляд, полное отсутствие заинтересованности в развитии научной деятельности в Университете и в ее поддержке, прежде всего финансовой, со стороны государственных органов, в ведении которых находится наш Университет, который объективно не может создавать мощные научно-производственные базы, способные производить серьезные, пусть даже опытные, технические образцы, тем более для такой отрасли, как гражданская авиация, как это могут делать вузы-гиганты типа МГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МЭИ и др., где значительная часть проводимых научных исследований финансируется за счет средств Министерства, ведающего этими вузами. В то же время Университет обладает мощнейшим научным потенциалом, существенно превосходящим все организации, НИИ, вузы и службы, входящие в систему гражданской авиации России.

Здесь следует обратить внимание на следующий крайне важный момент. Наука «Техническая эксплуатация авиационной техники и ее эксплуатационная технологичность» не может появиться и развиваться вне отрасли, каковой является гражданская авиация. Здесь и только здесь происходит фактическая ежедневная и ежечасная проверка работы всего без исключения оборудования, всех функциональных систем, обеспечивающих полет воздушных судов, всего наземного оборудования. От успеха таких «проверок» зависит жизнь миллионов людей. Обобщение сведений о всевозможных отказах и сбоях, выявление причин и разработка соответствующих рекомендаций как разработчикам, так и эксплуатантам авиационной техники – вот основная задача науки, именно науки, которая объективно стоит перед государственным органом, ведающим организацией гражданской авиации. Отрасль обладает воистину гигантским науч-

ным потенциалом, которому под силу как выявлять отраслевые научные проблемы, так и решать их. В Советском Союзе вузы гражданской авиации регулярно получали со стороны Министерства гражданской авиации большие заказы на решение не только прикладных задач, но и на проведение фундаментальных исследований эксплуатационной направленности. Хочу подчеркнуть, что это не проблема авиакомпаний, а важнейшая задача государства. С другой стороны, вуз без науки – это классическая средняя школа только с набором более сложных предметов, где учатся в 12, 13, 14 и т. д. классах. Чтобы писать учебники для вузов, надо знать все появляющиеся новинки, а этого можно добиться только через проведение научных исследований, а не из заметок в газете. Наука в вузе – это подготовка студентов не только к сегодняшней, но и, самое главное, к будущей авиационной технике.

Тем не менее можно утверждать, что несмотря на объективно существующие проблемы и трудности, научная работа в Университете дает свои плоды. Диссертационный совет практически перешел на ежемесячные заседания, на которых рассматриваются 1–2 диссертации. За последние 12 лет работниками Университета было защищено 11 докторских и около 40 кандидатских диссертаций. При этом только за последние 5 лет докторами наук стали Э.А. Болелов, Л.Г. Большедворская, А.С. Борзова, В.В. Ефимов, Д.А. Затучный, Т.В. Наумова, В.Д. Шаров.

Научный Вестник Университета включен в известный перечень ВАК, определяющий научные журналы, где можно печатать материалы докторских и кандидатских диссертаций. Журнал вышел на мировой рынок спроса под названием "Civil Aviation High Technologies".

В 2020 году в одном из ведущих мировых издательств Springer вышло три монографии, написанных учеными Университета (Б.П. Елисеев, Д.А. Затучный, А.И. Козлов, А.И. Логвин, Н.И. Романчева), в 2021 году планируется выход в свет еще девяти монографий (И.В. Автин, Э.А. Болелов, В.В. Воробьев, Д.А. Затучный, А.И. Козлов, Н.И. Романчева, В.Д. Шаров, Ю.Г. Шатраков). Эти книги распространяются в 191 стране мира.

**НАУЧНОЕ БУДУЩЕЕ УНИВЕРСИТЕТА
ДОКТОРА НАУК, ЗАЩИТИВШИЕ ДИССЕРТАЦИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 12 ЛЕТ**



Р.Н. Акиншин
Научный
консультант
А.И. Козлов



Э.А. Болелов
Научный
консультант
М.Б. Фридзон



Л.Г. Большедворская
Научный
консультант
В.М. Рухлинский



А.С. Борзова
Научный
консультант
Ю.М. Чинючин



В.В. Ефимов
Научный
консультант
В.Г. Ципенко



Д.А. Затучный
Научный
консультант
А.И. Козлов



Д.В. Колядов
Научный
консультант
А.И. Козлов



Н.И. Николайкин
Научный
консультант
Е.Ю. Барзилович



Т.В. Наумова
Научный
консультант
О.Д. Гаранина



О.Г. Феоктистова
Научный
консультант
Ю.Н. Макин



В.Д. Шаров
Научный
консультант
В.В. Воробьев

Отрадно отметить, что у каждого из этих ученых уже есть то, что свидетельствует об их научном авторитете и признании. Р.Н. Акиншин, Д.А. Затучный, Н.И. Николайкин, О.Г. Феоктистова являются академиками и член-корреспондентами ряда общественно-научных академий. В.Д. Шаров – член Российского общества исследователей авиационных происшествий (ОРАП). Комиссия РССП по оборонно-промышленному комплексу официально выразила благодарность Э.А. Болелову и Д.А. Затучному за предложения по вопросам развития авиационной отрасли, касающиеся внедрения навигационной системы, опирающейся на комплексирование спутниковой радионавигационной системы с инерциальной навигационной системой. Р.Н. Акиншин в 2020 году стал лауреатом премии Правительства Москвы молодым ученым. Л.Г. Большедворская в 2019–2021 годах выиграла грант РФФИ. В 2020 и 2021 годах у Р.Н. Акиншина, Э.А. Болелова и Д.А. Затучного за рубежом в общей сложности было издано десять монографий.

Заканчивая статью, хочу обратить внимание, что оценки деятельности ученых, безусловно, носят мой субъективный характер, что же касается фактических материалов, то они представлены мной с опорой исключительно на реальные данные и факты.

Выражаю искреннюю благодарность профессорам О.Д. Гараниной, С.К. Камзолу, С.В. Кузнецову, И.А. Ламбаевой, А.И. Логвину, О.Ф. Машошину, Е.Е. Нечаеву, А.В. Прохорову, О.В. Репиной, В.Д. Рубцову, Ю.М. Чинючину, В.Г. Ципенко за предоставленный материал, который использовался мною при написании настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московский государственный технический университет гражданской авиации: 25 лет / Под общ. ред. В.Г. Воробьева. М.: МГТУ ГА, 1996. 304 с.
2. Кулебакин В.С., Синдеев И.М., Нагорский В.Д. Электрификация самолетов. В 2-х т. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1952. 1368 с.
3. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн: монография. Т. 1. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. М.: Радиотехника, 2005. 704 с.
4. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн: монография. Т. 2. Радиолокационная поляриметрия. М.: Радиотехника, 2007. 638 с.
5. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн: монография. Т. 3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. М.: Радиотехника, 2008. 695 с.
6. Kozlov A.I. Introduction to the theory of radiostems polarimetric navigation systems / A.I. Kozlov, A. Logvin, V. Sarychev, Y.G. Shatrakov, O.I. Zavalishin. Springer, 2020. 365 p. DOI: 10.1007/978-981-13-8395-3
7. Kozlov A.I., Ligthart L.P., Logvin A.I. Mathematical and physical modeling of microwave scattering and polarimetric remote sensing. Monitoring the earth's environment using polarimetric radar: formulation and potential applications: monograph. London, 2001. 432 p.
8. Елисеев Б.П. Современный университет в пространстве противоречий: проблемы и пути их решения: монография. 3-е изд. М.: ИТК «Дашков и К^о», 2020. 274 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Козлов Анатолий Иванович, заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, vilandes@yandex.ru.

HISTORY AND MODERNITY: ABOUT SCIENCE OVER 50 YEARS

Anatoliy I. Kozlov¹,

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

The article presents the meaningful review of the half-century history of the scientific activity development at the Moscow State Technical University of Civil Aviation, from the date of the University establishment in 1971 up to the present. It is noted that originally the university was faced with the challenge of designing an organizational structure comprising research units, which was successfully solved, and consequently, two years later the first research findings emerged. The competent strategy of the University Authority and the Academic Senate focused on the main fields of scientific research for decades. Obtaining employment by the acclaimed Russian scientists at the University as well as involvement of gifted and promising post-graduate researchers with science facilitated the formation of the University scientific schools. The article features the most significant stages of the scientific school formation of I.S. Golubev, I.M. Sindeev, A.A. Kuznetsov, V.I. Vasiliev, V.G. Vorobyov, S.V. Kuznetsov, N.N. Smirnov, Yu.M. Chinyuchin, V.G. Tsipenko, I.V. Nikitin, V.S. Strelyaev, V.S. Shapkin, S.K. Kamzolov, A.I. Kozlov, A.I. Logvin, V.D. Rubtsov, V.V. Solomentsev, E.E. Nechaev, O.V. Repinoy, O.D. Garanina, B.P. Eliseev, V.V. Vorobyov, etc. It is noted that the international scientific cooperation; the Thesis Board activity; publications, authors' certificates, patents, University researchers' awards in respective fields of science, demonstrating the results of fundamental and applied research, contributed to the formation of the University scientific authority. The article deals with the key issues of the University science development during different years as well as the current day challenges. It is shown that these days the University has the considerable scientific potential, which is capable of both identifying industry-specific scientific problems and solving them.

Key words: academic research at the University, research, school of sciences, scientific branches.

REFERENCES

1. **Vorobiev, V.G. (Ed.)**. (1996). *Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet grazhdanskoy aviatsii: 25 let* [Moscow State Technical University of Civil Aviation: 25 years]. Moscow: MGTU GA, 304 p. (in Russian)
2. **Kulebakin, V.S., Sindeev, I.M. and Nagorskiy, V.D.** (1952). *Elektrifikatsiya samoletov. V 2-kh tomakh* [Aircraft electrification. In 2 volumes]. Moscow: VVIA im. prof. N.Ye. Zhukovskogo, 1368 p. (in Russian)
3. **Kozlov, A.I., Logvin, A.I. and Sarychev, V.A.** (2005). *Polyarizatsiya radiovoln: Monografiya* [Polarization of radio waves: Monograph]. *T. 1. Polyarizatsionnaya struktura radiolokatsionnykh signalov* [Vol. 1. Polarization structure of radar signals]. Moscow: Radiotekhnika, 704 p. (in Russian)
4. **Kozlov, A.I., Logvin, A.I. and Sarychev, V.A.** (2007). *Polyarizatsiya radiovoln: Monografiya* [Polarization of radio waves: Monograph]. *T. 2. Radiolokatsionnaya polyarimetriya* [Vol. 2. Radar polarimetry]. Moscow: Radiotekhnika, 638 p. (in Russian)
5. **Kozlov, A.I., Logvin, A.I. and Sarychev, V.A.** (2008). *Polyarizatsiya radiovoln: Monografiya* [Polarization of radio waves: Monograph]. *T. 3. Radiopolyarimetriya slozhnykh po strukture signalov* [Vol. 3. Radio polarimetry of complex signals]. Moscow: Radiotekhnika, 696 p. (in Russian)
6. **Kozlov, A.I., Logvin, A., Sarychev, V., Shatrakov, Y.G. and Zavalishin, O.I.** (2020). *Introduction to the theory of radiostems polarimetric navigation systems*. Springer, 365 p. DOI: 10.1007/978-981-13-8395-3
7. **Kozlov, A.I., Lighthart, L.P. and Logvin, A.I.** (2001). *Mathematical and physical modeling of microwave scattering and polarimetric remote sensing. Monitoring the earth's environment using polarimetric radar: formulation and potential applications: Monograph*. London, 432 p.
8. **Eliseev, B.P.** (2020). *Sovremennyy universitet v prostranstve protivorechiy: problemy i puti ikh resheniya: Monografiya* [Modern university in the space of contradictions: problems and ways to solve them: Monograph]. 3rd ed. Moscow: ITK "Dashkov i K°", 274 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anatoliy I. Kozlov, Honoured Scientist of the Russian Federation, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Technical Maintenance of Radio Electronic Equipment of Air Transport Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, vilandes@yandex.ru.

Поступила в редакцию 15.02.2021
Принята в печать 25.03.2021

Received 15.02.2021
Accepted for publication 25.03.2021

УДК 629.7.05: 004.94

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-58-69

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПЛАТФОРМАХ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.В. ПОЛТАВСКИЙ¹

¹*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
г. Москва, Россия*

В обзорной статье рассматриваются вопросы возможности применения привязных высотных телекоммуникационных платформ (ВТП) на основе беспилотных летательных аппаратов (как привязных БЛА), которые также еще получили название «привязанных дронов» Flying COWs (Cell on Wings). Сущность их заключается в том, что по гибкому металлическому кабелю-тросу подается достаточно высокое электрическое напряжение с наземного мобильного пункта управления в целях решения многопрофильных задач ВТП локального сотового покрытия на обширной территории. Данные беспилотные авиационные системы с ВТП и привязными БЛА, которые ретранслируют сигналы в привязке к конкретной местности в составе объектов современных геоинформационных систем, покрывающих радиосигналом отдельно взятые регионы, области и труднодоступные районы, могут найти достаточно широкое применение уже в ближайшее время, а в качестве сети телекоммуникационных каналов приема/передачи информации могут использоваться радио- или оптическая связь ВТП.

Ключевые слова: сложные технические системы, высотные телекоммуникационные платформы, современные геоинформационные системы, беспилотное воздушное судно, беспилотные летательные аппараты, объект, состав, структура, система.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие возможностей робототехнических систем и комплексов в современных условиях может привести к качественному скачку в эволюции техники, экономики, медицины, спорта, сельского хозяйства, силовых ведомств и т. д. [1–11]. Основная доля среди множества проектов и разработок в современной робототехнике приходится на сложные технические системы (СТС) – беспилотные воздушные суда (комплексы беспилотных летательных аппаратов (КБЛА), в структуре которых основным звеном является непосредственно беспилотное воздушное судно – сам этот БЛА [8, 9] для решения многопрофильных задач в различных областях народного хозяйства и силовых ведомствах. Термин БЛА трактуют по-разному. Например, беспилотный летательный аппарат – это летательный аппарат многоразового или условно многоразового использования, не имеющий на борту экипажа, способный самостоятельно и целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью управляющей программы), а также посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором со стационарного или мобильного пульта управления). Есть другие определения и термины, так, например, в действующем документе «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 08.06.2020 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021) беспилотное воздушное судно (БВС) – воздушное судно, управляемое, контролируемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна (внешний пилот). Беспилотная авиационная система – комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, средства обеспечения взлета и посадки, средства управления полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов и контроля за полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов (введено ФЗ от 30.12.2015 № 462-ФЗ; в ред. ФЗ от 03.07.2016 № 291-ФЗ). Следует заметить, что к БЛА (или БВС) многие специалисты не относят авиационные ракеты, снаряды, бомбы, аэростаты *без двигателей* и другие *безмоторные* типы летательных аппаратов (ЛА): планеры, дельтапланы,

парапланы, а вот БВС – беспилотные дирижабли, «моторные» дельтапланы и парапланы – могут относиться. Как правило, в задачи многофункциональных БЛА в первую очередь входят задачи по разведке и ее видам, связанные непосредственно с поиском, обнаружением, селекцией и идентификацией объектов в режиме реального времени, включая определение их точных координат и передачу данных (информации) на мобильный наземный пункт управления (НПУ) в составе геоинформационных систем (ГИС).

С помощью современных платформ БВС можно осуществлять поиск различных объектов и проводить анализ полученных фотоснимков или видеозаписи, для этих целей аппарат должен быть снабжен самыми разными сенсорами – от мультиспектральных камер до датчиков радиации, магнитного поля, ИК-тепловизоров, металлодетекторов и т. д. Например, многие подразделения МВД и МЧС [11] уже используют БЛА для профилактики чрезвычайных ситуаций и анализа несанкционированного проведения митингов, мониторинга чрезвычайных ситуаций в составе ГИС для районов, областей, поиска группы людей после стихийных бедствий или пропавших без вести людей, применяются в решении по экстренной доставке груза, где это необходимо, их часто задействуют для выявления акул и охраны пляжей, а также для борьбы с браконьерами, контроля миграционных путей животных, изучения таяния полярных льдов, пожара в лесах, мониторинга побережья, акваторий, почвы и посевов в сельском хозяйстве, определения влияния загрязнителей на экологическую ситуацию и т. д. Примером будет также использование платформ БЛА в спорте. Видеокамера, находящаяся непосредственно на платформе БЛА, позволяет выбирать необходимые ракурсы и создавать кадры (фото и видео) спортивных соревнований с прямой трансляцией на большой экран или по ТВ, со спортсменами во время проведения ими тренировок.

Применяют платформы БЛА и при подготовке проекта в строительстве [12] – планирование работ, контроль (видео и фото) за ходом их выполнения, соблюдение необходимых требований проектировщиков по технике безопасности, подготовка различных документальных видео- и фотоотчетов для многочисленных клиентов, инвесторов и различных акционеров. Сегодня в мире постоянно ведутся новые разработки по автоматизации таких работ, например, совместная разработка Autodesk, 3D Robotics, Kimley-Horn в США – платформа Solo и программный продукт Site Scan. Информационная система ГИС с использованием БЛА и специального программного обеспечения может автономно обследовать участки местности и формировать 2D- и 3D-карты в модели местности. Многофункциональные комплексы с БЛА в автоматизированных системах управления (АСУ) и связи используются для ретрансляции сигналов; в исследованиях картины распространения радиосигналов; для обследования вышек для сотовой связи [4–5]; применяются БЛА как «сетевые узлы» подключения к интернету (IoD, Internet of Drones). Сами сети для сотовой связи могут использоваться как дополнительный информационный и телекоммуникационный канал с БЛА наряду с обычными и привычными нам сетями, например в автоматизированных системах управления воздушным движением и т. п.

Отдельным направлением применения многофункциональных БЛА в составе ГИС можно выделить множество вариантов их применения, как отмечено, полицией: профилактические мероприятия с видеонаблюдением, контроль за митингами и массовыми мероприятиями, обеспечение контроля различных встреч VIP-персон, включая и встречи на высшем уровне, предотвращение террористических актов, контроль различных акций протеста, операции по борьбе с организованной преступностью и контрабандой наркотиков, операции по поимке опасных преступников, розыска людей и изучение места преступления, поддержка оперативной связи, предотвращение нелегальной иммиграции, наблюдение за наземными и морскими линиями регулярных сообщений, наблюдение за транспортными потоками, анализ причин ДТП, отслеживание угнанных автомобилей, борьба с морскими пиратами, контроль незаконной разработки недр и др. Перечень возможного применения БЛА в различных сферах

достаточно обширный, по данным аналитиков компании VI Intelligence, сама же представленная диаграмма для «разрешенного» применения БЛА в различных сферах показана на рис. 1 (приведены примеры использования платформ БЛА (БВС) в США по состоянию [12] на 2016 год).

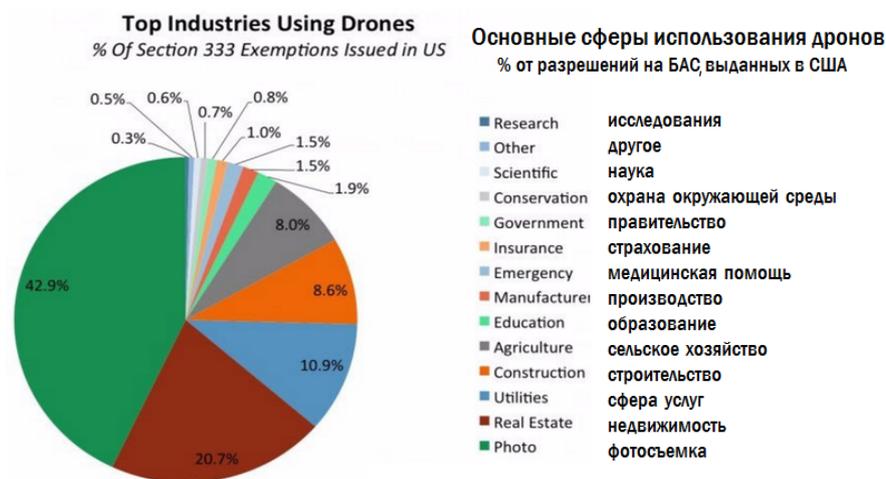


Рис. 1. Процентное соотношение применения БЛА в различных сферах (США)
Fig. 1. Percentage of UAVs application in different fields (USA)

По состоянию на 12.02.2017 в мире уже производится и находит свое широкое применение более 850 различных видов платформ и разных типов БЛА. Информация о подобных разработках достаточно объемная, как правило, для ее анализа требуются время и группы специалистов [8]. Приведем еще пример. Среди этих разработок и инноваций следует отметить одну из новинок БЛА известной израильской компании Israel Aerospace Industries (IAI), впервые привезенную на авиасалон МАКС-2011, – привязную платформу БЛА ЕТОР. Это многоцелевой БЛА – привязной мультикоптер (квадрокоптер), летательный аппарат вертолетного типа, созданный по многовинтовой схеме (к мультикоптерам относятся ЛА, имеющие более трех несущих или толкающих винтов – трехроторные мультикоптеры называют трикоптерами, четырехроторные – квадрокоптерами, шестироторные – гексакоптерами, а восьмироторные – октокоптерами). Сам мультикоптер ЕТОР, в отличие от большинства других представленных мультикоптеров, не относится к классу общепринятых малоразмерных БЛА. Это достаточно крупный привязной беспилотный летательный аппарат размером 160 × 160 см. По гибкому кабелю на его борт передается электроэнергия, что делает продолжительность его полета практически не ограниченной, а сам БЛА способен поднять до 20 кг полезной нагрузки на заданную высоту, которая составляет 100 м. В штатном своем варианте он комплектуется оптико-электронными системами наблюдения mini-РОР и micro-РОР. Областями применения данной беспилотной авиационной системы (БАС) могут стать военные, гражданские и ведомственные задачи, такие как, например, охрана государственной границы или периметров важных охраняемых объектов. Сухопутный вариант использования привязного БЛА подразумевает его размещение на базе автомобиля повышенной проходимости. Кроме того, данный комплекс может размещаться на кораблях (морских и речных судах). Фактически сама система ЕТОР аналогична аэростатным комплексам. Однако у него ряд преимуществ перед многими аэростатами и дирижаблями, одним из которых является время разворачивания (или мобильность). В сводной табл. 1 представлены основные тактико-технические характеристики (ТТХ) действующих аэростатов известной фирмы TCOM L.P. [12].

Таблица 1
Table 1

Основные ТТХ аэростатов фирмы TCOM L.P.
Basic operational characteristics of TCOM L.P. aerostatic balloons

Тактико-технические характеристики аэростатов						
Параметр/тип модели	15М	17М	32М	38М	71М	74М
Масса конструкции, кг	144	–	658	–	4090	3200
Масса полезной нагрузки, кг	70	90	275	225	1600	–
Максимальная высота подъема, м	300	300	900	2500	4600	–
Продолжительность полета, сут.	5	7	14	14	30	более 30
Допустимая эксплуатационная скорость ветра, км/ч	74	74	93	93	130	110
Максимально допустимая скорость ветра, км/ч	102	102	130	130	170	160
Длина, м	15	17	32	38	71	74
Диаметр, м	6,2	–	10	–	22	–
Объем, м ³	321	–	1700	–	16700	19000
Длина кабель-троса, м	460	–	1400	–	6250	–
Потребляемое электропитание, кВА	1	1	5,5	5,5	22	70
Время работы, ч	2	2	8	8	14 сут.	72

РАЗВИТИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПЛАТФОРМАХ БВС

Как выше было отмечено, особое место использования БВС отводится их применению для обеспечения различных видов разведки и управления объектами в структурах глобальной информационной системы телекоммуникации и связи [1–7]. Из открытых данных мониторинга Международного союза электросвязи (ITU) следует, что к 2015 году около 57 % людей в мире не имели доступа к сети Интернет, таким образом, почти две трети населения планеты пока не подключены к глобальной информационной сети. Возможно, они также не будут подключены в ближайшее время, так как современное проектирование СТС и строительство объектов наземной телекоммуникационной инфраструктуры обходится компаниям достаточно дорого. Установка принятой ранее (или уже традиционной) наземной сетевой инфраструктуры, включающая в себя права на участок земли, оборудование, оптоволоконные кабели и доступ к источникам питания, может стать нерентабельной. В некоторых регионах намного меньше возможных потенциальных клиентов, а чтобы им подключиться к сети, потребуется создание довольно сложной инфраструктуры, даже несмотря на покрытие почти около 90 % населения Земли сетями 2G, увеличение этого показателя до 100 % при использовании традиционных подходов кажется маловероятным, то есть вкладываемые инвестиции операторов в разработку традиционной инфраструктуры вряд ли смогут окупиться. По открытым материалам Json & Partners Consulting, покрытие территории России сотовыми сетями уже составляет около 10 %, а по данным из Минкомсвязи, покрыты почти все населенные пункты, но 1343 городских поселения с численностью жителей от 10 тыс. до 500 тыс. еще остаются без доступа к интернету, а также и к мобильной связи. До 38 %, или 6725 населенных пунктов, составляют города и села, где имеется голосовая сотовая связь, но отсутствуют как проводной, так и беспроводной доступ в сети

Интернет. Поэтому сейчас для получения услуг связи за пределами зон покрытия сотовых сетей, особенно в труднодоступных районах, как правило, используется спутниковая связь. Сами тарифы на спутниковую связь и передачу информации намного выше тарифов сотовых операторов, так как проектирование и разработка спутников, а также их запуск и обслуживание требуют огромных вложений и инвестиций. Для поиска новых решений этих потребностей во временном расширении сети операторы связи используют мобильные средства – передвижные базовые станции (ПБС) на колесах (COW, cow on wheels), а также мобильные базовые станции (МБС). Особенность станций ПБС заключается в их большой стоимости (только их возможная аренда может составить до 170 тыс. руб/сут).

Стремительное развитие систем ГИС (территориальных государственных, краевых, областных, локальных, специализированных и др.) и рынка потребительских подключенных устройств в последние годы стимулировало разработку новых миниатюрных передатчиков, антенн и стандартов связи, которые позволяют решать «старые» задачи по-новому. Теперь потребность в постоянном или временном расширении зоны покрытия сети связи можно реализовать уже не только за счет спутников или передвижных станций, но и за счет более доступных «коммуникационных» решений, например с помощью различных платформ БЛА (или дронов). Такие платформы БЛА могут стать отдельной частью (как ячейкой) телекоммуникационной инфраструктуры операторов сотовой связи, выполняя функцию по ретрансляции множества телекоммуникационных сигналов. По оценкам ведущих специалистов PwC, объем мирового рынка для внедрения подобных решений с использованием цифровых платформ на базе БЛА в телекоммуникационной индустрии составляет (данные на 2016 год) до 6,3 млрд долл. США. Операторы сотовой связи не используют пока привязные БЛА полностью для ретрансляции телекоммуникационных сигналов (как известные нам радио, телевидение, интернет) на постоянной основе, но они уже проводят пилотные проекты для оказания подобных услуг, а такие крупные информационные корпорации как Google и Facebook покупают специализированные компании и различные стартапы, разрабатывающие передовые информационные технологии в этом направлении, на их базе планируют запускать новые телеком-услуги для широких слоев населения и госучреждений. По оценкам из J'son & Partners, уже в 2021 году операторы сотовой связи будут использовать до 3739 мобильных базовых станций, что на 1527 единиц, или на 69 %, станций больше, чем это было в 2016 году. С учетом прироста для интернет-трафика [12] в сетях сотовых операторов на уровне 40 % за 2016 год и его прогнозируемое увеличение более чем в два раза к 2021 году, операторам потребуется увеличение пропускной способности сети и числа объектов ПБС/МБС. Большой частью приобретаемого оборудования МБС будут современные и компактные станции из стандартов LTE/5G, в том числе миниатюрные станции МБС, их также можно прикреплять непосредственно на привязном БЛА. Из проведенного исследования и анализа тенденций в этой области следует выделить следующие направления развития телекоммуникационных сетей для сотовых операторов с использованием БЛА: *использование привязных платформ ВТП на основе БЛА; использование ВТП для ретрансляции услуг на обширных территориях, не покрытых сетями сотовой связи; развертывание услуг связи на базе группировок из атмосферных БЛА-спутников. Они могут обеспечивать сотовую связь и доступ к глобальной сети Интернет в труднодоступных местах и районах, где сам доступ к глобальной и сотовой сети ограничен из-за сигнала низкого качества. Например, совсем недавно в США известный оператор AT&T уже испытал (в конце июля 2016 года) мультироторный БЛА, который сами разработчики называли «летающей коровой», от английского COW – cell on wings, на его борту есть антенны и радиоголовка трансивера для сотовой связи. Задача этого мультироторного привязного БЛА – обеспечивать сотовое покрытие в зоне его развертывания. По своим функциональным возможностям такой привязной аппарат мало чем отличается от обычной сотовой вышки, а преимущество этой системы управления и связи – мобильность. Привязной БЛА будет способен обеспечивать мобиль-*

ное покрытие на площади свыше 100 квадратных километров, аппарат может находиться в воздухе в течение длительного времени – питание для самого БЛА и бортового радиооборудования подается по проводам от наземной автостанции (электростанции). На борту аппарата находится также небольшой резервный аккумулятор обеспечения задачи управления безопасностью полета для обеспечения устойчивой к возмущениям посадки БЛА в случае непреднамеренного сбоя питания. Идея не новая, но она приближена к возможности повседневного практического использования. Ранее подобные БЛА использовались только для ретрансляции сигнала, который непосредственно формировала наземная базовая станция. Подобную «привязную» систему для обеспечения общественной безопасности представили в Корею в 2016 году, а в США прошли эксперименты с привязным БЛА – системой PARC. Инженеры Qualcomm провели более 1000 полетных тестов, чтобы проверить, что самими БВС можно управлять непосредственно с помощью сотовой сети 4G/LTE. Испытания проводились специалистами из компании UAS Flight Center в Сан-Диего. По результатам исследования в Qualcomm, разработчики этой системы считают необходимым модифицировать саму сеть 4G/LTE в целях улучшения работы с беспилотными объектами. В частности, были предложены технические решения и предприняты меры по снижению интерференции, оптимизации управления мощностью, оптимизации выбора сотовых башен. Отметим, что эти тесты показали, как БЛА можно *управлять через сеть* [12], а это снимает ряд ограничений на дальность управления. Тем самым был сделан еще один шаг к управлению БЛА на большей дистанции. Испытания платформы проводились на уровне земли, а также на высотах в 30, 60, 90 и 120 м. Проверялись диапазоны частот PCS, AWS и 700 МГц. Взлет и посадки выполнялись с обычной вертолетной площадки (с крыши здания Qualcomm). Qualcomm проводит исследование в интересах 3GPP, посвященное улучшению поддержки БЛА сетями LTE. Подобные работы проводят не только ведущие компании США, Израиля, но и ряда других государств. Например, известная всем южнокорейская KT Corp. показала свое решение, предназначенное для обеспечения управления и связи в интересах пожарных, полиции и спасателей в условиях чрезвычайного положения – базовая станция с функционалом для ядра (как и сетевой сервер), вмещающаяся в небольшой рюкзак, и БЛА – Drone LTE, оснащенный ретранслятором сигналов LTE, а также видео- и термокамерами ведения поисково-спасательных операций. Сущность этого проекта состоит в том, чтобы в случае возникновения чрезвычайной ситуации, когда обычная сотовая связь может перестать работать, у оператора связи есть возможность оперативно разворачивать в зоне происходящих событий специальную сеть LTE, которая обеспечит работу смартфонов и планшетов для сотрудников пожарной охраны, полиции и спасателей. Приблизительная оценка стоимости такого проекта – \$1,74 млрд. В данном проекте также принимает участие и известный всем оператор SK Telecom, а необходимое абонентское оборудование для реализации этого проекта поставят известные компании Samsung и Pantech.

Поисковые научные исследования в этой области ведутся и в России [1–8]. Примером является то, что совсем недавно в Институте проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) группа разработчиков под руководством профессора В.М. Вишневого впервые подняла в воздух (апрель 2017 года) привязную высотную телекоммуникационную платформу ВТП с длительной продолжительностью полета. В основе этой разработки лежит технология передачи с наземного пункта на борт беспилотного летательного аппарата энергии большой мощности по медным проводам малого сечения, а в качестве летающей платформы был использован мультикоптер, длительность полета которого зависит от подачи электричества с земли по проводам и механического износа деталей БВС. Отметим, что мультикоптеры – гексакоптеры и октокоптеры, имеющие соответственно по шесть и восемь роторов, обладают гораздо большей грузоподъемностью по сравнению с квадрокоптерами. Они также способны сохранять устойчивый полет при выходе из строя одного из роторов, а также эти БЛА отличаются меньшим уровнем вибраций, что особенно важ-

но для проведения видеосъемки и фотографирования. В состав комплекса входят наземный пункт для преобразования энергии, кабель на кевларовой основе с тремя медными проводами из малого сечения для передачи на борт дрона электроэнергии для питания электродвигателей и аппаратуры полезной нагрузки, кабель на основе оптоволокна для обеспечения высокоскоростной передачи данных, а также непосредственно и сам беспилотный аппарат, оснащенный бортовой системой управления и стабилизации полета с навигационной системой на основе датчиков GPS/ГЛОНАСС. Мощность электроэнергии, передаваемой с земли на борт, может составлять до 20 киловатт [1, 2]. Такой БЛА-дрон может поднимать полезную нагрузку массой до 30 килограммов на высоту до 300 метров. Наземный компонент системы в мобильном исполнении может включать подвижную электростанцию мощностью в 100 киловатт с жилым модулем на базе шасси автомобиля типа КамАЗ 43114, а в полевых условиях – дизельную электростанцию мощностью до 30 киловатт. Время развертывания данного комплекса составляет не более 10 минут. Система обеспечивает возможность ее эксплуатации при температурах от -50 до $+50$ градусов Цельсия, беспилотный летательный аппарат может выполнять полет при ветре до 15 метров в секунду. Созданная привязная ВТП построена на принципах открытой архитектуры. В гражданском секторе экономики, в сельском хозяйстве и силовых ведомствах данная беспилотная авиационная система может использоваться для управления и связи подразделений, контроля проводимых полицией операций, обеспечения безопасности движения транспорта, охраны важных объектов и др. Радиус зоны покрытия ВТП составляет порядка 50 км, поэтому число самих абонентов, которые могут подключиться к ее базовой станции (БС), достаточно велико. Расположение БС непосредственно на борту БВС и большое число обслуживаемых абонентов выдвигают ряд основных потребительских требований, которым должна удовлетворять БС [1, 2]:

- малые габариты и масса БС;
- максимально возможная скорость передачи данных в обоих направлениях;
- максимальная распространенность используемой абонентской аппаратуры;
- минимальная стоимость абонентской аппаратуры;
- минимальная стоимость аппаратуры БС.

Наиболее распространенной аппаратурой, которая может удовлетворять приведенным выше требованиям в России, является оборудование Wi-Fi. Данное оборудование имеет небольшую массу (0,5–1,5 кг), а также малую стоимость [8]. Для антенных систем может быть применима антенная решетка, имеющая достаточно большой коэффициент усиления и управляемую диаграмму направленности (ДН), а в качестве гибкого кабеля-троса, как отмечено, может быть использован молниезащитный трос из синтетических материалов марки кевлар или вектрам с внутренней электропроводкой для электрического питания и волоконно-оптической линии связи (для приема/передачи данных).

Сегодня уже, как правило удачно, применяются такие кабель-тросы в области разработок различных платформ БЛА с прочностью на разрыв от 5 до 30 тонн для потребителей электроэнергии 3,5–31,5 кВт [12]. Эффективность применения ВТП в различных оборонных и гражданских отраслях, их экономичность по сравнению со спутниковыми системами предопределили огромное внимание к ним многих специалистов и разработчиков из разных стран мира. Сегодня выделяют два класса основных систем ВТП – пилотируемые (аэростаты, дирижабли, пилотируемые ЛА, космические спутниковые системы) и привязные платформы (платформы ВТП на высотных привязных аэростатах, беспилотных БВС и других ЛА), связанные механически с землей (или соединенные с наземным модулем привязным кабелем-тросом). Обыватели их еще называют «дроны на поводке». Вопросы по обеспечению безопасности и надежности полетов БВС также входят в число приоритетных задач [10]. В табл. 2 представлены основные ТТХ привязных ВТП.

Таблица 2
Table 2

Основные ТТХ привязных высотных телекоммуникационных платформ
Basic operational characteristics of the tethered high-altitude telecommunication platforms

Тип привязного БЛА (страна-разработчик)	Аэр. схема БЛА	Высота и масса полезной нагрузки Н(м) / кг	Устойчивость БЛА к ветру Постоянно / и порывы ветра	Время работы – нахождения в воздухе (ч)	Задачи ВТП БЛА
	Эл. питание				
Z-18UF (Франция)	Гексакоптер	40	–	–	Видеонаблюдение в теч. 24 часов в сутки
PARC (США)	Гексакоптер 85–265 В	152 / 2,7	12,8 / 18 м/с	–	Передача данных: Ethernet (10 Mbit/c)
ACSL (Япония)	–	/ 30	–	–	Видеонаблюдение
Tether Eye (США)	–	45 /	–	–	Передача видеоданных
Hover Mast (Израиль)	Квадрокоптер 10	50 / 6	до 25 узлов	–	Разведка видео, ИК, РЛ, мониторинг, целеуказание, ПП
Птеродактиль МАИ (Россия)	Конвертоплан предвар. уст. на т. «Армата»	20 /	до 10 м/с	–	Видео-, ИК-разведка
ВТП ИПУ РАН (Россия)	Октокоптер 20 кВт	300 / 30	до 15 м/с	ВН.непр.	Телекоммуникация и связь, видео- и ИК-наблюдение, целеуказание, ПП

ПРОГНОЗИРУЕМОЕ РАЗВИТИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИВЯЗНЫХ ПЛАТФОРМ БВС

Проведенные поисковые исследования и полученные оценки по эффективности применения ВТП в различных гражданских и специальных сферах – сельском хозяйстве, силовых ведомствах и др., высокая мобильность, компактность и др., а также экономический фактор по сравнению с очень дорогими спутниковыми системами предопределили огромное внимание специалистов и разработчиков по ВТП на основе БЛА. По оценкам экспертов из аналитического агентства PWC, через несколько лет рынок из одних только БЛА, например в сельском хозяйстве (не включая самолетные схемы), может составить около \$32,4 млрд, а среди ведущих стран, в которых происходит их наиболее активное использование, можно выделить США, Израиль, Китай, Японию, Бразилию, страны ЕС и др. Решая задачи наблюдения над полями, БЛА с помощью видеокамеры и датчиков позволяют фермерам в режиме реального времени видеть, как происходит процесс созревания различных сельскохозяйственных культур, изменяется цвет почвы, современные видеокамеры позволяют создавать электронные карты полей ГИС в формате 3D, рассчитывать показатель Normalized Difference Vegetation Index (нормализованный вегетационный индекс) с целью дальнейшего управления эффективностью удобрения культур [12], инвентаризировать проводимые отраслью работы и обеспечивать охрану для обширных сельхозугодий. Область наибольшего применения привязных платформ БЛА будет значительно расширена в сфере оказания различных услуг для телекоммуникации и связи. Как показывают многие исследования, возможности для внедрения таких

систем имеются. Например, для ВТП, работающей на высоте в 300 м, дальность связи составит до 70 км. Сфера привязных платформ ВТП может быть расширена за счет установки на их борту датчиков и аппаратуры многодиапазонного (видео, инфракрасного – ИК и радиолокационного – РЛ) наблюдения, различного целевого оборудования (ЦО) для управления робототехническими системами и комплексами, обеспечения подразделений МЧС и бригад полиции локальной связью и др. Для решения задач длительного наблюдения, целеуказания за различными объектами-целями может быть установлена наша отечественная разработка – радиолокационная станция (РЛС) «ФАРА», которая уже успешно применяется на практике. Данная всепогодная и круглосуточная РЛС работает на длине волны $\lambda = 2$ см, она способна обеспечить обнаружение человека на дальности до 3–4 км, танка (или автомобиля) на дальности 6–7 км, имеет хорошие показатели разрешающей способности и надежности (до 5000 часов наработки на отказ), приемлемый вес (весь комплект весит 21,5 кг) и широкий диапазон рабочих температур: от -40 до $+50$ °С. С поднятием только антенного блока РЛС на высоту в 300 м позволит увеличить дальность ее действия примерно в 2–2,5 раза. Наряду с привязными объектами ВТП, установленных на мультикоптерах, они могут быть применимы и на аэростатах, летающих на высоте 3000–5000 м, которые могут долго находиться в воздухе – до 30 суток. Например, одним из прототипов такого авиационного комплекса является израильский разведывательный аэростат SkyStar 180. Данный аппарат готовится к работе и запуску с небольшого прицепа в течение 15 минут экипажем из двух человек, может поднимать груз 6,5 кг на высоту 300 м и находиться на этой высоте до трех дней. Эксплуатация показала, что они экономичнее по сравнению с аналогичными комплексами, расположенными на пилотируемых самолетах, в 6–7 раз.

Среди разработчиков и игроков на мировом рынке БЛА, которые в большинстве своем все же ориентируются на сферы народного хозяйства, можно выделить такие компании, как AeroVironment Inc, AgEagle, DJI, Yamaha [12] и др. Развиваются БЛА, как выше отмечено, и в нашей стране, несмотря на временное отставание в области их нормативно-правового регулирования, а среди активных участников (наряду с ИПУ РАН, МАИ, МИФИ и др.) этого рынка можно выделить «Беспилотные технологии» (Новосибирск), «Геоскан» (Санкт-Петербург), а также «Автономные аэрокосмические системы – «ГеоСервис» (Красноярск) и ZALA AERO (Ижевск). Спектр всевозможных оказываемых услуг, предоставляемых компаниями для внедрения многофункциональных БЛА в различные сферы народного хозяйства и силовых ведомств, достаточно обширный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что концепция (как система из общих взглядов) нового поколения высотных привязных телекоммуникационных платформ и привязных многоцелевых БЛА стремительно развивается. Существует ряд примеров ее практической реализации в различных телекоммуникационных задачах связи и управления [1]. Свое практическое применение она получила в беспилотных аппаратах вертолетного или аэростатического типа, когда не требуется большой радиус действия для БВС, но необходимо достаточно длительное его зависание на определенной высоте для выполнения многих задач – фотографирования, видеосъемки, длительного наблюдения объектов, ретрансляции радиосигналов и др. В России также ведутся подобные разработки. Например, беспилотная система для ВТП, предложенная в ИПУ РАН профессором В.М. Вишневым, имеет уровень мирового класса. Система ВТП построена на принципах открытой архитектуры и модульности [1–8], основу ее составляют ВТП и БЛА-мультикоптер, который размещен внутри специального бокса, может размещаться на крыше здания, автомобиле и корабле, подводной лодке и т. д. Перспективы этой инновации и концепции вполне очевидные – обеспечение информацией широких слоев населения, задачи управления

объектами в народном хозяйстве и оборонном ведомстве. Концепции присущи черты глобальной интеграции в мировые геоинформационные системы – глобальные сети Интернет и системы ГЛОНАСС/GPS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вишневецкий В.М., Терещенко Б.Н.** Принципы построения и реализация привязных высотных телекоммуникационных платформ с использованием малогабаритных винтокрылых летательных аппаратов // Distributed Computer and Communication Networks. Theory and Applications (DCCN-2009), 2009. С. 102–116.
2. **Вишневецкий В.М., Семенова О.В., Шаров С.Ю.** Исследование гибридной связи с использованием атмосферного оптического канала и радиоканала миллиметрового диапазона радиоволн // Distributed Computer and Communication Networks. Theory and Applications (DCCN-2011). Москва, 26–28 октября 2011 г. С. 1–11.
3. **Полтавский А.В.** Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов: монография / А.В. Полтавский, А.А. Бурба, А.Е. Аверкин, В.В. Макаров, В.В. Маклаков / Под ред. Е.Я. Рубиновича. М.: ИПУ РАН, 2015. 204 с.
4. **Вишневецкий В.М., Минниханов Р.Н.** Автоматизированная система контроля нарушений правил дорожного движения с использованием RFID-технологий и новейших беспроводных средств // Проблемы информатики. 2012. № 1 (13). С. 52–65.
5. **Вишневецкий В.М., Ларионов А.А., Целикин Ю.В.** Анализ и исследование методов проектирования автоматизированных систем безопасности на автодорогах // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6, № 7. С. 48–54.
6. **Vishnevsky V.M.** Performance analysis of the BMAPG1 queue with gated service and adaptive vacations / V.M. Vishnevskiy, O.V. Semenova, A.N. Dudin, V.I. Klimenok // Performance Evaluations. 2011. Vol. 68, iss. 5. Pp. 446–462. DOI: 10.1016/j.peva.2011.02.003
7. **Полтавский А.В.** Информационные процессы в технике: моделирование систем и объектов многофункциональных робототехнических комплексов беспилотной авиации: монография / А.В. Полтавский, С.С. Семенов, А.А. Бурба, З.Ф. Нгуен / Под ред. В.М. Вишневецкого. М.: Издательский центр АО «ПСТМ», 2019. 404 с.
8. **Вишневецкий В.М., Терещенко Б.Н., Шабаев В.И.** Высотная винтокрылая платформа для беспроводных сетей передачи информации. Патент ПМ RU № 70067 U1, 10.01.2008.
9. **Вишневецкий В.М., Терещенко Б.Н., Шабаев В.И.** Способ формирования беспроводных сетей передачи информации и высотная винтокрылая платформа для его реализации. Патент RU № 2319319 C1, 10.03.2008.
10. **Полтавский А.В.** Управление безопасностью движения беспилотного ЛА // Датчики и системы. 2008. № 9. С. 4–7.
11. **Полтавский А.В.** Модель измерительной системы в управлении беспилотным летательным аппаратом // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 10. С. 73–77.
12. **Poltavskiy A.V.** Decision making concept to create complex technical systems / A.V. Poltavskiy, A.S. Zhumabayeva, K.A. Aizharikov, A.V. Pivkin, A.M. Telegin // Reliability & Quality of Complex Systems. 2016. № 2 (14). Pp. 74–84.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Полтавский Александр Васильевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, avp57avp@yandex.ru.

TELECOMMUNICATION OF COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS ON UNMANNED AERIAL VEHICLES PLATFORMS

Alexander V. Poltavsky¹

¹*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

ABSTRACT

The review article discusses the possibility of using tethered high-altitude telecommunication platforms (VTPS) based on unmanned aerial vehicles (as tethered UAVs), which are also called – "tethered drones" Flying COWs (Cell on Wings). Their essence lies in the fact that sufficiently high electrical voltage is applied to a flexible metal cable from a ground-based mobile control point in order to solve the multidisciplinary VTP tasks for the local cellular coverage on a vast territory. These unmanned aerial systems with VTP and tethered UAVs, which retransmit signals in relation to a specific area as a part of the objects of modern geo information systems (GIS) covering particular regions, territories and hard-to-reach areas with a radio signal can find its fairly wide application in the near future, besides radio or optical communication of VTP can be used as a network of telecommunication channels for receiving/transmitting information.

Key words: complex technical systems, high-altitude telecommunication platform, modern geo information system, unmanned aerial vehicle, UAVs, object, composition, structure, system.

REFERENCES

1. Vishnevskij, V.M. and Tereshchenko, B.N. (2009). *Printsipy postroyeniya i realizatsiya privyazannykh vysotnykh telekommunikatsionnykh platform s ispolzovaniem malogabaritnykh vintokrylykh letatelnykh apparatov* [Principles of tethered high-altitude telecommunication platforms construction and implementation using small-sized rotary-wing aircraft]. Distributed Computer and Communication Networks. Theory and Applications (DCCN-2009), pp. 102–116. (in Russian)
2. Vishnevskij, V.M., Semenova, O.V. and Sharov, S.Yu. (2011). *Issledovaniye gibridnoy svyazi s ispolzovaniyem atmosfernogo opticheskogo kanala i radiokanala millimetrovogo diapazona radiovoln* [Research of hybrid communication using atmospheric optical channel and millimeter-wave radio channel]. Distributed Computer and Communication Networks. Theory and Applications (DCCN-2011), pp. 1–11. (in Russian)
3. Poltavsky, A.V., Burba, A.A., Averkin, A.E., Makarov, V.V. and Maklakov, V.V. (2015). *Mnogofunktsionalnyye komplekсы беспилотных летательных аппаратов: Monografiya* [Multi-functional complexes of unmanned aerial vehicles: Monograph], in Rubinovich E.Ya. (Ed.). Moscow: IPU RAN, 204 p. (in Russian)
4. Vishnevskij, V.M. and Minnikhanov, R.N. (2012). *Avtomatizirovannaya sistema kontrolya narusheniy pravil dorozhnogo dvizheniya s ispolzovaniyem RFID-tekhnologiy i noveyshikh besprovodnykh sredstv* [Automated system for monitoring traffic violations using RFID technologies and the latest wireless means]. Problemy informatiki, pp. 52–65. (in Russian)
5. Vishnevskij, V.M., Larionov, A.A. and Tselikin, Yu.V. (2012). *Analiz i issledovaniye metodov proyektirovaniya avtomatizirovannykh sistem bezopasnosti na avtodorogakh* [Analysis and research of design methods for automated safety systems on highways]. T-COMM, vol. 6, no. 7, pp. 48–54. (in Russian)
6. Vishnevskij, V.M., Semenova, O.V., Dudin, A.N. and Klimenok, V.I. (2011). *Performance analysis of the BMAPG1 queue with gated service and adaptive vacations*. Performance Evaluations, vol. 68, issue 5, pp. 446–462. DOI: 10.1016/j.peva.2011.02.003
7. Poltavsky, A.V., Semenov, S.S., Burba, A.A. and Nguyen, Z.F. (2019). *Informatsionnyye protsessy v tekhnike: modelirovaniye sistem i obyektov mnogofunktsionalnykh robototekhnicheskikh*

kompleksov bespilotnoy aviatsii: Monografiya [Information processes in engineering: modeling systems and objects of multifunctional robotic systems for unmanned aviation: Monograph]. Moscow: Izdatelskiy tsentr AO "PSTM", 404 p. (in Russian)

8. Vishnevskij, V.M., Tereshchenko, B.N. and Shabaev, V.I. (2008). *Vysotnaya vintokrylaya platforma dlya besprovodnykh setey peredachi informatsii* [High rope-winged platform for wireless information transmission networks]. Patent PM RU, no. № 70067 U1, January 10, 2008. (in Russian)

9. Vishnevskij, V.M., Tereshchenko, B.N. and Shabaev, V.I. (2008). *Method for composing wireless information transfer networks and a high-altitude rotary-wing platform for realization of the method*. Patent RU, no. 2319319 C1, May 10, 2008. (in Russian)

10. Poltavsky, A.V. (2008). *Controlling motion safety of a pilotless vehicle*. Datchiki & Sistemi, no. 9, pp. 4–7. (in Russian)

11. Poltavskiy, A.V. (2009). *Control in the adjustment of vertical channel of an unmanned aircraft*. Information-Measuring and Control Systems, vol. 7, no. 10, pp. 73–77. (in Russian)

12. Poltavskiy, A.V., Zhumabaeva, A.S., Ayzharikov, K.A., Pivkin, A.V. and Telegin, A.M. (2016). *Decision making concept to create complex technical systems*. Reliability & Quality of Complex Systems, no. 2 (14), pp. 74–84.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander V. Poltavsky, Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Leading Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, avp57avp@yandex.ru.

Поступила в редакцию 04.02.2021
Принята в печать 25.03.2021

Received 04.02.2021
Accepted for publication 25.03.2021

ТРАНСПОРТ

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте;

05.22.08 – Управление процессами перевозок;

05.22.13 – Навигация и управление воздушным движением;

05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

УДК 621.396.96

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-70-92

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРАЖДАНСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Е.А. ВИНОГРАДОВ¹

¹Католический университет Левена, г. Левен, Бельгия

Ожидается, что к 2035 году в Российском небе будут одновременно находиться не менее ста тысяч беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Такая численность флота БЛА делает необходимым создание систем информационной поддержки, контроля и управления полетами БЛА (англ. Unmanned Aircraft System Traffic Management – UTM), подобных той, что уже существует для пилотной авиации. Проблемы, возникающие перед авиационным сообществом, не могут быть решены без помощи беспроводной связи. Целями данной статьи являются ознакомление специалистов связи с последними достижениями гражданской беспилотной авиации и описание проблем телекоммуникационного характера, стоящих перед разработчиками масштабных систем управления БЛА. Представлены архитектура и главные функции систем UTM, а также примеры их практической реализации. Особое внимание уделено повышению безопасности полетов путем рационального выбора технологий связи для осуществления управления конфликтными ситуациями (также известного как «избежание столкновений»). Проанализирована практичность применения широкого спектра беспроводных технологий: от Wi-Fi и автоматического зависимого наблюдения радиовещательного типа (АЗН-В) до сотовых сетей пятого поколения 5G, а также бессотовых сетей (англ. cell-free), являющихся кандидатами для создания сетей связи шестого поколения 6G. В результате проведенного анализа сформирован список перспективных направлений исследований на стыке областей беспроводной связи и гражданской беспилотной авиации.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, организация воздушного движения, управление конфликтными ситуациями, беспроводная связь, 5G, ИКАО.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно докладу Mordor Intelligence¹ мировой рынок гражданских беспилотных летательных аппаратов (БПЛА или БЛА, также известных как «дроны») составляет около 23 млрд долларов в 2020 году и достигнет 48 млрд долларов к 2025 году. Согласно дорожной карте «Аэронет»² в России к 2035 году должен появиться рынок информационных и логистических услуг, предоставляемых флотом беспилотников, объемом 35–40 млрд рублей. Более того, планируется, что над территорией Российской Федерации к 2035 году постоянно (в режиме 24/7/365) могут находиться не менее 100 000 БЛА. Эти цифры могут казаться впечатляющими, но есть вероятность того, что они несколько преуменьшают реальный потенциал этой техноло-

¹ Drones market – growth, trends, and forecasts (2020–2025) [Электронный ресурс] // Mordor Intelligence. 2020. URL: https://www.reportlinker.com/p05881491/Drones-Market-Growth-Trends-and-Forecast.html?utm_source=GNW (дата обращения: 10.11.2020).

² План мероприятий «Аэронет» Национальной технологической инициативы. Приложение № 2 к протоколу заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России.

гии. Авторы [1] предположили, что в Париже к 2035 году может понадобиться около 180 000 полетов в час (и это только дронов-доставщиков). В среднем это означает 63 БЛА на квадратный километр. Мне кажется, что эти оценки завышены, но в любом случае такое количество дронов в воздухе ставит очень сложные задачи перед инженерами и конструкторами.

Стоит отметить, что внедрение дронов даже сейчас сталкивается с очень серьезными проблемами как в технической, так и регуляторной области. Более того, общественное мнение является серьезным фактором, влияющим на правила эксплуатации, а следовательно, и на экономический потенциал таких решений [2–4]. В то время как в некоторых странах (развивающихся в основном) дроны воспринимаются как «факторы, меняющие правила игры» и «способствующие развитию» [5], в других частях мира общественность скорее обеспокоена проблемами безопасности и защиты персональных данных, связанными с использованием БЛА [2]. Слабо отслеживаемое использование дронов вызывает тревогу органов охраны правопорядка. Кроме того, на данный момент не совсем понятно, как повсеместное применение дронов повлияет на действующие комплексы организации воздушного движения (ОрВД). Таким образом, можно сказать, что первоочередной задачей является обеспечение безопасной эксплуатации БЛА, что позитивно отразится на общественном мнении, регуляторных практиках и на экономической привлекательности решений на основе дронов. Первоочередной задачей на данный момент является разработка правил движения БЛА в воздушном пространстве и технологий, которые бы помогли эти правила соблюдать.

Национальные и международные регуляторные органы (например, Европейское агентство авиационной безопасности – EASA, Международная организация гражданской авиации – ICAO/ИКАО и т. д.) создали комитеты, занимающиеся разработкой и усовершенствованием стандартов полетов БЛА и правил пользования ими. Так, ИКАО опубликовала рамочный документ UTM³ (англ. Unmanned Aircraft System Traffic Management), где описываются обобщенные принципы и задачи Систем организации воздушного движения беспилотных судов (ОрВДБС), также называемых в отечественной литературе системами информационного обеспечения полетов БЛА. Здесь мы предлагаем использовать короткое сокращение УТБ (управление трафиком БЛА) как русскоязычный и созвучный аналог UTM. Хотелось бы отметить, что особое внимание в документе ИКАО уделено беспроводной связи и управлению конфликтными ситуациями (УКС).

Разработка систем УТБ является общепризнанной необходимостью. Этим заняты не только государственные ведомства (например, Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства – NASA), крупные международные рамочные проекты (такие как Single European Sky ATM Research-SESAR) и крупные технологические корпорации (Amazon, Google, DJI и т. д.), но и малые компании, нацеленные на организацию движения в пределах отдельных муниципалитетов, промышленных или портовых зон (например, в Антверпене, Сингапуре и Роттердаме). В работе [6] подчеркивается необходимость создания четких правил пользования дронами на территории Российской Федерации. В декабре 2020 года АО «АСТРА» продемонстрировало макет системы RUTM (R – значит «российский»)⁴, хотя эта демонстрация и осуществление проекта вызывают некоторый скептицизм у членов Ассоциации эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем (Аэронет). Однако стоит отметить, что у этих двух компаний есть явный конфликт интересов. Я скорее разделяю эти опасения: на данный момент нам не удалось осуществить экспертную оценку из-за отсутствия опубликованной документации. С другой стороны, ФГБУ «Защитаинфотранс Минтранса РФ» в ноябре 2020 года получило 52 млн рублей (в 10 раз меньше, чем бюджет RUTM) на создание «облика системы информационного обеспечения полетов беспилотных воздушных судов в РФ на основе

³ UTM – A Common framework with core boundaries for global harmonization [Электронный ресурс] // ICAO, 3rd ed. 2020. 45 с. URL: <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/UTM%20Framework%20Edition%203.pdf> (дата обращения: 10.11.2020).

⁴ Проект RUTM отчитался о промежуточных результатах на пути интеграции ВБС [Электронный ресурс] // Аэронет. 2020. URL: https://aeronext.aero/press_room/news/201237189 (дата обращения: 10.11.2020).

технологий ГЛОНАСС и мультилатерации». Эта система будет направлена на обеспечение внедрения беспилотных судов в воздушное пространство страны⁵. Нельзя не приветствовать диверсификацию усилий по разработке систем УТБ, однако хотелось бы большей прозрачности выполнения проектов и наличия инструментов общественного контроля за их выполнением.

Как и любое сложное техническое решение, системы наподобие RUTM являются плодом работы большого числа специалистов в различных областях. Эта область науки и техники очень динамична и поставляет огромное количество интересных вызовов и проблем. В этой статье мы ограничимся проблемами осуществления беспроводной связи с БЛА, которая является сердцем систем информационного обеспечения полетов. Хотелось бы особо подчеркнуть необходимость установления междисциплинарной терминологии для упрощения коммуникации между экспертами в областях управления, авиации и телекоммуникаций [7].

Интерес к теме БЛА и связи с ними довольно широк. Результатом этого интереса стало огромное количество статей, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках. Можно отметить англоязычные работы [8–13], предлагающие отличные обзоры нескольких сотен академических статей, и ставшие источником материала для тысяч публикаций, процитировавших эти обзоры. В русскоязычной литературе таких статей гораздо меньше. Можно отметить публикацию 2016 года [14], где авторы весьма точно предсказали направления развития связи с БЛА на последующие несколько лет, однако данная область динамична настолько, что эта работа уже теряет актуальность. Считаю, заслуживает внимания свежая статья [15], где авторы представляют свой взгляд на подход к созданию систем связи и управления БЛА. Техническая часть работы не вызывает вопросов, но в глаза бросается отсутствие учета новейших достижений в области гражданской авиации. Достаточно сложно использовать предложенные решения для удовлетворения нужд систем УТБ, описанных ИКАО в документе, упомянутом ранее. К сожалению, подобное можно сказать и о других документах [8–14].

Интерес к связи с БЛА в научно-техническом сообществе огромен, что выражается в тысячах статей. Однако мне представляется контрпродуктивным подход, в котором игнорируются принципы организации движения дронов. Это напрямую влияет на требования к сетям связи: к их архитектуре, интерфейсам, зонам покрытия, скорости передачи данных и так далее. Другими словами, технологии и системы связи имеют шанс на практическое применение только в том случае, если они опираются на знания, достижения и требования, предъявляемые авиационными экспертами. Мы должны говорить на одном языке, чтобы избежать путаницы, часто наблюдаемой в литературе, посвященной различным телекоммуникационным составляющим технических решений на основе БЛА, и систем УТБ в частности.

Другой проблемой разработок решений на основе дронов является их военная предыстория. Авторы [16] показывают, что до сих пор разработки решений для гражданской беспилотной авиации наследуют черты, присущие военному контексту, что негативно влияет: 1) на общественное мнение; 2) на соответствие технических решений требованиям к гражданским дронам; 3) на экономический потенциал технологии; 4) на этические, философские и социальные аспекты развития этой области. Несложно заметить, что значительная часть статей и книг, опубликованных на русском языке, посвящена применению БЛА в военном деле (например, самые цитируемые книги на эту тематику [17–19]). По моему глубокому убеждению, милитаризация этой области знания является тормозом развития очень перспективной сферы экономики. Хотелось бы подчеркнуть, что это влияние заключается не в разработке военных решений как таковых, а в попытке использовать те же подходы и методы для гражданской авиации, которая невообразимо сильно отличается от военной по целям использования, требованиям к инфраструктуре и системам связи. По отношению к безопасности людей на земле, в конце концов.

⁵ Потому, потому что беспилоты: Воздушные суда разных типов уравнивают в пространстве [Электронный ресурс] // Газета Коммерсантъ. 16.11.2020. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4573976> (дата обращения: 18.11.2020).

В данной статье представлен обзор зарубежной литературы, которая необходима для понимания того, что собой представляют системы УТБ. Кроме того, доступно описывается одна из самых главных функций систем УТБ: разрешение конфликтных ситуаций (часто ошибочно называемое «предупреждением столкновений»). Далее произведен анализ возможности применения (прямого или после некоторой адаптации) различных технологий беспроводной связи (от Wi-Fi до сетей пятого поколения 5G) для нужд систем управления гражданскими БЛА. В конце статьи приведен набор проблем, которые требуют решения в будущем. Надеюсь, что эта статья станет источником вдохновения для специалистов в области беспроводной связи и систем управления БЛА.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ БЛА

Несмотря на то что дроны являются высокотехнологичным продуктом, их использование, особенно на первых этапах широкого внедрения БЛА в воздушное пространство, будет подчиняться конвенциональным правилам пилотируемой авиации, которые являются плодом более чем векового опыта эксплуатации и развития технологий. Кроме того, мы не должны недооценивать регуляторную инерцию контролирующих органов, которые логично приоритизируют интересы пилотируемой авиации. Эта стадия становления рынка БЛА является необходимым шагом на пути к применению гражданских дронов в глобальных масштабах.

Архитектура и услуги систем УТБ

Система УТБ представляет собой комплексный инструмент управления движением БЛА, предоставляющий набор услуг системам ОрВД и операторам БЛА. Главной целью этой системы является достижение высоких безопасности и эффективности операций с применением гражданских дронов. В архитектуру УТБ (рис. 1) входят следующие элементы:

- операторы БЛА,
- регуляторные органы (Росавиация и ЕС ОрВД, NASA, EASA),
- провайдеры дополнительных данных и услуг (информация о погоде, карты местности, связь и т. д.),
- другие (органы охраны правопорядка, общественные организации, частные лица).



Рис. 1. Схематическая архитектура системы УТБ, демонстрирующая взаимодействия между различными агентами, вовлеченными в процесс управления полетами БЛА
Fig. 1. Schematic UTM architecture demonstrating the interactions between different air traffic agents

Система УТБ должна предоставлять услуги по обеспечению безопасности полетов БЛА: поддержка УКС; сообщение операторам БЛА об ограничениях, установленных на полеты системами ОрВД; предоставление информации о полетах по запросам частных лиц и регуляторных органов; поддержка осуществления и подготовки полетов для операторов БЛА и другие^{6,7}.

Суммируя вышесказанное, отметим, что УТБ позволит регуляторным органам и поставщикам услуг ОрВД управлять общим воздушным пространством без необходимости их вовлечения в непрерывный процесс управления беспилотным воздушным трафиком. В то же время регулятор будет иметь возможность получать по запросу данные о полетах (например, местоположение БЛА и план полета) как в реальном времени, так и по окончании миссии, если есть необходимость пост-полетного анализа происшествий.

В свою очередь системы ОрВД и УТБ должны будут взаимодействовать при предоставлении услуг:

- организации, структуризации и управления воздушным пространством,
- управления запросами и емкостью воздушных потоков,
- стратегического управления конфликтами,
- предоставления дополнительной информации.

Особенно хотелось бы отметить, что включение БЛА в воздушное пространство неизбежно приведет к изменениям в принципах и стратегиях управления воздушным пространством, применяемых в системах ОрВД, несмотря на их упорное сопротивление.

Что касается примеров работ, посвященных архитектуре УТБ, то тут можно отметить особую активность NASA в этой области: одна из самых влиятельных работ – [20], которая была развита в полноценную концепцию⁸. В 2020 году был представлен Европейский вариант демонстрационного проекта УТБ [21].

УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТНЫМИ СИТУАЦИЯМИ

Само понятие УТБ редко вызывает вопросы у представителей радиотехнического сообщества. Однако мы наблюдаем некоторую путаницу с термином «предупреждение столкновений». В авиационных регуляторных документах процесс избегания столкновений обычно называется УКС. Соответственно, УКС призвано снизить до приемлемого уровня риск столкновения между воздушными судами (включая беспилотные).

УКС будет осуществляться на трех уровнях (рис. 2), которые должны уменьшить вероятность столкновений: 1) стратегическое УКС (структуризация и организация воздушного пространства, согласование спроса и пропускной способности и синхронизация движения); 2) обеспечение эшелонирования; 3) предупреждение столкновений. Меры, принимаемые на каждом из уровней, должны снизить вероятность необходимости применения процедур следующего уровня системы УКС до уровня, определенного требованиями к УТБ. Например, стратегические меры УКС призваны снизить вероятность использования второго уровня – обеспечения эшелонирования и т. д. Несмотря на то что уровни четко разделены, необходимо обеспечить бесшовную процедуру от стадий раннего планирования полета до самых срочных

⁶ UTM – A Common framework with core boundaries for global harmonization [Электронный ресурс] // ICAO, 3rd ed. 2020. 45 с. URL: <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/UTM%20Framework%20Edition%203.pdf> (дата обращения: 10.11.2020).

⁷ Организация движения беспилотных авиационных систем (БАС) (UTM) [Электронный ресурс] // ИКАО, 2019. 6 с. URL: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_353_ru.pdf (дата обращения: 18.11.2020).

⁸ Unmanned aircraft systems (UAS) traffic management (UTM) concept of operations, V2.0 [Электронный ресурс] // Federal Aviation Administration, Washington, DC., 2020. 68 с. URL: https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/media/UTM_ConOps_v2.pdf (дата обращения: 18.11.2020).

мер по избеганию столкновений. Далее мы опишем уровни УКС, следуя рекомендациям ИКАО⁹.

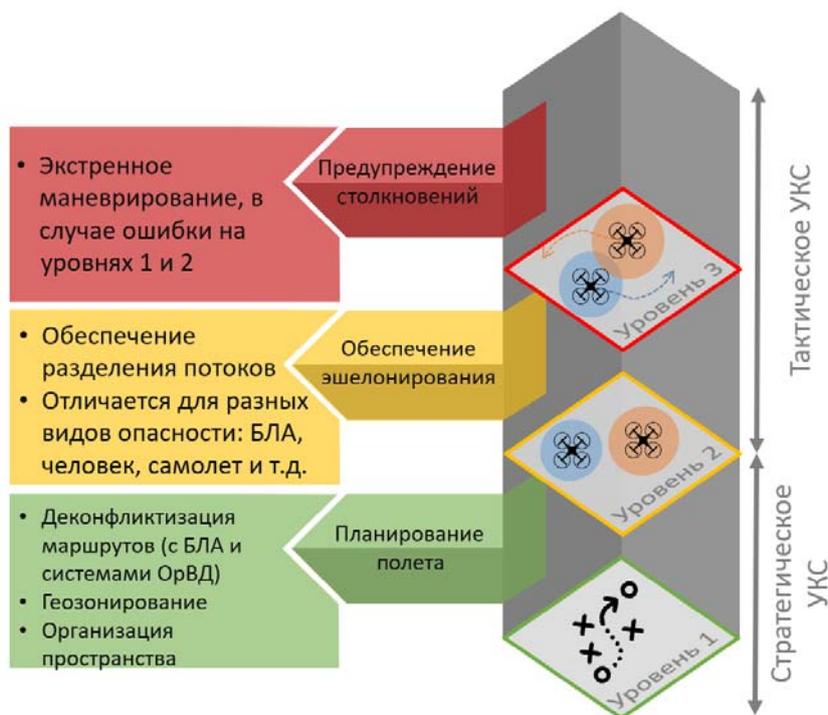


Рис. 2. Уровни и функции УКС
Fig. 2. Conflict Management layers and corresponding functions

Стратегическое управление конфликтными ситуациями (предполетное планирование) представляет собой первый уровень УКС и осуществляется в рамках компонентов структуризации и организации воздушного пространства, согласования спроса и пропускной способности и синхронизации движения. Действия стратегического характера обычно предпринимаются до вылета, однако они не ограничиваются предполетными мерами, особенно в отношении длительных рейсов.

Обеспечение эшелонирования (ОЭ) – второй уровень управления конфликтными ситуациями. ОЭ представляет собой тактический процесс отделения воздушного судна от источника опасности, по крайней мере путем применения соответствующих минимумов эшелонирования (сепарирования, разнесения). Обеспечение эшелонирования будет применяться только в том случае, если невозможно эффективно использовать средства стратегического УКС. Обеспечение эшелонирования представляет собой итеративный процесс, применяемый в пределах горизонта конфликтной ситуации. Шаги ОЭ:

- обнаружение конфликтной ситуации: основано на местоположении соответствующих воздушных судов в данный момент и их предполагаемых траекториях;
- формулирование решения: включает выбор режимов эшелонирования для выдерживания интервала между воздушным судном и всеми известными источниками опасности в пределах горизонта соответствующей конфликтной ситуации; новые траектории также должны быть проверены на предмет конфликтов;
- реализация решения: модификация траектории;
- контроль за выполнением решения: проверка того, что расстояние до источников опасности соответствует минимумам эшелонирования.

⁹ Doc 9854: Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД // ИКАО, 1-е изд., 2005. 93 с.

Предупреждение столкновений (ПС) является третьим уровнем УКС, который должен задействоваться в том случае, если находится под угрозой режим эшелонирования. Предупреждение столкновений не является составной частью обеспечения эшелонирования, и системы предупреждения столкновений не участвуют в определении расчетного уровня безопасности полетов, требуемого для обеспечения эшелонирования. Тем не менее системы предупреждения столкновений будут считаться частью управления безопасностью полетов при УТБ. Функции предупреждения столкновений и применимый режим эшелонирования не зависят друг от друга, но должны быть совместимыми.

Обратите внимание на то, что уровни 2 и 3 часто называют тактическим УКС. Далее приведен обзор литературы, посвященной различным способам определения объемов и границ, соответствующих трем уровням УКС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ УКС

Определение границ по времени до столкновения

Исторически сложилось, что в пилотируемой авиации границы между тремя вышеобозначенными уровнями УКС проводились на основе времени, оставшегося до потенциального столкновения. В [23] было предложено использовать тот же подход и для БЛА.

- Уровень 1 (стратегическое УКС): 24 часа – 2 минуты.
- Уровень 2 (обеспечение эшелонирования): 2 минуты – 30 секунд.
- Уровень 3 (предупреждение столкновений): 30 секунд – 0 секунд.

Критика. Этот подход к определению границ дает четкое разделение уровней и интуитивно понятен. К сожалению, в статье не указано, как оценивать влияние вертикального сепарирования, которое является одним из инструментов устранения конфликтов БЛА (в отличие от самолетов). Вдобавок, когда мы пытаемся пересчитать время до столкновения в расстояние (например, для оценки вероятности столкновения [23]), мы обнаруживаем, что границы уровней размываются из-за большого разброса скоростей малых БЛА (от 0 до 74 м/с [24]). Также не приведено никаких рекомендаций насчет того, какая скорость должна использоваться (мгновенная, планируемая, крейсерская или максимальная). Подобная неопределенность может привести к существенной ошибке при расчетах необходимого разделяющего расстояния. К примеру, возьмем два гоночных дрона DRL RacerX [25], летящих навстречу друг другу. В этом случае процедуры ОЭ должны применяться на расстоянии от 4,4 до 17,7 км, что кажется несколько неадекватным для БЛА размером с небольшого голубя. Эта интуитивная догадка подтверждается расчетами по методике, приведенной в [23], показывающими, что вероятность столкновения двух дронов, разделенных расстоянием 1 км, исчезающе мала благодаря малым размерам БЛА.

Определение границ по расстоянию до столкновения

Другой популярной метрикой, используемой для определения уровней УКС, является расстояние (пространственное разнесение). Схема, приведенная на рис. 3, названа «шайбой» из-за своей схожести со спортивным снарядом. Области ОЭ и ПС представляют собой цилиндры с диаметром $2d_H$ и высотой $2d_V$. Далее показано, как размеры могут быть определены для сред с городской и пригородной застройкой.

В работе [24], опубликованной экспертами из Массачусетского технологического института (MIT), предложено определение границ на основе сепарирующего расстояния (табл. 1). Авторы проанализировали около 500 БЛА (с жестким крылом и роторных) на предмет максимальной и крейсерской скоростей, а также динамику БЛА в зависимости от их миссии и реко-

мендаций производителя. Легко заметить, что расстояния довольно велики. Также авторы рассчитали вероятность того, что процедуры уровня 2 не сработают (конечно же, она обратно пропорциональна размеру цилиндров). Например, для минимального объема ОЭ вероятность применения процедур ПС (не путать с вероятностью столкновения – она теоретически нулевая) составляет 10 %.

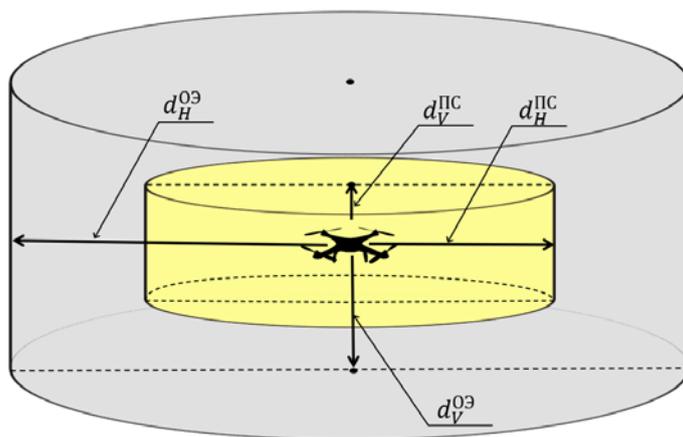


Рис. 3. Определение границ уровней УКС на основе расстояния по методу «шайбы»: ОЭ – внешний серый цилиндр, ПС – внутренний желтый цилиндр

Fig. 3. Determination of the boundaries for Conflict Management layers using the separation-based "Hockey puck" method; aircraft separation assurance – the outer gray cylinder; collision avoidance – the inner yellow cylinder

Критика. Такой подход чрезвычайно привлекателен своей простотой и наглядностью. Однако в случае широкомасштабного применения дронов в городской среде (доставка, наблюдение и т. д.) применение настолько консервативного подхода приведет к тому, что емкость воздушного пространства будет использоваться недостаточно эффективно для того, чтобы обеспечить коммерческую привлекательность решений на основе дронов. Мы уверены, что этот подход к УКС будет отличным первым шагом для различных сервисов на основе БЛА в пригородных и удаленных областях.

Таблица 1
Table 1

Сепарирующие расстояния для ОЭ и ПС в зависимости от застройки среды использования
Separation distances for aircraft separation assurance and collision avoidance depending on the environment development

	Горизонтальное разнесение, d_H	Вертикальное разнесение, d_V
Пригороды и удаленные области [25]		
ОЭ	600–1500 м	75–90 м
ПС	150 м	30 м
Городская среда [26]		
ОЭ	6 м	7,3 м
ПС	3 м	3,7 м

Рекомендации относительно городской среды были предложены в [26], где также были определены размеры цилиндров для объемов обеспечения эшелонирования и избегания столкновения (7,5–8 м на 6 м и 4 на 2 метра соответственно). В этой работе БЛА двигались между зданиями нескольких конфигураций. Как отмечают авторы, вероятность столкновения значительно уменьшается, если дроны обладают функционалом обнаружения объектов, потенциально способных нарушить объемы ОЭ и ПС заранее (с 6–8-секундным горизонтом обнаружения конфликтов). В статье описываются довольно сложные и адаптивные (приоритизация объектов и буферные объемы могут меняться во времени) методы разрешения конфликтов для избегания столкновений как со статичными, так и с мобильными объектами.

Критика. С одной стороны, эти рекомендации довольно либеральны и могут быть применены для УКС плотных воздушных потоков в городской среде. С другой стороны, алгоритм разрешения конфликтов весьма сложен, что может привести к высоким требованиям к вычислительным мощностям в случае большого количества потенциальных столкновений. К тому же необходим анализ более широкого набора конфигураций городской среды.

Если принять во внимание вышеописанные подходы к определению трех уровней УКС, то становится очевидным, что каждый из уровней выдвигает собственные требования к технологиям и системам связи, обеспечивающим успешную работу этого уровня.

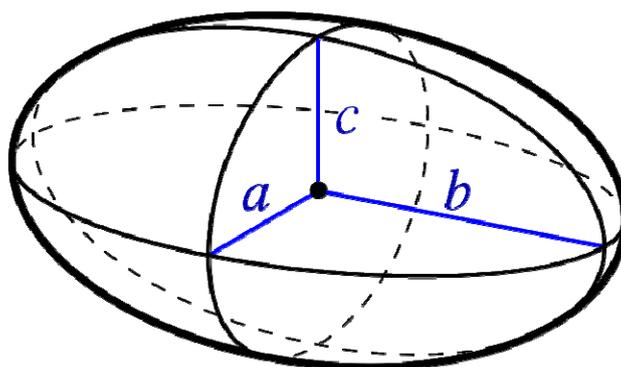


Рис. 4. Определение границ уровней УКС (показан один уровень) на основе расстояния по методу эллипсоида; размеры a , b , c зависят от вектора скорости движения и массы БЛА
Fig. 4. Determination of the boundaries for Conflict Management layers using the separation-based ellipsoid method (a single CM layer is given); dimensions a , b , c depend on the UAV velocity vector and weight

Работы [24, 26] используют цилиндрическую форму объемов ОЭ и ПС, так как эта модель довольно проста геометрически и привычна для авиационных экспертов из-за предыдущего опыта использования для УКС самолетов. БЛА обладают большей гибкостью в направлении и скорости движения, поэтому в [27] было предложено использовать эллипсоид, размеры которого менялись бы в зависимости от скорости и направления движения БЛА. Этот подход представляется наиболее подходящим для роторных БЛА. К сожалению, работа [27] не предоставляет методики расчета размеров этих эллипсоидов.

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ КОНФЛИКТОВ

Беспроводные системы связи играют огромную роль в системах ОрВД и УТБ. По очевидным причинам вся связь с летающими объектами – беспроводная. Например, ключевой технологией для пилотной авиации является автоматическое зависимое наблюдение радиовещания

тельного типа – АЗН-В (англ. Automatic Dependent Surveillance – Broadcast или ADS-B), проблематика применения которой рассматривается в [28]. Благодаря этой технологии авиасуда транслируют каждые 500 мс свое местоположение, оцененное с помощью спутников. Эта информация может быть принята и использована как наземными системами контроля и управления воздушным движением, так и другими бортами (для обеспечения ситуационной осведомленности и оперативной сепарации). Другим примером является коммуникация между пилотами и авиадиспетчерами.

В этой части статьи выделяются некоторые из технологий, которые могут быть использованы на разных уровнях УКС. Более того, описываются несколько АЗН-В-подобных решений для УТБ.

Технологии связи для стратегического разрешения конфликтов

Стратегическое УКС не предъявляет жестких требований к задержкам и емкости каналов. Наиболее важной характеристикой становится покрытие. В вышеупомянутом рабочем документе ИКАО, посвященном УТБ, особое внимание уделяется сотовым сетям четвертого поколения (Long Term Evolution – LTE), а также комбинированию наземных и спутниковых сетей, так как эти технологии позволяют добиться глобального покрытия. Действительно, сотовые сети предлагают широкие зоны покрытия, и их пропускной способности должно быть достаточно для каналов контроля и управления. К тому же консорциум 3GPP уже предпринял шаги по включению БЛА в сети сотовой связи^{10,11,12,13}.

Хотя сотовые сети кажутся идеальным кандидатом на роль технологии связи для УТБ, многие академические работы указывают на потенциальные проблемы при использовании пользовательского оборудования LTE на БЛА в полете. Такой режим использования понадобится для обмена информацией с системами УТБ (например, о погодных условиях). Так, авторы [29–31] демонстрируют посредством статистических или полудетерминистских симуляций, что БЛА всегда имеют канал прямой видимости (ПВ) с несколькими базовыми станциями (БС). Тогда как это является преимуществом при связи с обслуживающей БС, наличие каналов ПВ с другими БС вызывает повышение уровней интерференции и, следовательно, снижение надежности коммуникации. Эти выводы подтверждаются измерениями¹⁴ [32–34], сделанными в различных условиях (высота, тип застройки). Общим местом для теоретических и экспериментальных работ является наблюдение, что БЛА обслуживаются через боковые лепестки диаграмм направленности антенн БС. Это происходит из-за оптимизации данных сетей для обслуживания наземных абонентов. Широкий обзор других проблем и возможных решений может быть найден в [9–13].

¹⁰ Korhonen J., Meredith J.M. 36.777: Enhanced LTE support for aerial vehicles. Technical report (TR) [Электронный ресурс] // 3GPP TR Portal. 2017. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3231> (дата обращения: 27.11.2020).

¹¹ Meredith J.M., Pope M. 22.125: Unmanned Aerial System (UAS) support in 3GPP [Электронный ресурс] // 3GPP TR Portal. 2018. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3545> (дата обращения: 27.11.2020).

¹² Meredith J.M., Pope M. 23.754: Study on supporting Unmanned Aerial Systems (UAS) connectivity, Identification and tracking [Электронный ресурс] // 3GPP TR Portal. 2018. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3575> (дата обращения: 27.11.2020).

¹³ Meredith J.M. 23.755: Study on application layer support for Unmanned Aerial Systems (UAS) [Электронный ресурс] // 3GPP TR Portal. 2018. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3588> (дата обращения: 27.11.2020).

¹⁴ LTE Unmanned Aircraft Systems [Электронный ресурс] // Trial Report. 2017. 65 с. URL: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/lte-unmanned-aircraft-systems-trial-report.pdf> (дата обращения: 27.11.2020).

Самым популярным решением является оптимизация высот полета [29, 30]. Но, пожалуй, самые перспективные решение – это формирование диаграмм направленности антенн БС [35–37] в направлении БЛА (в сетях 5-го поколения эта технология используется). Таким образом увеличивается мощность полезного сигнала и уменьшается интерференция в других направлениях.

Технологии связи для тактического разрешения конфликтов

Выбор технологий связи для поддержки УКС на двух уровнях тактического УКС нетривиален из-за различия в определении границ ОЭ и ПС. Пожалуй, ясно одно – предпочтение должно отдаваться системам, где нет необходимости устанавливать соединение со всеми БЛА поблизости, так как это занимает слишком много времени и к тому же крайне небезопасно (соединение открывает дверь атакам различного рода).

Идеальным вариантом могло бы стать использование АЗН-В. Это обеспечило бы совместимость с классической авиацией и сэкономило бы ресурсы, необходимые на разработку альтернативных решений. К сожалению, использование АЗН-В на БЛА вызовет перегруженность частотных ресурсов [38, 39], что вызовет понижение безопасности полетов самолетов. К тому же это дорогое оборудование. Однако понижение мощности передатчика АЗН-В (reduced power ADS-B – RP-ADS-B) несколько улучшает ситуацию [39]: расстояние передачи уменьшается (до 1,3 км), как и частота обновления данных (2–3 секунды). Другой авиационный протокол называется FLARM [40], он изначально разработан для небольших самолетов и вертолетов. Это решение немного дешевле и потребляет меньше энергии. Частота обновления данных: 3 сообщения в секунду. Однако даже самое доступное оборудование (несколько сотен долларов), использующее эти технологии, часто сравнимо с ценой БЛА.

Рассмотрим теперь оборудование, которое часто устанавливается на малые БЛА для связи с пультом управления. Как было показано в [13], Wi-Fi также подвержен интерференции, что отрицательно отражается на возможности установления надежного соединения между двумя приемопередатчиками (двумя БЛА или же БЛА и наземным пультом управления/системой УТБ). Однако при включении информации о координатах и идентификаторе БЛА в Wi-Fi Service Set Identifier (SSID – имя сети) возможно распространение этой критической информации через широкополосный канал в манере, напоминающей АЗН-В [7, 41]. Преимуществами такого решения являются: 1) отсутствие необходимости установления соединения между агентами и 2) БЛА могут обмениваться данными напрямую, без использования наземной инфраструктуры (сотовых сетей).

Так как большинство доступных Wi-Fi-модулей оснащены одной приемопередаточной цепью, операции сканирования и широкополосного SSID не могут быть выполнены одновременно. Анализ, приведенный в [41], показал, что наиболее подходящей схемой является ситуация, когда Wi-Fi модуль сканирует (50 % времени) один канал и транслирует сообщения по всем доступным каналам (оставшиеся 50 % времени). Подобная схема может быть адаптирована для других технологий, в том числе для перечисленных в табл. 2. Необходимо отметить, что многие из этих технологий дешевле в эксплуатации и выглядят более подходящими, чем АЗН-В и FLARM.

Таблица 2
Table 2

Список беспроводных технологий, использование которых рационально для целей УКС
List of wireless technologies that are rational for Conflict Management purposes

Название технологии	Расстояние	Частота отправки сообщений	
		минимальная	измеренная
Bluetooth	100 м	25 мс	
Bluetooth Low Energy	50 м	25 мс	
ZigBee	100 м	25 мс	
ANT	30 м	25 мс	
APRS [43]	20 км	5 с	11–33 с
A3H-B	370 км	0,5 с	
FLARM [41]	10 км	0,3 с	
RP ADS-B [40]	1200 м	0,5 с	2–3 с
Wi-Fi SSID [8, 42]	800 м	60 мс	0,1–0,8 с
LoRa	15 км	5,16 с	5,16–30 с

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поддержка стратегического разрешения конфликтов

Этап предполетного планирования не ставит специфичных задач перед связью. Единственное, что необходимо сделать, – это разработать стандартизированный интерфейс связи дронов с УТБ. Остальное мало отличается от стандартных задач связи с наземными пользователями. Пожалуй, самая популярная задача, которая ставится регуляторными органами, – разработка радиотехнического идентификационного номера БЛА (англ. – Drone ID), который можно было бы сравнить с автомобильным номером. Этой проблемой занимаются многие, в том числе 3GPP (см. сноску 12). Обычно считается, что этот идентификатор будет передаваться совместно с данными о местоположении БЛА, что делает его неотъемлемой частью всех уровней УКС.

Если же мы говорим о стратегическом УКС во время полета, то ситуация становится интереснее. Как было показано выше, сотовые сети четвертого поколения на данный момент не готовы обеспечить надежную связь с БЛА. Можно отметить два основных направления решения этой проблемы: 1) использование других технологий или 2) рациональное использование ресурсов LTE.

Возможным решением может стать одновременное использование сетей нескольких операторов с последующей многопоточковой обработкой сигналов на борту одного БЛА. Благодаря тому, что операторы устанавливают оборудование на разных площадках, а также используют разные частоты, можно добиться дублирования и большей надежности связи. В то же время стоит оценить рациональность применения спутниковых каналов связи с точки зрения их энергоэффективности (включая массу и ее влияние на расход энергии) и задержек.

Наконец, нужно подготовиться к внедрению сетей 5G: особое внимание придется уделить техникам формирования диаграмм направленности (ДН) антенн, а также методам динамического изменения ДН для «слежения» за БЛА. Возможно, что полезно будет предсказывать траектории полета для более качественной подстройки параметров антенных систем. В реше-

нии этой задачи можно попробовать положиться на военные разработки (с соответствующей адаптацией к мирным условиям), где эта задача давно решается. Также, как показано в [37], из-за природы движения БЛА возникает проблема частых хендверов от одной БС к другой. Эту проблему можно попробовать решить кооперацией БС и пропуском некоторых переходов, если нет строгой необходимости в этом переходе [43].

Из-за высокой вероятности наличия канала ПВ с несколькими БС возникает интерференция на канале «пользователь – БС». Пилот-сигнал, посланный одним БЛА, может быть принят несколькими БС, что вызовет ошибки в оценке канальных матриц, а следовательно, снизит спектральную эффективность всей системы. Эта проблема станет еще более актуальной при увеличении количества дронов в воздухе.

Возможно, попытка совместить две рождающиеся технологии (например, системы УТБ и сети следующего поколения 6G) – не самая практичная исследовательская задача, но такая работа может стать прорывной. Одним из самых перспективных концептов для 6G является идея сетей, где центром процессов является пользователь (т. н. user-centric). Развитие этой идеи приводит к созданию бессотовых сетей (от англ. cell-free), описанных в [44–47]. На данный момент я встречал только две статьи, в которых БЛА были пользователями таких сетей [48] или использовались как носитель БС [49]. Динамика внимания к этим работам показывает определенный интерес к таким исследованиям.

Важнейшей частью систем УТБ является обнаружение и локализация БЛА. Во-первых, необходимо понимать, есть ли в воздушном пространстве дроны, не зарегистрированные в УТБ или с неисправным оборудованием. Во-вторых, даже при условии, что БЛА обменивается данными с УТБ, верификация данных необходима. Повсеместная установка наземных радаров не представляется рациональной с экономической точки зрения. Эту задачу можно решать на основе камер, звуковых и радиосенсоров [50–52]. Краткий обзор возможных решений может быть найден в [53], где также предложена система обнаружения, основанная на БЛА-наблюдателях. Действительно, применение латинского принципа *similia similibus curentur* (более известного, как «клин клином вышибают») оправдано в этом случае, так как БЛА имеет гораздо большую вероятность быть в прямой видимости с другим БЛА, нежели чем с наземным сенсором. Это повышает надежность обнаружения и точность локализации.

Интересной и важной практической задачей является локализация БЛА с помощью сигналов, полученных LTE БС. Эта задача тривиальна для наземных абонентов, однако модем, установленный на дрон, будет обслуживаться через боковые лепестки БС, что вносит непоправимые ошибки в существующие алгоритмы локализации. Решение этой задачи важно не только для стратегического УКС, но и для тактического.

Поддержка тактического разрешения конфликтов

В предыдущем абзаце я поднял проблему некооперирующих БЛА. Для успешного решения задач ОЭ и ПС (обнаружение конфликта, формирование решения, маневрирование) может понадобиться установка на борт БЛА пассивных и активных радаров [50, 54], разнообразных сенсоров [53, 55] и камер [56]. Интерес к этой области значителен, работа в этом направлении будет полезна. На данный момент непонятно, какой набор сенсоров будет использован и каким образом осуществлять совместную обработку данных от разных сенсоров.

В случае если все БЛА обмениваются информацией (напрямую или через УТБ), то одной из возможных тем исследований можно указать разработку протокола обмена координатами (наподобие адаптивного АЗН-В), в котором параметры бы менялись в зависимости от риска (рис. 4 и его описание). Аутентификация сообщений также должна быть обеспечена, что может быть нетривиально, особенно в системах, где производится широкоэвещательная рассылка, как в АЗН-В [28]. Конечно, очень привлекательной стала бы такая беспроводная технология, кото-

рую можно было бы использовать на всех уровнях УКС. Вполне возможно, что сети пятого поколения 5G смогут удовлетворить всем требованиям, однако эта гипотеза требует проверки (особое внимание советуем уделить интерфейсу PC5, используемому для прямой связи между телефонами в LTE). Не стоит игнорировать и спутниковую связь (особенно спутники на низкой околоземной орбите), хотя это и представляется очень нишевым решением, которое подойдет только довольно тяжелым БЛА (например, транспортникам) из-за их грузоподъемности и относительно больших объемов ОЭ и ПС.

Все перечисленные выше направления исследований связаны с разработкой новых идей и решений в области связи. Однако хотелось бы также отметить, что необходимо закрепить правила движения дронов: стандартные маневры, системы приоритизации движения разных БЛА, методы расчета сепарирующих расстояний в зависимости от параметров дрона и его полетного задания. Четкий подход к рациональной организации и структуризации воздушного пространства должен быть разработан и закреплен законодательно. Пищей для вдохновения могут стать несколько документов Европейского Союза^{15,16}. Наконец, срочно необходим перевод документов ИКАО (сноска 3) на русский язык (учитывая все тонкости и замечания, перечисленные, например, в [57]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время задача построения систем управления движением множества (независимых) БЛА является чрезвычайно актуальной. Основные функции этих систем уже определены (и описаны в этой статье), но нам только предстоит разработать конкретные технические решения для осуществления этих функций. Управление конфликтными ситуациями – ключевая проблема, которая будет решаться системами УТБ. В этой статье дан обзор уровней УКС и обозначен набор беспроводных технологий, способных помочь обеспечить безопасность движения БЛА в системах управления будущего. Необходимо отметить, что сети 5G являются самым многообещающим кандидатом при условии, что можно будет перенести успешные решения из других технологий (например, широкополосную отправку сообщений, содержащих идентификационный номер БЛА и его местоположение). Однако отмечено, что актуальной проблемой также является разработка полезной нагрузки БЛА, которая помогла бы увеличить автономность БЛА через повышение осведомленности об окружающих объектах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я благодарю профессора Софи Поллан (KU Leuven) за поддержку идеи написания этой статьи, за очень важные и ценные дискуссии на тему развития технологий БЛА, выводы из которых частично отражены в данной работе. Хочу также поблагодарить Андрея Котусова, Дмитрия Ковалева и Валерию Савич за помощь в редактировании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Doole M., Ellerbroek J., Hoekstra J.** Drone delivery: urban airspace traffic density estimation // Eighth SESAR Innovation Days, 3–7 December 2018. 8 p.

¹⁵ U-Space Concept of operations: Enhanced overview [Электронный ресурс] // SESAR-JU, 2019. 92 с. URL: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol2.pdf> (дата обращения: 27.01.2021).

¹⁶ Initial view on Principles for the U-space architecture [Электронный ресурс] // SESAR-JU, 2019. 19 с. URL: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/SESAR%20principles%20for%20U-space%20architecture.pdf> (дата обращения: 27.01.2021).

2. **Haddad C.** Factors affecting the adoption and use of urban air mobility / C. Haddad, E. Chaniotakis, A. Straubinger, K. Plötner, C. Antoniou // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020. Vol. 132. Pp. 696–712. DOI: 10.1016/j.tra.2019.12.020
3. **PytlikZillig L.M.** Public opinions of unmanned aerial technologies in 2014–2019: a technical and descriptive report / L.M. PytlikZillig, J.C. Walther, C. Detweiler, S. Elbaum, A. Houston [Электронный ресурс] // University of Nebraska Public Policy Center, Lincoln. 2020. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=lpz> (дата обращения: 10.11.2020).
4. **Cohn P.** Commercial drones are here: the future of unmanned aerial systems / P. Cohn, A. Green, M. Langstaff, M. Roller [Электронный ресурс] // McKinsey&Company. 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/commercial-drones-are-here-the-future-of-unmanned-aerial-systems> (дата обращения: 10.11.2020).
5. **Sandvik K.B.** African drone stories // *BEHEMOTH – A Journal on Civilisation*. 2015. Vol. 8, no. 2. Pp. 73–96. DOI: 10.6094/behemoth.2015.8.2.870
6. **Безбородова О.Е.** Экономические и правовые вопросы использования беспилотных воздушных судов для обеспечения техносферной безопасности / О.Е. Безбородова, В.В. Шерстнев, О.С. Виноградов, Н.А. Виноградова // *Fortus: экономические и политические исследования*. 2018. № 2 (2). С. 19–26.
7. **Vinogradov E., Minucci F., Pollin S.** Wireless communication for safe UAVs: from long-range deconfliction to short-range collision avoidance // *IEEE Vehicular Technology Magazine*. 2020. Vol. 15, iss. 2. Pp. 88–95. DOI: 10.1109/MVT.2020.2980014
8. **Motlagh N.H., Taleb T., Arouk O.** Low-altitude unmanned aerial vehicles-based internet of things services: comprehensive survey and future perspectives // *IEEE Internet of Things Journal*. 2016. Vol. 3, iss. 6. Pp. 899–922. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2612119
9. **Gupta L., Jain R., Vaszkun G.** Survey of important issues in UAV communication networks [Электронный ресурс] // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18, iss. 2. Pp. 1123–1152. DOI: 10.1109/COMST.2015.2495297 (дата обращения: 10.11.2020).
10. **Hayat S., Yanmaz E., Muzaffar R.** Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: a communications viewpoint [Электронный ресурс] // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18, iss. 4. Pp. 2624–2661. DOI: 10.1109/COMST.2016.2560343 (дата обращения: 10.11.2020).
11. **Zeng Y., Wu Q., Zhang R.** Accessing from the sky: a tutorial on UAV communications for 5G and beyond // *Proceedings of the IEEE*. 2019. Vol. 107, iss. 12. Pp. 2327–2375. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2952892
12. **Mozaffari M.** A tutorial on UAVs for wireless networks: applications, challenges, and open problems / M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y. Nam, M. Debbah [Электронный ресурс] // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2019. Vol. 21, iss. 3. Pp. 2334–2360. DOI: 10.1109/COMST.2019.2902862 (дата обращения: 14.11.2020).
13. **Vinogradov E.** Tutorial on UAVs: a blue sky view on wireless communication / E. Vinogradov, H. Sallouha, S. De Bast, M.M. Azari, S. Pollin // *Journal of Mobile Multimedia*. 2020. Vol. 14, iss. 4. Pp. 395–468. DOI: 10.13052/jmm1550-4646.1443
14. **Бондарев А.Н., Киричек Р.В.** Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах [Электронный ресурс] // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2016. Т. 4, № 4. С. 13–23. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/13-23.pdf> (дата обращения: 14.11.2020).
15. **Пантелеймонов И.Н.** Основные направления создания высоконадежной системы связи и управления БПЛА / И.Н. Пантелеймонов, А.В. Белозерцев, А.А. Монастыренко, В.В. Боцва, А.В. Наумкин // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2020. № 6 (723). С. 78–88. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-6-78-88

16. **Braun S., Friedewald M., Valkenburg G.** Civilizing drones: military discourses going civil? // *Science & Technology Studies*. 2015. Vol. 28, no. 2. Pp. 73–87. DOI: 10.23987/sts.55351
17. **Веремеенко К.К.** Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / К.К. Веремеенко, С.Ю. Желтов, Д.А. Козорез, М.Н. Красильщиков, Н.В. Ким и др. / Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 556 с.
18. **Верба В.С., Татарский Б.Г.** Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн. 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА: монография / Под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. М.: Радиотехника, 2016. 512 с.
19. **Верба В.С., Татарский Б.Г.** Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА: монография / Под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. М.: Радиотехника, 2016. 824 с.
20. **Kopardekar P.** Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations / P. Kopardekar, J. Rios, T. Prevot, M. Johnson, J. Jung, J.E. Robinson // 16th AIAA Aviation Technology Integration and Operations Conference. Washington, D.C., 13–17 June 2016. DOI: 10.2514/6.2016-3292
21. **Lappas V.** EuroDRONE, a european UTM testbed for U-Space / V. Lappas, G. Zoumpopoulos, V. Kostopoulos, H. Shin and others // International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). Athens, Greece, 1–4 September 2020. Pp. 1766–1774.
22. **Kunzi F.** Framework for risk-based derivation of performance and interoperability requirements for UTM avionics // IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC). Sacramento, CA, 2016. Pp. 1–10. DOI: 10.1109/DASC.2016.7778050
23. **Belkhouche F.** Modeling and calculating the collision risk for air vehicles // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2013. Vol. 62, no. 5. Pp. 2031–2041. DOI: 10.1109/TVT.2013.2238265
24. **Weinert A.** Well-clear recommendation for small unmanned aircraft systems based on unmitigated collision risk / A. Weinert, S. Campbell, A. Vela, D. Schuldt, J. Kurucar // *Journal of Air Transportation*. 2018. Vol. 26, no. 3. Pp. 113–122. DOI: 10.2514/1.D0091
25. **Schroth F.** The DRL sets world record with drone whizzing at 179.6 mph [Электронный ресурс] // *dronelife*. 2017. URL: <https://dronelife.com/2017/07/14/drone-racing-league-drl-builds-fastest-racing-drone/#:~:text=The%20fastest%20racing%20drone%2C%20the,46%2C000%20RPMs> (дата обращения: 20.11.2020).
26. **Johnson S.C., Petzen A., Tokotch D.** Exploration of detect-and-avoid and well-clear requirements for small UAS maneuvering in an urban environment // 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. Denver, Colorado 5–9 June 2017. DOI: 10.2514/6.2017-3074
27. **Geister D.** Concept for urban airspace integration DLR U-Space blueprint [Электронный ресурс] // *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt*. 2017. URL: https://www.dlr.de/dlr/presse/Portaldata/1/Resources/documents/2017/Concept_for_Urban_Airspace_Integration.pdf (дата обращения: 20.11.2020).
28. **Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И., Хамматов Р.Р.** Обзор основных путей повышения безопасности системы АЗН-В // *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2019. Т. 22, № 1. С. 39–50. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-1-39-50
29. **Colpaert A., Vinogradov E., Pollin S.** Aerial coverage analysis of cellular systems at LTE and mmWave frequencies using 3D city models [Электронный ресурс] // *Sensors*. 2018. Vol. 18, no. 12. ID 4311. DOI: 10.3390/s18124311 (дата обращения: 20.11.2020).
30. **Azari M.M.** Coexistence of terrestrial and aerial users in cellular networks / M.M. Azari, F. Rosas, A. Chiumento, S. Pollin // 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). Singapore, 2017. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2017.8269068

31. Lyu J., Zhang R. Network-connected UAV: 3-D system modeling and coverage performance analysis [Электронный ресурс] // IEEE Internet of Things Journal. 2019. Vol. 6, no. 4. Pp. 7048–7060. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2913887 (дата обращения: 20.11.2020).

32. Van Der Bergh B., Chiumento A., Pollin S. LTE in the sky: Tradingoff propagation benefits with interference costs for aerial nodes // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54, no. 5. Pp. 44–50. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7470934

33. Fakhreddine A. Handover challenges for cellular-connected drones / A. Fakhreddine, C. Bettstetter, S. Hayat, R. Muzaffar, D. Emini // Proceedings of the 5th Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications DroNet. Association for Computing Machinery, 2019. Pp. 9–14. DOI: 10.1145/3325421.3329770

34. Hayat S. An experimental evaluation of LTE-A throughput for drones / S. Hayat, C. Bettstetter, A. Fakhreddine, R. Muzaffar, D. Emini // Proceedings of the 5th Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications DroNet. Association for Computing Machinery, 2019. Pp. 3–8. DOI: 10.1145/3325421.3329765

35. Huang Y. 3D Beam tracking for cellular-connected UAV / Y. Huang, Q. Wu, T. Wang, G. Zhou, R. Zhang // IEEE Wireless Communications Letters. 2020. Vol. 9, iss. 5. Pp. 736–740. DOI: 10.1109/LWC.2020.2968312

36. Huang Y. Massive MIMO for cellular-connected UAV: challenges and promising solutions / Y. Huang, Q. Wu, R. Lu, X. Peng, R. Zhang // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59, no. 2. Pp. 84–90. DOI: 10.1109/MCOM.001.2000552

37. Colpaert A., Vinogradov E., Pollin S. 3D beamforming and handover analysis for UAV networks // 2020 IEEE Globecom Workshops. GC Wkshps, 2020. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/GCWkshps50303.2020.9367570

38. Strohmeier M. Realities and challenges of nextgen air traffic management: the case of ADS-B / M. Strohmeier, M. Schafer, V. Lenders, I. Martinovic // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52, no. 5. Pp. 111–118. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6815901

39. Consiglio M. Sense and avoid characterization of the independent configurable architecture for reliable operations of unmanned systems / M. Consiglio, B. Duffy, S. Balachandran, C. Munoz, L. Glaab [Электронный ресурс] // Thirteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2019). NTRS – NASA Technical Reports Server. URL: http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar13/papers/ATM_Seminar_2019_paper_50.pdf (дата обращения: 27.11.2020).

40. Marques M. Sense and avoid implementation in a small unmanned aerial vehicle / M. Marques, A. Brum, S. Antunes, J.G. Mota // 13th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing (CONTROLO). Ponta Delgada, 2018. DOI: 10.1109/CONTROLO.2018.8514548

41. Minucci F., Vinogradov E., Pollin S. Avoiding collisions at any (low) cost: ADS-B like position broadcast for UAVs [Электронный ресурс] // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 121843–121857. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3007315 (дата обращения: 27.11.2020).

42. Lin C.E., Shao P.C., Lin Y.Y. System operation of regional UTM in Taiwan [Электронный ресурс] // Aerospace. 2020. Vol. 7, iss. 5. Pp. 7–65. DOI: 10.3390/aerospace7050065 (дата обращения: 27.11.2020).

43. Arshad R. Velocity-aware handover management in two-tier cellular networks / R. Arshad, H. ElSawy, S. Sorour, T.Y. Al-Naffouri, M. Alouini [Электронный ресурс] // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2017. Vol. 16, no. 3. Pp. 1851–1867. DOI: 10.1109/TWC.2017.2655517 (дата обращения: 27.11.2020).

44. Ngo H.Q. Cell-free massive MIMO: uniformly great service for everyone / H.Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E.G. Larsson, T.L. Marzetta // 2015 IEEE 16th International Workshop on

Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2015. Pp. 201–205. DOI: 10.1109/SPAWC.2015.7227028

45. Buzzi S., D'Andrea C. Cell-free massive MIMO: user-centric approach // IEEE Wireless Communications Letters. 2017. Vol. 6, no. 6. Pp. 706–709. DOI: 10.1109/LWC.2017.2734893

46. Ngo H.Q. Cell-free massive MIMO versus small cells / H.Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E.G. Larsson, T.L. Marzetta // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2017. Vol. 16, no. 3. Pp. 1834–1850. DOI: 10.1109/TWC.2017.2655515

47. Zhang J. Cell-free massive MIMO: a new next-generation paradigm / J. Zhang, S. Chen, Y. Lin, J. Zheng, B. Ai, L. Hanzo [Электронный ресурс] // IEEE Access. 2019. Vol. 7. Pp. 99878–99888. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2930208 (дата обращения: 27.11.2020).

48. D'Andrea C. Cell-free massive MIMO for UAV communications / C. D'Andrea, A. Garcia-Rodriguez, G. Geraci, L.G. Giordano, S. Buzzi // 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), 2019. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICCW.2019.8756714

49. Shokry M. Leveraging UAVs for coverage in cell-free vehicular networks: a deep reinforcement learning approach / M. Shokry, D. Ebrahimi, C. Assi, S. Sharafeddine, A. Ghryeb [Электронный ресурс] // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2020. DOI: 10.1109/TMC.2020.2991326 (дата обращения: 11.12.2020).

50. Vinogradov E., Kovalev D.A., Pollin S. Simulation and detection performance evaluation of a UAV-mounted passive radar [Электронный ресурс] // IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2018. Pp. 1185–1191. DOI: 10.1109/PIMRC.2018.8580940 (дата обращения: 11.12.2020).

51. Sallouha H. Localization in ultra narrow band IoT networks: design guidelines and tradeoffs / H. Sallouha, A. Chiumento, S. Rajendran, S. Pollin [Электронный ресурс] // IEEE Internet of Things Journal. 2019. Vol. 6, no. 6. Pp. 9375–9385. DOI: 10.1109/IJOT.2019.2931628 (дата обращения: 11.12.2020).

52. Guvenc I. Detection, tracking, and interdiction for amateur drones / I. Guvenc, F. Koohifar, S. Singh, M.L. Sichitiu, D. Matolak // IEEE Communications Magazine. 2018. Vol. 56, no. 4. Pp. 75–81. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700455

53. Azari M.M. Key technologies and system trade-offs for detection and localization of amateur drones / M.M. Azari, H. Sallouha, A. Chiumento, S. Rajendran, E. Vinogradov, S. Pollin // IEEE Communications Magazine. 2018. Vol. 56, no. 1. Pp. 51–57. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700442

54. Hügler P. Radar taking off: new capabilities for UAVs / P. Hügler, F. Roos, M. Schartel, M. Geiger, C. Waldschmidt // IEEE Microwave Magazine. 2018. Vol. 19, no. 7. Pp. 43–53. DOI: 10.1109/MMM.2018.2862558

55. Gageik N., Benz P., Montenegro S. Obstacle detection and collision avoidance for a UAV with complementary low-cost sensors [Электронный ресурс] // IEEE Access. 2015. Vol. 3. Pp. 599–609. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2432455 (дата обращения: 27.01.2021).

56. Rozantsev A., Lepetit V., Fua P. Detecting flying objects using a single moving camera // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2017. Vol. 39, no. 5. Pp. 879–892. DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2564408

57. Шаров В.Д., Елисеев Б.П., Воробьев В.В. Анализ недостатков в описании процедур управления риском безопасности полетов в документах ИКАО // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 2. С. 49–61. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-2-49-61

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Виноградов Евгений Алексеевич, доктор философии (PhD), научный сотрудник кафедры электротехники факультета Инженерно-технических наук Левенского католического университета (KU Leuven), evgenii.vinogradov@kuleuven.be.

KEY WIRELESS COMMUNICATION TECHNOLOGIES TO SUPPORT TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR CIVIL APPLICATION (REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

Evgenii A. Vinogradov¹
¹KU Leuven, Leuven, Belgium

ABSTRACT

Not less than one hundred thousand Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are expected to perform flights simultaneously in Russia by 2035. The UAV fleet capacity triggers the development of the systems for informational support, operating control and management of UAV flights (Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) systems) similar to that one already operating in manned aviation. The challenges arising in the sphere of civil aviation cannot be solved without wireless communication. The goals of this article are as follows: 1) familiarization of communication experts with the latest scientific developments of unmanned aerial technologies 2) description of the telecommunication-related problems of extensive systems of UAV control encountered by development engineers. In this article a schematic architecture and main functions of UTM systems are described as well as the examples of their implementation. Special emphasis is put on enhancing flight safety by means of a rational choice of communication technologies to manage conflicts (Conflict Management) known as "collision avoidance". The article analyzes the application of a wide range of wireless technologies ranging from Wi-Fi and Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) to 5G cellular networks as well as cell-free networks contributing to the development of 6G communication networks. As a result of the analysis, a list of promising research trends at the intersection of the fields of wireless communication and UAVs for civil application is made.

Key words: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM), conflict management, 5G, ICAO.

REFERENCES

1. **Doole, M., Ellerbroek, J. and Hoekstra, J.** (2018). *Drone delivery: urban airspace traffic density estimation*. Eighth SESAR Innovation Days, 8 p.
2. **Haddad, C., Chaniotakis, E., Straubinger, A., Plötner, K. and Antoniou, C.** (2020). *Factors affecting the adoption and use of urban air mobility*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 132, pp. 696–712. DOI: 10.1016/j.tra.2019.12.020
3. **PytlíkZillig, L.M., Walther, J.C., Detweiler, C., Elbaum, S. and Houston, A.** (2020). *Public opinions of unmanned aerial technologies in 2014-2019: a technical and descriptive report*. University of Nebraska Public Policy Center, Lincoln. Available at: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=lpz> (accessed 10.11.2020).
4. **Cohn, P., Green, A., Langstaff, M. and Roller, M.** (2017). *Commercial drones are here: the future of unmanned aerial systems*. McKinsey&Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/commercial-drones-are-here-the-future-of-unmanned-aerial-systems> (accessed 10.11.2020).
5. **Sandvik, K.B.** (2015). *African drone stories*. BEHEMOTH – A Journal on Civilisation, vol. 8, no. 2, pp. 73–96. DOI: 10.6094/behemoth.2015.8.2.870
6. **Bezborodova, O.E., Sherstnev, V.V., Vinogradov, O.S. and Vinogradova, N.A.** (2018). *Economic and legal issues of the use of wrong motor aircraft to ensure technosphere safety*. Fortus: Economy & Political Researches, no. 2 (2), pp. 19–26. (in Russian)
7. **Vinogradov, E., Minucci, F. and Pollin, S.** (2020). *Wireless communication for safe UAVs: from long-range deconfliction to short-range collision avoidance*. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 15, issue 2, pp. 88–95. DOI: 10.1109/MVT.2020.2980014

8. **Motlagh, N.H., Taleb, T. and Arouk, O.** (2016). *Low-altitude unmanned aerial vehicles-based internet of things services: comprehensive survey and future perspectives*. IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, issue 6, pp. 899–922. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2612119
9. **Gupta, L., Jain, R. and Vaszkun, G.** (2016). *Survey of important issues in UAV communication networks*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, issue 2, pp. 1123–1152. DOI: 10.1109/COMST.2015.2495297 (accessed 10.11.2020).
10. **Hayat, S., Yanmaz, E. and Muzaffar, R.** (2016). *Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: a communications viewpoint*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, issue 4, pp. 2624–2661. DOI: 10.1109/COMST.2016.2560343 (accessed 10.11.2020).
11. **Zeng, Y., Wu, Q. and Zhang, R.** (2019). *Accessing from the sky: a tutorial on UAV communications for 5G and beyond*. Proceedings of the IEEE, vol. 107, issue 12, pp. 2327–2375. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2952892
12. **Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Nam, Y. and Debbah, M.** (2019). *A tutorial on UAVs for wireless networks: applications, challenges, and open problems*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, issue 3, pp. 2334–2360. DOI: 10.1109/COMST.2019.2902862 (accessed 14.11.2020).
13. **Vinogradov, E., Sallouha, H., De Bast, S., Azari, M.M. and Pollin, S.** (2020). *Tutorial on UAVs: a blue sky view on wireless communication*. Journal of Mobile Multimedia, vol. 14, issue 4, pp. 395–468. DOI: 10.13052/jmm1550-4646.1443
14. **Bondarev, A.N. and Kirichek, R.V.** (2016). *Overview of unmanned aerial apparatus for general use and regulation of air UAV movement in different countries*. Telecom IT, vol. 4, no. 4, pp. 13–23. Available at: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/13-23.pdf> (accessed 14.11.2020). (in Russian)
15. **Panteleymonov, I.N., Belozertsev, A.V., Monastyrenko, A.A., Botsva, V.V. and Naumkin, A.V.** (2020). *The main trends in developing highly reliable communication and control systems for unmanned aerial vehicles*. BMSTU Journal of Mechanical Engineering, no. 6 (723), pp. 78–88. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-6-78-88 (in Russian)
16. **Braun, S., Friedewald, M. and Valkenburg, G.** (2015). *Civilizing drones: military discourses going civil?* Science & Technology Studies, vol. 28, no. 2, pp. 73–87. DOI: 10.23987/sts.55351
17. **Veremeenko, K.K., Zheltov, S.Yu., Kozorez, D.A., Krasilshchikov, M.N. and others.** (2009). *Sovremennyye informatsionnye tehnologii v zadachakh navigatsii i navedeniya bespilotnykh manevrennykh letatelnykh apparatov* [Modern IT for UAV navigation and targeting], in M.N. Krasilshchikov, G.G. Sebyakov (Eds.). Moscow: FIZMATLIT, 556 p. (in Russian)
18. **Verba, V.S. and Tatarsky, B.G.** (2016). *Kompleksy s bespilotnymi letatelnyimi apparatami v 2-kh knigakh: Monografiya* [Complexes with unmanned aerial vehicles in 2 books: Monograph]. Kniga 1. Printsipy postroeniya i osobennosti primeneniya kompleksov s BLA [Principles of construction and usage features of complexes with UAVs]. Moscow: Radiotekhnika, 512 p. (in Russian)
19. **Verba, V.S. and Tatarsky, B.G.** (2016). *Kompleksy s bespilotnymi letatelnyimi apparatami v 2-kh knigakh: Monografiya* [Complexes with unmanned aerial vehicles in 2 books: Monograph]. Kniga 2. Robototekhnicheskie kompleksy na osnove BLA [Robotic systems based on UAVs]. Moscow: Radiotekhnika, 824 p. (in Russian)
20. **Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J. and Robinson, J.E.** (2016). *Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations*. 16th AIAA Aviation Technology Integration and Operations Conference, Jun. 2016. DOI: 10.2514/6.2016-3292
21. **Lappas, V., Zoumponos, G., Kostopoulos, V., Shin, H. and others.** (2020). *Euro-DRONE, a european UTM testbed for U-Space*. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Athens, Greece, pp. 1766–1774.

22. **Kunzi, F.** (2016). *Framework for risk-based derivation of performance and interoperability requirements for UTM avionics*. IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC), Sacramento, CA, pp. 1–10. DOI: 10.1109/DASC.2016.7778050
23. **Belkhouche, F.** (2013). *Modeling and calculating the collision risk for air vehicles*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, no. 5, pp. 2031–2041. DOI: 10.1109/TVT.2013.2238265
24. **Weinert, A., Campbell, S., Vela, A., Schuldt, D. and Kurucar, J.** (2018). *Well-clear recommendation for small unmanned aircraft systems based on unmitigated collision risk*. Journal of Air Transportation, vol. 26, no. 3, pp. 113–122. DOI: 10.2514/1.D0091
25. **Schroth, F.** (2017). *The DRL sets world record with drone whizzing at 179.6 mph*. dronelife. 2017. Available at: <https://dronelife.com/2017/07/14/drone-racing-league-drl-builds-fastest-racing-drone/#:~:text=The%20fastest%20racing%20drone%2C%20the,46%2C000%20RPMs> (accessed 20.11.2020).
26. **Johnson, S.C., Petzen, A. and Tokotch, D.** (2017). *Exploration of detect-and-avoid and well-clear requirements for small UAS maneuvering in an urban environment*. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, June 2017. DOI: 10.2514/6.2017-3074
27. **Geister, D.** (2017). *Concept for urban airspace integration DLR U-Space blueprint*. Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt. Available at: https://www.dlr.de/dlr/presse/Portaldata/1/Resources/documents/2017/Concept_for_Urban_Airspace_Integration.pdf (accessed 20.11.2020).
28. **Kosianchuk, V.V., Selvesiuk, N.I. and Khammatov, R.R.** (2019). *An overview of the main ways to improve the ads-b system security*. Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 1, pp. 39–50. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-1-39-50 (in Russian)
29. **Colpaert, A., Vinogradov, E. and Pollin, S.** (2018). *Aerial coverage analysis of cellular systems at LTE and mmWave frequencies using 3D city models*. Sensors, vol. 18, no. 12, ID 4311. DOI: 10.3390/s18124311 (accessed 20.11.2020).
30. **Azari, M.M., Rosas, F., Chiumento, A. and Pollin, S.** (2017). *Coexistence of terrestrial and aerial users in cellular networks*. 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Singapore, pp. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2017.8269068
31. **Lyu, J. and Zhang, R.** (2019). *Network-connected UAV: 3-D system modeling and coverage performance analysis*. IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 4, pp. 7048–7060. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2913887 (accessed 20.11.2020).
32. **Van Der Bergh, B., Chiumento, A. and Pollin, S.** (2016). *LTE in the sky: trading off propagation benefits with interference costs for aerial nodes*. IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 5, pp. 44–50. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7470934
33. **Fakhreddine, A., Bettstetter, C., Hayat, S., Muzaffar, R. and Emini, D.** (2019). *Handover challenges for cellular-connected drones*. Proceedings of the 5th Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications DroNet, Association for Computing Machinery, pp. 9–14. DOI: 10.1145/3325421.3329770
34. **Hayat, S., Bettstetter, C., Fakhreddine, A., Muzaffar, R. and Emini, D.** (2019). *An experimental evaluation of LTE-A throughput for drones*. Proceedings of the 5th Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications DroNet, Association for Computing Machinery, pp. 3–8. DOI: 10.1145/3325421.3329765
35. **Huang, Y., Wu, Q., Wang, T., Zhou, G. and Zhang, R.** (2020). *3D beam tracking for cellular-connected UAV*. IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, issue 5, pp. 736–740. DOI: 10.1109/LWC.2020.2968312
36. **Huang, Y., Wu, Q., Lu, R., Peng, X. and Zhang, R.** (2021). *Massive MIMO for cellular-connected UAV: challenges and promising solutions*. IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 2, pp. 84–90. DOI: 10.1109/MCOM.001.2000552

37. Colpaert, A., Vinogradov, E. and Pollin, S. (2020). *3D beamforming and handover analysis for UAV networks*. 2020 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps, pp. 1–6. DOI: 10.1109/GCWkshps50303.2020.9367570
38. Strohmeier, M., Schafer, M., Lenders, V. and Martinovic, I. (2014). *Realities and challenges of nextgen air traffic management: the case of ADS-B*. IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 111–118. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6815901
39. Consiglio, M., Duffy, B., Balachandran, S., Munoz, C. and Glaab, L. (2019). *Sense and avoid characterization of the independent configurable architecture for reliable operations of unmanned systems*. Thirteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2019). NTRS – NASA Technical Reports Server. Available at: http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar13/papers/ATM_Seminar_2019_paper_50.pdf (accessed 27.11.2020).
40. Marques, M., Brum, A., Antunes, S. and Mota, J.G. (2018). *Sense and avoid implementation in a small unmanned aerial vehicle*. 13th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing (CONTROLO), Ponta Delgada. DOI: 10.1109/CONTROLO.2018.8514548
41. Minucci, F., Vinogradov, E. and Pollin, S. (2020). *Avoiding collisions at any (low) cost: ADS-B like position broadcast for UAVs*. IEEE Access, vol. 8, pp. 121843–121857. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3007315 (accessed 27.11.2020).
42. Lin, C.E., Shao, P.C. and Lin, Y.Y. (2020). *System operation of regional UTM in Taiwan*. Aerospace, vol. 7, issue 5, pp. 7–65. DOI: 10.3390/aerospace7050065 (accessed 27.11.2020).
43. Arshad, R., ElSawy, H., Sorour, S., Al-Naffouri, T.Y. and Alouini, M. (2017). *Velocity-aware handover management in two-tier cellular networks*. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, no. 3, pp. 1851–1867. DOI: 10.1109/TWC.2017.2655517 (accessed 27.11.2020).
44. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G. and Marzetta, T.L. (2015). *Cell-free massive MIMO: uniformly great service for everyone*. 2015 IEEE 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), pp. 201–205. DOI: 10.1109/SPAWC.2015.7227028
45. Buzzi, S. and D'Andrea, C. (2017). *Cell-free massive MIMO: user-centric approach*. IEEE Wireless Communications Letters, vol. 6, no. 6, pp. 706–709. DOI: 10.1109/LWC.2017.2734893
46. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G. and Marzetta, T.L. (2017). *Cell-free massive MIMO versus small cells*. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, no. 3, pp. 1834–1850. DOI: 10.1109/TWC.2017.2655515
47. Zhang, J., Chen, S., Lin, Y., Zheng, J., Ai, B. and Hanzo, L. (2019). *Cell-free massive MIMO: a new next-generation paradigm*. IEEE Access, vol. 7, pp. 99878–99888. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2930208 (accessed 27.11.2020).
48. D'Andrea, C., Garcia-Rodriguez, A., Geraci, G., Giordano, L.G. and Buzzi, S. (2019). *Cell-free massive MIMO for UAV communications*. 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICCW.2019.8756714
49. Shokry, M., Ebrahimi, D., Assi, C., Sharafeddine, S. and Ghayeb, A. (2020). *Leveraging UAVs for coverage in cell-free vehicular networks: a deep reinforcement learning approach*. IEEE Transactions on Mobile Computing. DOI: 10.1109/TMC.2020.2991326 (accessed 11.12.2020).
50. Vinogradov, E., Kovalev, D.A. and Pollin, S. (2018). *Simulation and detection performance evaluation of a UAV-mounted passive radar*. IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1185–1191. DOI: 10.1109/PIMRC.2018.8580940 (accessed 11.12.2020).
51. Sallouha, H., Chiumento, A., Rajendran, S. and Pollin, S. (2019). *Localization in ultra narrow band IoT networks: design guidelines and tradeoffs*. IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 6, pp. 9375–9385. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2931628 (accessed 11.12.2020).

52. Guvenc, I., Koohifar, F., Singh, S., Sichitiu, M.L. and Matolak, D. (2018). *Detection, tracking, and interdiction for amateur drones*. IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 4, pp. 75–81. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700455

53. Azari, M.M., Sallouha, H., Chiumento, A., Rajendran, S., Vinogradov, E. and Pollin, S. (2018). *Key technologies and system trade-offs for detection and localization of amateur drones*. IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 1, pp. 51–57. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700442

54. Hügler, P., Roos, F., Schartel, M., Geiger, M. and Waldschmidt, C. (2018). *Radar taking off: new capabilities for UAVs*. IEEE Microwave Magazine, vol. 19, no. 7, pp. 43–53. DOI: 10.1109/MMM.2018.2862558

55. Gageik, N., Benz, P. and Montenegro, S. (2015). *Obstacle detection and collision avoidance for a UAV with complementary low-cost sensors*. IEEE Access, vol. 3, pp. 599–609. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2432455 (accessed 27.01.2021).

56. Rozantsev, A., Lepetit, V. and Fua, P. (2017). *Detecting flying objects using a single moving camera*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 39, no. 5, pp. 879–892. DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2564408

57. Sharov, V.D., Eliseev, B.P. and Vorobyov, V.V. (2019). *Analysis of deficiencies in the procedures for the risk management of safety in the ICAO documents*. Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 2, pp. 49–61. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-2-49-61 (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Evgenii A. Vinogradov, Doctor of Philosophy (PhD), Researcher, Electrical Engineering Chair, Faculty of Engineering, KU Leuven, evgenii.vinogradov@kuleuven.be.

Поступила в редакцию 30.12.2020
Принята в печать 25.03.2021

Received 30.12.2020
Accepted for publication 25.03.2021

УДК 658.71.08,519.87

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-93-104

DEVELOPMENT OF BIOMETRIC SYSTEMS FOR PASSENGER IDENTIFICATION BASED ON NOISE-RESISTANT CODING MEANS

A.A. GLADKIKH¹, A.K. VOLKOV¹, T.G. ULASYUK¹

¹*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation Named after Air Chief Marshal B.P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia*

The paper deals with the issues of using the biometric technologies to establish identity of a passenger. The purpose of the article is to analyze the techniques of enhancing reliability of various biometric identification facilities by means of using error correction codes. The basic elements and the principle of the classical biometric system functioning are presented. On the basis of the International Civil Aviation Organization (ICAO) recommendations, the procedure features of pattern recognition are presented. The versions to adopt the biometric passenger authentication procedures are under consideration. The conclusion is drawn that with the centralized biometric databases the issues of confidentiality and information security exist. The problems are characterized by the possibility of biometric images compromise, which can potentially lead to the loss of their confidentiality and the impossibility of their further usage for personal identification. The passenger authentication procedure involving the simultaneous use of biometric parameters and contact-free SMART cards seems more reliable. SMART cards are used for distributed storage of biometric and other additional data, thus neutralizing the disadvantages of access to the centralized databases. It is shown that the subsequent step in the development of this domain is the application of biometric cryptography proposing "linking" encryption keys and passwords with the biometric parameters of the subject. Consideration is given to the principle of "fuzzy extractor" operation as one of the variants for the "biometrics-code" converter. Feasibility and necessity of upgrading the means of noise-resistant coding in the systems being studied are shown. The use of permutation decoding data algorithms capable of adequately corresponding to the particular problems of biometric identification is proposed. On the basis of the results of optical communication channels statistical modeling, the necessary and sufficient conditions for application of the permutation decoding tools for binary codes are determined. The problem to minimize memory amount for the permutation decoder cognitive map due to the permutation orbits allocation and usage of the generated loops combinations as pointers of reference plane is solved. The resulting algorithm for finding a unique orbit number and its corresponding reference plane by means of receiver formation of arbitrary parameters permutation from the set of permissible permutations is proposed.

Key words: passenger, biometrics, authentication, fuzzy extractor, permutation decoding, loop, orbit.

INTRODUCTION

Check and verification of the passenger's identity is one of the procedures of the inspection at an airport. This task is currently assigned to the qualified passport control specialists of the aviation security service, who carry out an inspection of travel documents and identification of passenger identity. In this case occurrence of a human factor can lead to embarkation of a person with wrongful intent. In order to board an aircraft illegally, these people resort to forgery of documents. Nevertheless, with the increase of modern passports security level, it is becoming increasingly difficult for law violators to realize similar actions. An alternative method to avoid forgery of documents, which can be revealed during a passport control, is the illegal use of another person's passport that has a similar appearance to the potential violator. In this case, the detection of falsification depends on experience and training skills of the passport control officer.

In order to neutralize a negative impact of a human factor, a perspective tool is the application of biometric technologies while establishing identity of a passenger. The implementation of these technologies will make it possible to organize quick boarding exits, allowing passengers to scan their travel documents by themselves. After the check of boarding documents and positive authentication, the passenger will be able to board the aircraft through a special gate. Due to this pre-flight inspection organization, the staff of the inspection groups will focus on passengers with a high degree of risk. This will help reduce the requirement of ground personnel and ground handling, by additionally decreasing operating costs. In addition, self-boarding an aircraft can have a positive impact on customer

satisfaction, as it cuts service time significantly. Quick boarding gates can also register various operational data that can help understand the passengers' behavior or satisfaction better.

The purpose of this article is to analyze various biometric personal identification facilities and to detect the ways of increasing efficiency of their operation by applying the updated error correction codes.

CONVENTIONAL BIOMETRIC SYSTEMS

The key components of a standard biometric system are: an input device (registration); a bio parameters extractor; a comparison device (matcher); and a template database [1]. Let us consider the operation principle of the classical biometric passenger identification system (fig. 1).

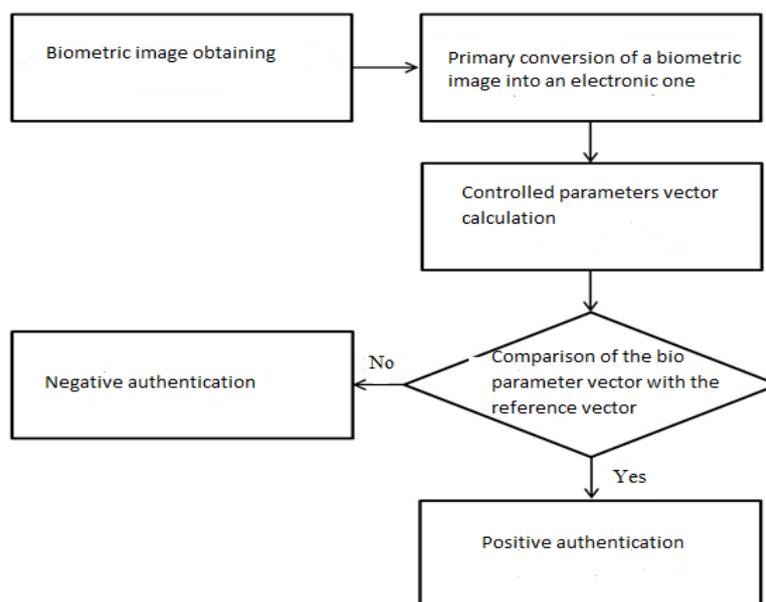


Fig. 1. Flowchart of the biometric authentication procedure

According to Figure 1, the biometric authentication procedure includes the following steps: taking a human biometric sample using an input device; converting the biometric sample into a machine representation using a property extractor; computed the magnitude of similarity between the newly entered biometric sample and the template stored in a centralized database. According to the results, the conclusion about positive or negative authentication is made.

At the heart of the classifier construction, which realizes the comparison of the bio parameters current vector with the reference vector, there are three concepts of decision-making based on pattern recognition methods [2]:

- a distance estimation based concept. The estimation of the proximity of classes (patterns) relative to another class in a given sign space is based on a certain measure of proximity (metric). If there is no correlation between the signs, the measure of Euclid, Pearson, etc. is used. If there is correlation – the distance of Mahalanobis is used.
- a probabilistic approach based concept. This approach assumes the laws and values distribution parameters of the analyzed biometric signs determination. Most often, the classifier is based on Bayesian decision rules.
- a concept based on the boundaries of decision-making. The approach involves minimizing of the criterion value that evaluates the error between the input pattern and the reference one. The operation of classifier is based on the usage of Fisher linear discriminator, neural networks (the multilayer perceptron in particular), etc.

Currently, there are both dynamic and static biometric parameters that are used in identification systems. Dynamic characteristics include a person's voice, signature, and keyboard handwriting, while static characteristics include fingerprints, face, hand geometry, and iris. According to the results of the ICAO¹ specialized working group the proposals to use the passenger faces as a key biometric identifier were developed. One of the main reasons is the possibility of implementing the global compatibility of passport verification systems. It is facilitated by a number of factors, such as people's social acceptance of the ordinary fact that the face is used as a personality identifier, in particular. According to the ICAO recommendation, it was suggested to consider the fingerprint and the iris as additional identifiers.

In general, the procedure of passenger identification by face comprises 4 major stages: entering a biometric sample, detecting the face in the photo, calculating the distances between the key points of the face, and direct identification. Developments in the field of pattern recognition have led to the formation of 2 classes of biometric systems that can analyze 2D and 3D images. Digital passenger identification systems use two-dimensional flat patterns analyzers. The points and distance between the centers of eyes, between the eye line and the nose tip corresponding to the largest nose width, between the eyebrows arches and the lower chin point, between the lower earlobes points, between the nose tip and the lower lips point are analyzed in the portrait of the face [3].

ICAO considers the following techniques for the biometric passenger authentication procedures:

1) Two-way verification, which involves assessment of the matching degree between the presented biometric sample (the image of the passenger's face) and the template stored in the travel document or in the central database.

2) Three-way verification, which involves assessment of the matching degree between all three parties: the presented biometric sample; the template stored in the travel document, and in the central database.

A significant disadvantage of the organization of passenger biometric identification systems based on a single server with the pattern database is the possibility of compromising these patterns, which can potentially lead to loss of their confidentiality. There is a probability of biometric patterns abuse for a purpose unknown to a passenger. Illegal sale of biometric databases to third parties or the rights to use them can be referred to the stated above facts. In case at least the template of one passenger is compromised a probability exists that the entire database may become invalidated. In addition, in contrast to long passwords, which can be recovered if they are lost or stolen, biometric parameters (for example, the passenger's face or fingerprints) are unique and their compromising makes it impossible their further use for personal identification.

Thus, the approach to biometric authentication organization of passengers based on the biometric data centralized storage does not allow us to ensure entirely passengers anonymity. This is due to the fact that the standard biometrics technologies require storage of an open biometric pattern, the extraction of which is equivalent to compromising anonymity of a person. The task of additional security measures for biometric templates implementation or changing the biometric identification procedure organization itself has emerged.

The organization of the passenger authentication procedure with the simultaneous use of biometric parameters and contactless SMART cards (without access to a central database) will allow you to realize additional advantages in the field of information confidentiality. SMART cards are used for distributed storage of biometric and other additional data, thereby neutralizing the disadvantages of the centralized databases. The recorded supplementary information can provide an additional support to a matching device. For example, in the event of the recognition system, expected changes to the face pattern can also be additionally recorded. In case of a fingerprint recognition system, their additional properties combined with the matching threshold value can be recorded. Bank plastic cards, RFID devices, biometric passports, etc. can be used as SMART cards.

¹ DOC 9303 Machine-readable Travel Documents. Part 1. Machine-readable Passports with Biometric Identification Tools. Volume 2 Specifications for Electronic Passports with Biometric Identification Tools Sixth Edition, 2006, 40 p.

Let us consider the operational principle of the similar authentication system comprising a SMART card, a reading terminal, and a communication channel between them [4]. Depending on where the biometric data matching stage is implemented there are two possible approaches to functioning of the similar systems: 1) on the side of the reading terminal; 2) on the side of the SMART card.

1) At the registration stage, the biometric standard, which was previously protected by a noise-resistant code on the terminal side, is recorded on the SMART card. For authentication, the passenger submits the reader terminal both a real biometric parameter and a SMART card. The terminal decodes the encoded reference biometric vector stored on the SMART card by means of transmitting over the communication channel, while simultaneously extracting the vector of bio parameters from the submitted biometric sample of a passenger, and then checks matching.

2) At the registration stage, the open biometric standard is transmitted to the SMART card, which protects it with the noise-resistant code and then saves it in the memory. At the authentication stage, the terminal extracts the vector of bio parameters from the submitted biometric sample of a passenger and transmits it to the SMART card matcher via the communication channel. Simultaneously, the matcher obtains a biometric standard decoded from the card memory. Then the terminal reads the solution computed by the matching device on the SMART card.

In the both considered examples the decision about positive or negative authentication occurs without contacting the database server. If the passenger loses this card, the access is blocked until a new card is received. Even if intruders take possession of the card in order to use it and deceive the authentication system, it will be necessary to present a biometric sample (real or simulated).

Let us analyze the drawback of the first functioning scheme of the analyzed authentication system. It is reasonable to assume that the reading terminals have the necessary computing resources to implement effective noise-resistant encoding and decoding of biometric data [4]. Therefore, a reliable communication channel is a key element of the identification system. The following situation can be considered as a key drawback of the given scheme. Suppose that an error occurred in the code during the data transmission and the reading terminal was able to correct it. Subsequently, the data in the SMART card will be rerecorded onto the original one. Otherwise, an imaginary irrecoverable loss of data in the card memory will be fixed while it is actually preserved.

The advantage of the second operation scheme is an increased level of security against compromise and various attacks due to the fact that the matcher operates directly on the card and the recorded biometric standard is not transmitted beyond its limits. Moreover, a certain disadvantage concerns the small amount of memory and performance of SMART cards integrated circuit. Modern cards can have approximately 4–16 Kb of random access memory (RAM) and 16 to 256 Kb of permanent storage memory. According to ICAO², the minimum memory capacity of an integrated circuit must be at least 32 Kb. This allows you to store a standard photo of a face with 15–20 Kb of size. For this purpose the memory capacity of the circuit can be increased up to 112 Kb. Therefore, the applied noise-resistant code, comprising its redundant part, should not be too large. This volume should correspond to the hardware capabilities of the card. Coupled with the limit for the code redundant information amount, the restriction concerning the card performance requires application of effective noise-resistant coding algorithms to carry out data processing procedures within acceptable time.

BIOMETRIC CRYPTOGRAPHIC SYSTEMS

Further development of the biometric passenger identification systems is directly linked to a new direction in the field of data security – biometric cryptography. Within the framework of this technology, encryption keys or passwords with the biometric parameters of the subject are combined

² DOC 9303 Machine-readable Travel Documents. Part 1. Machine-readable Passports with Biometric Identification Tools. Volume 2 Specifications for Electronic Passports with Biometric Identification Tools Sixth Edition, 2006, 147 p.

on the basis of the "biometrics-code" converters (BCC) usage. These converters, in contrast to the above studied classical biometrics, allow you to convert the original biometric data into a bit (key) sequence, which is then used for subject authentication. In this respect, it is impossible to restore the original biometric pattern from supporting information.

Two basic types of biometric code converters have been distinguished so far: "fuzzy extractors" and neural network biometric code converters. The first version of the biometric code converter is going to be discussed in this paper.

"Fuzzy extractors" are a technique of extracting random, evenly distributed bits sequences from fuzzy (noisy) biometric data, to which error-correcting codes are subsequently applied to correct the unstable bits of the generated key-password [5–9]. The "fuzzy extractor" enables you to receive only one key, which length is assigned as a parameter. Let us study the "fuzzy extractor" model. As an example, Figure 2 demonstrates the key generation scheme using the eye iris.

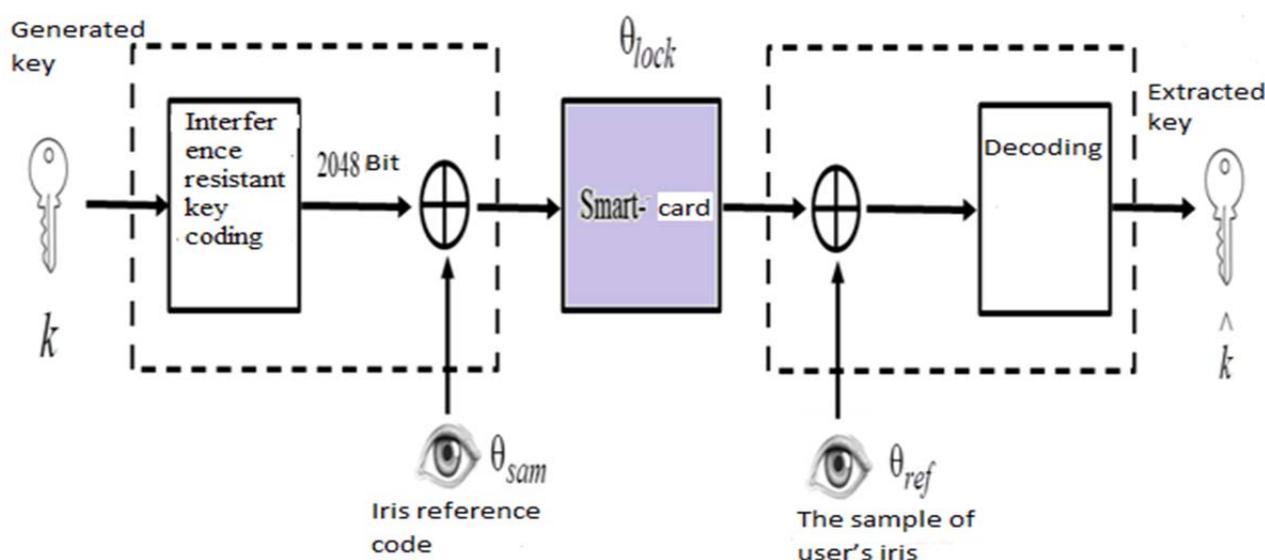


Fig. 2. Biometric key generation scheme by a "fuzzy extractor"

The primary task is to form the sequence k . The sequence must have a random even distribution. Afterwards key noise coding is performed, as a result we obtain the "pseudo-code" of the eye iris θ_{ps} . It is similar to the real iris code, because it has the same length of 2048 bits. A two-layer error correction method is used to correct unstable bits of biometric data. The outer layer uses Hadamard code to fix random errors at the binary level. To fix errors at the internal level (burst bit errors), Reed-Solomon code (RS) is used. Further, the "pseudo-code" is blocked using XOR operation with the reference code of the iris θ_{ref} obtained during the user registration [7]:

$$\theta_{lock} = \theta_{ps} \oplus \theta_{ref}.$$

The results of integration are stored on the physical token T . The results of hashing the key, $H(k)$, are also added to θ_{lock} . Subsequently, the key k must be safely erased. The coding formula can be described in the following way [7]:

$$\langle k, \theta_{ref} \rangle \Rightarrow T : \{ \theta_{lock}, H(k) \}.$$

At the decoding stage, in order to unlock the key, the user is provided with his or her iris θ_{sam} . After conducting XOR operation with lock data θ_{lock} they are sequentially decoded using PC and Hadamard codes to extract biometric key \hat{k} . If the hash key value matches the stored one, i.e. $H(\hat{k}) = H(k)$, in this case the obtained key is recognized as correct. In any other case, the key is considered to be false and will be rejected. The decoding process formula is described as follows:

$$\langle \theta_{sam}, T \rangle \Rightarrow \hat{k}.$$

As it can be seen, the advantage of "fuzzy extractors" over traditional biometrics is the absence of necessity to store directly the biometric standard of the subject. On any physical token, it is only necessary to store an open line, which makes it impossible to restore the subject model.

The effectiveness of "fuzzy extractors" primarily depends on the methods of noise-resistant coding, the disadvantages of which in this type of biometric code converter include [10]:

1. The classical applicable codes such as (Hamming, Hadamard, Bose-Chowdhury-Hawkwingham) introduce redundancy. The greater the correcting code power is, the greater redundancy is and the shorter the generated password key length is.
2. Classical codes are not able to correct a great amount of errors.

Thus, one of the most important ways to improve biometric cryptography systems based on the "fuzzy extractor" is to choose an effective algorithm for noise-resistant coding.

PERMUTATION DECODING IN BIOMETRIC SYSTEMS APPLICATION PROSPECTS

As a result of the analysis, it is shown that the means of noise-resistant coding in the considered systems need to be improved. The following authors in their works [11, 12] propose to use the method of permutation decoding (PD) with elements of cognitive data processing in order to enhance reliability of biometric systems functioning. This approach is based on the use of the cognitive (CD) decoder map whose application allows you to replace the computational process by searching for the finished result in the card with a small amount of additional actions [12]. In addition, there is an opportunity to minimize further decoder cognitive map (CD) amount of memory. Its underlying idea is revealed in this part of the article.

Essential and Sufficient Conditions for Permutation Decoding Implementation

The use of permutation decoding (PD) enables you to execute the procedure of "training" the decoder with the purpose of speeding up the data processing. This is accomplished due to the deterministic component $Dn(t)$, which is the part of the permutation decoding (PD) process. The fact of decoder "training" consists of the ability to identify specific permutations and, without making complex computations, to produce a finished result. The card memory capacity depends on the code dimension and since it is assumed to use non-binary code structures, the problem of such memory rational organization emerges. The decoder cognitive map takes into account the possible code vectors symbols permutations, which directly depend on ratings distribution of character reliability. The result is an equivalent code (EC) formation.

This is provided by the procedure of soft binary or non-binary characters processing and selecting the most reliable characters from the tuple of accepted ones. Thus, a necessary condition for implementation of the data decoding process acceleration is the availability of a cognitive decoder map. Soft values of characters are obtained according to the expression (1):

$$\lambda_i(z) = \left\| \frac{\lambda_{\max}}{\mu\sqrt{E_b}} \times z_i \right\|, \text{ at } 0 \leq z_i \leq \mu\sqrt{E_b}, \quad (1)$$

Where λ_{\max} – is the maximum value of the soft solution (assigned by a designer); μ – is the erasure interval value (usually $0 \leq \mu < 1$); E_b – is one Bit signal energy; z_i – is the objective fixed value of the signal.

It is significant that in quotation 1 the parameters characterizing the communication channel property, for example in noise variance, are not presented. It is advisable to use the method of comparing histograms for non-binary codes.

Results of Statistic Modeling for the Soft Decision Formation System

Let us evaluate the permutation decoding implementation possibilities for some codes. Let the code be the maximum decodable code for which $d_{\min} = n - k + 1$. The equivalent code asymptotic estimation for such type of codes can be determined by the equation $D_{\max}(k) = 10 \lg(k - \frac{k^2}{n} + \frac{k}{n})$ [11]. The mentioned function extremum evaluation results in the equation $2k = n + 1$. This means that permutation decoding is effective when the length of k parameter is half n code vector. The test results are shown in Figure 3.

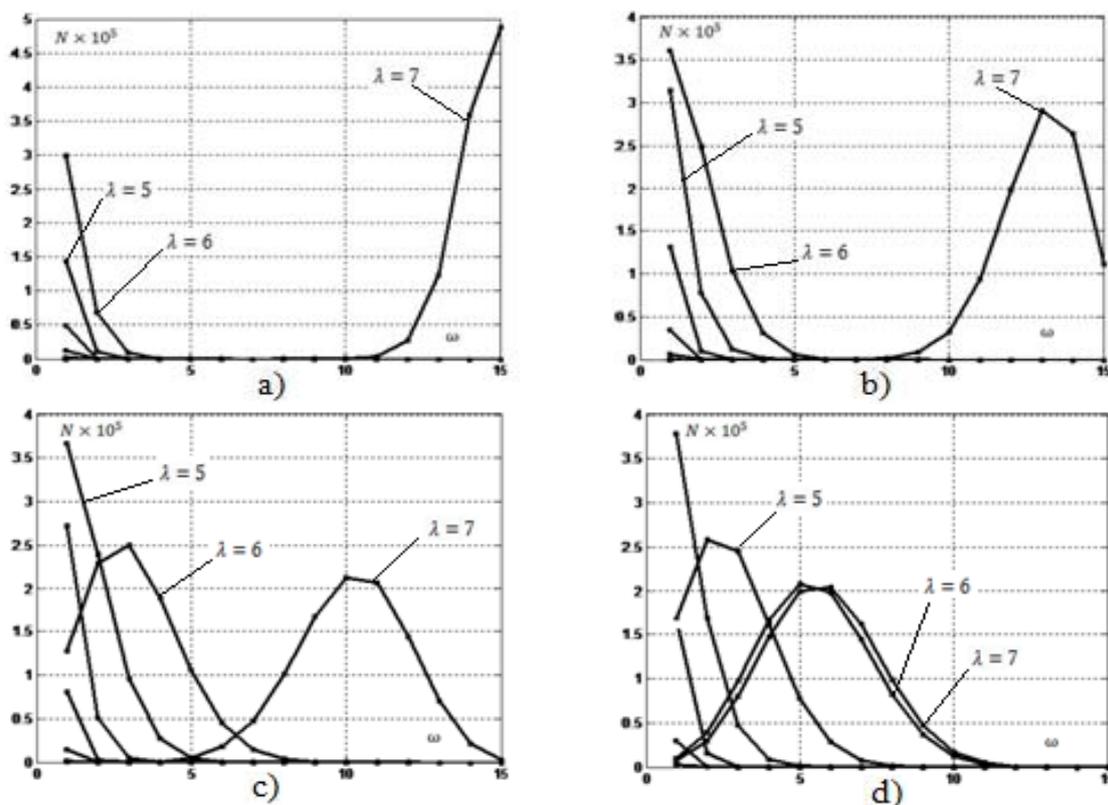


Fig. 3. Occurrence frequency of the soft solutions index in $n = 15$ code vector of length, where
a) $\rho = 0.6$; b) $\rho = 0.7$; c) $\rho = 0.8$; d) $\rho = 0.9$

The fundamentally erasing communication channel can be replaced by a polar coding system and the utilization of the fuzzy set apparatus, but the evaluation of such a solution requires additional research.

Cyclic Properties of Permutations and their Orbits

When organizing the permutation decoding procedure, the decoder according to a certain criterion, must select k reliable characters from n accepted, and in general, we can create similar C_k^n combinations. It is important to note that in the created number of combinations, you can notice certain patterns that are cyclical in nature. In combinatorial calculus, such structures are called orbits. For each orbit, one can indicate the smallest number that underlies the combination cyclic shift of k non-recurrent elements (numbers). Let us call this number the generative combination of the cycle. Adding a number to the generative combination of the cycle, you can indicate the number of the orbits in the general system of permutations, that in the future are advisable to associate with a specific generative matrix of the equivalent code (EC), which is the basis of the permutation decoding system. Since permutations represent a group, it seems convenient to associate this group with group codes that are formed over binary Galois fields or their extensions. Consequently, being developed material of the permutation decoding system is applicable for both binary codes and non-binary redundant codes. Suppose the binary group gives Hamming code (7, 4, 3). Let us number the code combination elements of the code from 1 to $n = 7$ and call these similar numbers by the position numerators. In this case, for the code under consideration, it is permissible to form 35 permutations, which can be conveniently divided into orbits with their generative combinations of the cycles (GCC), as it is shown in Figure 4.

1234 GCC ¹	1236 GCC ²	1245 GCC ³	1246 GCC ⁴	1235 GCC ⁵
2345	2347	2356	2357	2346
3456	1345	3467	1346	3457
4567	2456	1457	2457	1456
1567	3567	1256	1356	2567
1267	1467	2367	2467	1367
1237	1257	1347	1357	1247

Fig. 4. The permutations orbits for (7, 4, 3) code

It is evident that the right-hand movement in the cycle that we will call direct is used in Figure 4. In case the left movement in the cycle is used, we will call it reverse. The weight of any permutation equals to the sum of the numbers it includes. At that point the fact, that several properties of an arbitrary generative combination of the cycle are crucial in terms of minimizing the memory size of the decoder cognitive map, become obvious.

Property 1. Any generative combination of the cycle (GCC) has a low weight value (the sum of numbers permutation) as regard to the weights of all other elements of the orbit that it forms. This property is explained by the fact that it is the generative combination of the cycle (GCC) numerators that occupy the left positions in the series of the cycle numbers from 1 to k , and the forward movement along the orbit at least one step up to n value only increases the permutation weight.

Property 2. In the event of a complete cycle, the total permutations number of any orbit starting with number 1 always equals to k value. This is easily proved by the full-cycle orbits elements combination.

Property 3. The rule of the permutation weight minimizing by sign 1 in the left category permits to implement an accelerated search of the generative combination of cycle (GCC) and therefore to give the exact orbit number. Let us assume from Table 1 that the decoder in the decoder cognitive map only knows the top line contents, and let an arbitrary permutation be given in lexicographic format (LF). Applying the reverse cycle rule and minimizing the permutation, it is always possible to find the permutation with the minimum weight.

Example 3.1. Let us assume that permutation of form 7641 for code (7, 4, 3) is obtained. Its lexicographic format (LF) has the value of 1467, and since the combination is headed by number 1, due to the reverse cycle. Then we go to permutation 4678 to minimize it, resulting in the form $4678 - 3333 = 1345$. The weight of original permutation (the sum of all numbers) is 18. The weight of the resulting permutation is 13. Remember: $18 > 13$. The transformation cycle continues. Permutation 1345 transforms into 3458 due to the reverse cycle. Next, $3458 - 2222 = 1236$, permutation weight of is 12. Remember: $13 > 12$, the sense of inequality does not change. Further, we calculate: $2368 - 1111 = 1247$. Permutation weight is 14. Remember: $12 < 14$ and state that the inequality sense has changed. Therefore, according to property 1, the generative combination of the cycle (GCC) for the obtained permutation equals to generative combination of the cycle $GCC^2 = 1236$.

Application of the properties mentioned above, enables us to reduce the capacity of decoder cognitive map by n -times and the table in Figure 4 gets the pattern shown in Figure 5.

1234 GCC ¹	1236 GCC ²	1245 GCC ³	1246 GCC ⁴	1235 GCC ⁵
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Fig. 5. Abbreviated version of the decoder cognitive card for code (7, 4, 3)

Joining the concrete generative combination of the cycle with the corresponding generative matrix and converting it by circular shifts it is easy to get the generative matrix of the equivalent code for arbitrary permutation.

CONCLUSION

The article deals with the issues of biometrical technologies application for passengers' personal identification. The existing types of biometrical systems were analyzed and their disadvantages were revealed. It is proved that the major problem for the biometrical systems with centralized base of biometrical data is the issue of confidentiality regarding compromise of biometric patterns. That can potentially cause loss of biometric characteristics confidentiality and failure to use it for personal identification in future. The paper considers the possibility of application of the biometric cryptography systems, in particular "fuzzy extractors" for passenger authentication.

Further prospects for usage of the upgraded permutation decoding method in biometric systems are presented. Permutation decoding is the variety of soft-decision decoding for block noise-resistant codes. It has the apparent advantages of the equivalent code with reference to the hard methods of data decoding. Permutation decoding is based on the receiver computation for each accepted combination and transmitted via noisy channel of the equivalent code vector. The complexity of the computational process for the classical algorithms implementation is unacceptably high. From the practical point of view, the situation is changing dramatically for the better with the introduction of cognitive methods for data processing, when a complex computational process is replaced by the amount of decoder cognitive map memory. The article studies the possibilities of techniques for subsequent reduction of the decoder cognitive map memory.

REFERENCES

1. **Bolle, R.M., Connell, J.H., Pankanti, Sh., Ratha, N.K. and Senior, A.W.** (2004). *Guide to Biometrics*. Springer-Verlag, New York, 364 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-4036-3
2. **Sinha, P., Balas, B., Ostrovsky, Y. and Russell, R.** (2006). *Face recognition by humans: nineteen results all computer vision researchers should know about*. Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 11, pp. 1948–1962. DOI: 10.1109/JPROC.2006.884093
3. **Jain, A.K., Duin, P.W. and Mao, J.** (2000). *Statistical pattern recognition: a review*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 1, pp. 4–37. DOI: 10.1109/34.824819
4. **Kryukov, D.A.** (2012). *Action models of personal identification systems with antinoise coding procedures*. Scientific edition of Bauman MSTU Science & Education, no. 10. DOI: 10.7463/1012.0486630 (accessed 23.01.2021).
5. **Juels, A. and Wattenberg, M.** (1999). *A fuzzy commitment scheme*. Proceedings of the 6th ACM conference on Computer and communications security, pp. 28–36. DOI: 10.1145/319709.319714
6. **Dodis, Y., Reyzin, L. and Smith, A.** (2004). *Fuzzy extractors: how to generate strong keys from biometrics and other noisy data*. Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2004: Lecture Notes in Computer Science. In Cachin C., Camenisch J.L. (eds.), vol. 3027, pp. 523–540. DOI: 10.1007/978-3-540-24676-3_31 (accessed 28.01.2021).
7. **Hao, F., Anderson, R. and Daugman, J.** (2006). *Combining crypto with biometrics effectively*. IEEE Transactions on Computers, vol. 9, no. 55, pp. 1081–1088. DOI: 10.1109/TC.2006.138
8. **Al-Saggaf, A.A.** (2018). *Secure method for combining cryptography with iris biometrics*. Journal of Universal Computer Science, vol. 24, no. 4, pp. 341–356.
9. **Peng, L., Xin, Y., Hua, Q., Kai, C., Eryun, L. and Jie, T.** (2012). *An effective biometric cryptosystem combining fingerprints with error correction codes*. Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 6562–6574. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.12.048 (accessed 23.01.2021).
10. **Akhmetov, B.B., Ivanov, A.I., Funtikov, V.A., Bezyaev, A.V. and Malygina, E.A.** (2014). *Tekhnologiya ispolzovaniya bolshikh neyronnykh setey dlya preobrazovaniya nechetkikh biometricheskikh dannykh v kod klyucha dostupa: Monografiya* [Technology of using large neural networks for converting fuzzy biometric data into access key code: Monograph]. Almaty: TOO "Izdatelstvo LEM", 144 p. (in Russian)
11. **Gladkikh, A.A., Volkov, An.K., Volkov, Al.K. and Ibragimov, R.Z.** (2019). *Noiseless coding algorithm based on cognitive processing of biometric data in system of digital identification of passengers*. Journal of Physics: Conference Series (ITBI 2019), vol. 1333, issue 3, pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032022
12. **Gladkikh, A.A., Volkov, Al.K., Volkov, An.K., Il'in, V.M. and Kozlov, D.A.** (2019). *Cognitive decoding of redundant block codes in the system of processing and protection of biometric data of air passengers*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MIST: Aerospace-2019), vol. 734, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012163

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoliy A. Gladkikh, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation Named after Air Chief Marshal B.P.Bugaev, a_gladkikh@mail.ru.

Alexander K. Volkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation Named after Air Chief Marshal B.P.Bugaev, volkovalex8@rambler.ru.

Tatiana G. Ulasyuk, Post-graduate Student, Senior Lecturer, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation Named after Air Chief Marshal B.P.Bugaev, tgu-7@yandex.ru.

РАЗВИТИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

А.А. Гладких¹, Ал.К. Волков¹, Т.Г. Уласюк¹
¹Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Россия

В работе рассматриваются вопросы применения биометрических технологий для идентификации личности пассажиров. Целью работы является проведение анализа возможностей повышения надежности функционирования различных биометрических устройств идентификации путем использования кодов коррекции ошибок. Представлены основные элементы и принцип функционирования классической биометрической системы. На основании рекомендаций Международной организации гражданской авиации (ИКАО) представлены особенности процедуры распознавания пассажиров по изображениям лица. Рассмотрены варианты реализации биометрических процедур аутентификации пассажиров, и сделан вывод, что при централизованных базах биометрических данных существуют проблемы конфиденциальности и защиты информации. Проблемы характеризуются возможностью компрометации биометрических образов, что потенциально может привести к утрате их конфиденциальности и невозможности дальнейшего использования для идентификации личности. Более надежной представляется организация процедуры аутентификации пассажиров с одновременным применением биометрических параметров и бесконтактных SMART-карт. SMART-карты используются для распределенного хранения биометрических и других дополнительных данных, тем самым нивелируя недостатки доступа к централизованным базам данных. Показано, что следующим шагом в развитии данной области является применение биометрической криптографии, предполагающей «связывание» ключей шифрования и паролей с биометрическими параметрами субъекта. Рассмотрен принцип работы «нечеткого экстрактора» как одного из вариантов преобразователя «биометрия-код». Показана целесообразность и необходимость совершенствования в рассматриваемых системах средств помехоустойчивого кодирования. Предлагается использование алгоритмов перестановочного декодирования данных, способных адекватно соответствовать именно задачам биометрической идентификации. На основе результатов статистического моделирования оптических каналов связи определяются необходимые и достаточные условия применения средств перестановочного декодирования для двоичных кодов, решается задача минимизации объема памяти когнитивной карты перестановочного декодера за счет выделения орбит перестановок и использования образующих комбинаций циклов в качестве указателей эталонных матриц. Предлагается результативный алгоритм поиска уникального номера орбиты и соответствующей ему эталонной матрицы при формировании приемником произвольной перестановки символов из множества допустимых перестановок.

Ключевые слова: пассажир, биометрия, аутентификация, нечеткий экстрактор, перестановочное декодирование, цикл, орбита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болл Р.М. Руководство по биометрии / Р.М. Болл, Д.Х. Коннел, Ш. Панканти, Н.К. Патха, Э.У. Сеньор. М.: Техносфера, 2007. 368 с.
2. Sinha P. Face recognition by humans: nineteen results all computer vision researchers should know about / P. Sinha, B. Balas, Y. Ostrovsky, R. Russell // Proceedings of the IEEE. 2006. Vol. 94, no. 11. Pp. 1948–1962. DOI: 10.1109/JPROC.2006.884093
3. Jain A.K., Duin P.W., Mao J. Statistical pattern recognition: a review // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000. Vol. 22, no 1. Pp. 4–37. DOI: 10.1109/34.824819
4. Крюков Д.А. Модели функционирования персональных систем идентификации с процедурами помехоустойчивого кодирования и декодирования хранимых данных [Электронный ресурс] // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана». 2012. № 10. DOI: 10.7463/1012.0486630 (дата обращения: 23.01.2021).

5. Juels A., Wattenberg M. A fuzzy commitment scheme // Proceedings of the 6th ACM conference on Computer and communications security, 1999. Pp. 28–36. DOI: 10.1145/319709.319714
6. Dodis Y., Reyzin L., Smith A. Fuzzy extractors: how to generate strong keys from biometrics and other noisy data [Электронный ресурс] // Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2004: Lecture Notes in Computer Science / Под ред. С. Cachin, J.L. Camenisch. 2004. Vol. 3027. Pp. 523–540. DOI: 10.1007/978-3-540-24676-3_31 (дата обращения: 28.01.2021).
7. Hao F., Anderson R., Daugman J. Combining crypto with biometrics effectively // IEEE Transactions on Computers. 2006. Vol. 55, no. 9. Pp. 1081–1088. DOI: 10.1109/TC.2006.138
8. Al-Saggaf A.A. Secure method for combining cryptography with iris biometrics // Journal of Universal Computer Science. 2018. Vol. 24, no. 4. Pp. 341–356.
9. Peng L. (2012). An effective biometric cryptosystem combining fingerprints with error correction codes / Y. Xin, Q. Hua, C. Kai, L. Eryun, T. Jie [Электронный ресурс] // Expert Systems with Applications. 2012. Vol. 39. Pp. 6562–6574. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.12.048 (дата обращения: 23.01.2021).
10. Ахметов Б.Б. Технология использования больших нейронных сетей для преобразования нечетких биометрических данных в код ключа доступа: монография / Б.Б. Ахметов, А.И. Иванов, В.А. Фунтиков, А.В. Безяев, Е.А. Малыгина. Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2014. 144 с.
11. Gladkikh A.A. Noiseless coding algorithm based on cognitive processing of biometric data in system of digital identification of passengers / A.A. Gladkikh, An.K. Volkov, Al.K. Volkov, R.Z. Ibragimov // Journal of Physics: Conference Series (ITBI 2019). 2019. Vol. 1333, iss. 3. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032022
12. Gladkikh A.A. Cognitive decoding of redundant block codes in the system of processing and protection of biometric data of air passengers / A.A. Gladkikh, Al.K. Volkov, An.K. Volkov, V.M. Il'in, D.A. Kozlov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MIST: Aerospace – 2019), 2019. Vol. 734. Pp. 1–6. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012163

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гладких Анатолий Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, профессор Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, a_gladkikh@mail.ru.

Волков Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, volkovalex8@rambler.ru.

Уласюк Татьяна Георгиевна, аспирант, старший преподаватель Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, oabuvauga@mail.ru.

Поступила в редакцию 18.01.2021
Принята в печать 25.03.2021

Received 18.01.2021
Accepted for publication 25.03.2021

УДК.629.7.01
DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-105-118

ОСОБЕННОСТИ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОГО САМОЛЕТА ЯК-152

М.А. КИСЕЛЕВ¹, С.В. ЛЕВИЦКИЙ², Д.В. МОРОШКИН², В.А. ПОДОБЕДОВ²

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия

²Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация "Иркут"»,
г. Москва, Россия

Современные воздушные суда (ВС) отличает широкое использование средств автоматизации управления пилотированием, наличие «стеклянной кабины». Однако широкое использование автоматики в полете ВС ограничивает возможности пилота по преодолению форс-мажорных обстоятельств, возникающих во время выполнения полета. Поэтому в процессе подготовки пилотов большое внимание должно уделяться не только формированию навыков работы оператора в «стеклянной кабине», но и, что очень важно, отработке практических навыков управления ВС при «прямом» пилотировании. Особенно следует подчеркнуть необходимость подготовки военных пилотов с реализацией больших значений нормальной перегрузки с учетом все возрастающих от поколения к поколению маневренных возможностей истребителей, пилотируемых не исходя из возможностей конструкции планера и силовой установки, но исходя из психофизиологических возможностей человека. Предельные режимы, в частности выход на большие углы атаки с последующим сваливанием, входом в штопор, остаются причинами авиационных катастроф как в гражданской, так и в военной авиации. Как отмечается в выводах расследований, к причинам указанных авиационных происшествий относятся в том числе недостаточные для пилотирования на критических режимах навыки летного экипажа. Понятно, что основополагающую роль в формировании летных навыков играют летно-технические характеристики учебного самолета, на котором будущий летчик проходит курс первоначальной подготовки. До последнего времени у нас в стране для указанных целей использовались устаревшие ВС, в частности Л-39, а также самолеты иностранного производства (DA-40, DA-42 и т. п.). Новый отечественный учебно-тренировочный самолет с винтомоторной силовой установкой Як-152, совершивший первый полет в сентябре 2016 года, призван обеспечить требуемый высокий уровень первоначальной подготовки, включая безопасное обучение пилотированию, в том числе и на критических режимах полета в интерфейсе «стеклянной кабины». В статье анализируются основные характеристики Як-152, непосредственно влияющие на возможности его использования по назначению, то есть в качестве учебно-тренировочного самолета. Следует отметить, что все представленные в статье характеристики получены в результате летных испытаний самолета.

Ключевые слова: учебно-тренировочный самолет, динамика полета, пилотирование, первоначальная подготовка пилота.

ВВЕДЕНИЕ

В современных реалиях проблема подготовки пилотов приобретает особую актуальность. Недостаток навыков пилотирования самолета без работающих систем улучшения устойчивости и управляемости, повышения маневренных характеристик зачастую становится одной из главных причин авиационных катастроф. Достаточно вспомнить два последовавших друг за другом рейса самолета Boeing 737 MAX 8 авиакомпании Lion Airlines, в первом из которых экипаж сумел благополучно завершить полет, а второй при схожих обстоятельствах закончился трагически^{1,2}. Очевидно, что указанные события – следствие того, что большая часть деятельности летного экипажа проходит в режиме, когда летчик по сути выполняет роль оператора, не

¹ Aircraft Accident Investigation Report. PT. Lion Airlines Boeing 737 (MAX); PK-LQP TanjungKarawang, West Java, Republic of Indonesia 29 October 2018. National Transportation Safety Committee [Электронный ресурс] // Aircraft Accident Investigation Report. 2018. 78 p. URL: https://reports.aviation-safety.net/2018/20181029-0_B38M_PK-LQP_PRELIMINARY.pdf (дата обращения: 05.02.2021).

² Новые известия о катастрофе 737MAX. Что можно сказать? [Электронный ресурс] // Livejournal. URL: <https://denokan.livejournal.com/199299.html> (дата обращения: 05.02.2021).

вмешиваясь активно в процесс высокоавтоматизированного полета. Однако целый ряд возможных событий требует не только наличия отличных навыков «ручного» пилотирования, но и глубокого понимания летчиками основ аэродинамики и динамики полета, функционирования основных систем самолета [1–4]. Указанные навыки во многом закладываются в период первоначальной подготовки. При этом одними из важнейших факторов, определяющих качество будущих пилотов, являются объем и содержание курса летной подготовки, а также возможности учебно-тренировочного самолета (УТС). Требования к современному УТС являются достаточно противоречивыми, поскольку определяются целым рядом факторов (экономических, технических и др.) [5–10].

В начале 2000-х годов в связи с появлением новой концепции подготовки летчиков военной авиации, Министерство обороны РФ дало старт комплексу научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью создания перспективного учебно-тренировочного комплекса первоначальной подготовки (УТК ПП) летчиков на основе легкомоторного самолета. Цель разработки УТК ПП предполагала проведение профессионального отбора, профессиональной ориентации и первоначальной летной подготовки будущих летчиков ВВС. В результате в ОКБ им. А.С. Яковлева разработан и в настоящее время завершает летные испытания новый УТС с винтомоторной силовой установкой Як-152 (рис. 1). Первый полет Як-152 совершил 29 сентября 2016 года.



Рис. 1. Учебно-тренировочный самолет первоначальной подготовки Як-152
Fig. 1. Yak-152 flight-training aircraft for initial training

Следует отметить, что ОКБ им. А.С. Яковлева имеет богатейший опыт в области создания УТС. Учебно-тренировочный двухместный УТ-2 с мотором М-11 был создан в 1935 году. Усовершенствованный вариант УТ-2М оставался основным учебным самолетом летных школ ВВС до 1948 года. На замену УТ-2 в 1946 году был создан Як-18, который имел множество модификаций и использовался для первоначальной летной подготовки, обучения высшему пилотажу. Як-18Т длительное время был базовым самолетом для подготовки гражданских пилотов. В 1974 году был создан спортивно-тренировочный самолет Як-52 с мотором М-14, который стал единственным в мире учебно-тренировочным спортивно-пилотажным самолетом, на котором могли обучаться летчики от первоначального уровня до уровня мастера спорта по высшему пилотажу.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

УТС Як-152 предназначен для решения следующих задач:

- обучения технике пилотирования при полете по кругу и в зону на простой, сложный и высший пилотаж;
- обучения выполнению штопора;
- обучения основам навигации в простых и сложных метеоусловиях;
- обучения технике пилотирования по приборам при заходе на посадку с использованием посадочных систем;
- обучения технике пилотирования в паре;
- обучения действиям в особых случаях.

Согласно курсу учебно-летной подготовки на Як-152 предполагается выполнение первоначальной подготовки в объеме 45 летных часов и совершенствования летной подготовки в объеме 70 летных часов.

Ключевые особенности Як-152 заключаются, во-первых, в его безопасности и надежности и, во-вторых, в возможности обеспечить максимально простое последующее переучивание курсантов на учебно-боевой самолет Як-130. Указанные особенности обеспечиваются специальными конструктивными мероприятиями и возможностями комплекса бортового оборудования. Рассмотрим их подробнее.

Информационно-управляющее поле кабины летчика Як-152 представлено двумя многофункциональными индикаторами (МФИ), информация на которых формируется интегрированным бортовым комплексом оборудования ИБКО-152.

Данный комплекс обеспечивает:

- автоматизированное тестирование самолетных систем перед полетом;
- представление информации о параметрах полета и их ограничениях;
- информационную поддержку и сигнализацию экипажу о режимах работы и состоянии бортового оборудования, приближении к эксплуатационным ограничениям и предельно-допустимым значениям параметров полета;
- выдачу экипажу более 60-ти речевых сообщений о возникновении особых ситуаций в полете;
- загрузку, хранение и обновление электронных карт 2D, 3D-моделей рельефа, аэронавигационной информации, геомагнитной информации, пользовательской базы навигационных точек и планов полетов;
- автоматический встроенный контроль работоспособности бортового оборудования самолета и двигателя;
- формирование и выдачу в бортовую систему регистрации информации о параметрах полета, состоянии бортового оборудования и переговорах экипажа.

На рис. 2, *а, б, в, г* показаны типовые кадры многофункциональных индикаторов, информирующие экипаж о параметрах полета, навигационной обстановке, работоспособности систем самолета и транслирующие сообщения об отказах и угрозах.

Таким образом, на самолете созданы необходимые условия для своевременного привлечения внимания летчика к техническим и полетным факторам, представляющим угрозу безопасности полета.

Для повышения надежности и экономичности, снижения пожароопасности и возможности использования средств аэродромно-технического обслуживания, эксплуатируемых в частях ВВС и гражданских аэропортах, в качестве силовой установки на Як-152 использован дизельный двигатель, работающий на авиационном керосине.

Двигатель RED A03-102 представляет собой современный 12-цилиндровый двигатель с воспламенением от сжатия с общей магистралью прямого впрыска, управляемый автономной

цифровой электронной системой управления. Отличительной оригинальной особенностью RED A03-102 является то, что он состоит из двух независимых 6-цилиндровых блоков с автономной системой подачи топлива, системой охлаждения и турбонаддувом. Таким образом, при отказе одного контура подачи топлива или системы охлаждения шесть цилиндров двигателя продолжают давать мощность, позволяющую безопасно завершить полет на ближайшем аэродроме.



а



б



в



г

Рис. 2. а – пилотажная информация; б – навигационная информация; в – информация по силовой установке; г – информация по взлетно-посадочным устройствам и топливной системе

Fig. 2. а – Flight data; б – Navigation data; в – Powerplant data; г – Take-off - Landing Equipment and Fuel System data

Як-152 является одним из немногих самолетов в своем классе, оборудованных системой спасения экипажа в составе двух катапультных кресел. Данная система обеспечивает безопасное покидание самолета в аварийной ситуации во всем эксплуатационном диапазоне скоростей на высоте более 7 м в нормальном и на высоте более 35 м в перевернутом полете.

Спинки кресел отклонены от вертикали на 25° , что способствует повышению переносимости летчиками нормальной перегрузки.

Представленные далее характеристики и зависимости получены по результатам летных испытаний самолета Як-152.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении летных испытаний Як-152 продемонстрировал следующие характеристики:

- максимальная скорость прямолинейного горизонтального полета у земли, ограниченная тягой силовой установки $V_{\text{макс.}} = 350$ км/ч;
- максимальная допустимая скорость при снижении, ограниченная прочностью конструкции $V_{q \text{ макс.}} = 500$ км/ч;
- максимальная энергетическая скороподъемность $V_{y \text{ макс.}}^* \geq 10$ м/с;
- диапазон эксплуатационных перегрузок:
 - в учебном варианте $n_{y \text{ макс.}}^3 = -6...+8$,
 - в облегченном спортивном варианте $n_{y \text{ макс.}}^3 = -7...+9$;
- посадочная скорость $V_{\text{пос.}} = 130...140$ км/ч;
- практическая дальность полета не менее 1000 км.

Як-152 имеет механическую систему управления прямого действия, что исключает применение автоматических систем улучшения устойчивости и управляемости. Безопасность полета обеспечена за счет выполненных при проектировании самолета мероприятий по оптимизации аэродинамической компоновки и характеристик управляемости. Одним из ключевых факторов безопасности любого самолета, а учебно-тренировочного в особенности, являются пилотажные характеристики самолета на больших углах атаки. С выходом на большие углы атаки происходят значительные изменения характеристик устойчивости и управляемости, вызванные возникновением и развитием срывных зон обтекания, приводящих в итоге к сваливанию.

Сваливание – это явление, возникающее на больших углах атаки и характеризующееся самопроизвольным движением самолета с угловой скоростью относительно любой оси, не прекращающееся без уменьшения угла атаки. Потенциальная опасность последствий сваливания определяется его видом. Наиболее опасными являются сваливание на крыло, сваливание по спирали и сваливание с кабрированием [11–14]. Данные виды сваливания происходят на углах атаки меньше критического ($\alpha_{\text{св}} < \alpha_{\text{кр}}$) и определяют величину предельного угла атаки ($\alpha_{\text{пред}} = \alpha_{\text{св}}$), относительно которого устанавливаются эксплуатационные ограничения самолета. Опасность указанных видов сваливания связана прежде всего с быстрым переходом самолета в штопор и высокой вероятностью ошибочных действий летчика при попытке выйти из сваливания отклонением рычагов управления против возникшего вращения. Сваливание возможно на различных режимах полета, например, в прямолинейном полете при потере скорости, при маневрировании с предельной перегрузкой. Рост перегрузки повышает интенсивность и скорость сваливания.

При формировании аэродинамической компоновки самолета Як-152 этим опасным явлениям было уделено особое внимание. В результате целенаправленной работы на Як-152 удалось обеспечить наиболее безопасный вид сваливания на нос. При сваливании на нос преобладает движение тангажа на пикирование с отрицательной угловой скоростью ($\omega_z < 0$). Происходит это при симметричном срыве потока в корневой части крыла. Угол атаки сваливания в данном слу-

чае близок к критическому ($\alpha_{св} \approx \alpha_{кр}$). Уменьшение подъемной силы корневой части крыла способствует возникновению пикирующего момента тангажа и искривлению траектории движения вниз с разгоном самолета и уменьшением угла атаки – тем самым самолет сам стремится выйти из сваливания.

На рис. 3–7 показаны параметры продольного движения самолета Як-152 при выполнении испытательных полетов на определение характеристик сваливания, в которых имитировались грубые ошибки в технике пилотирования, связанные с игнорированием сигнализации опасных режимов.

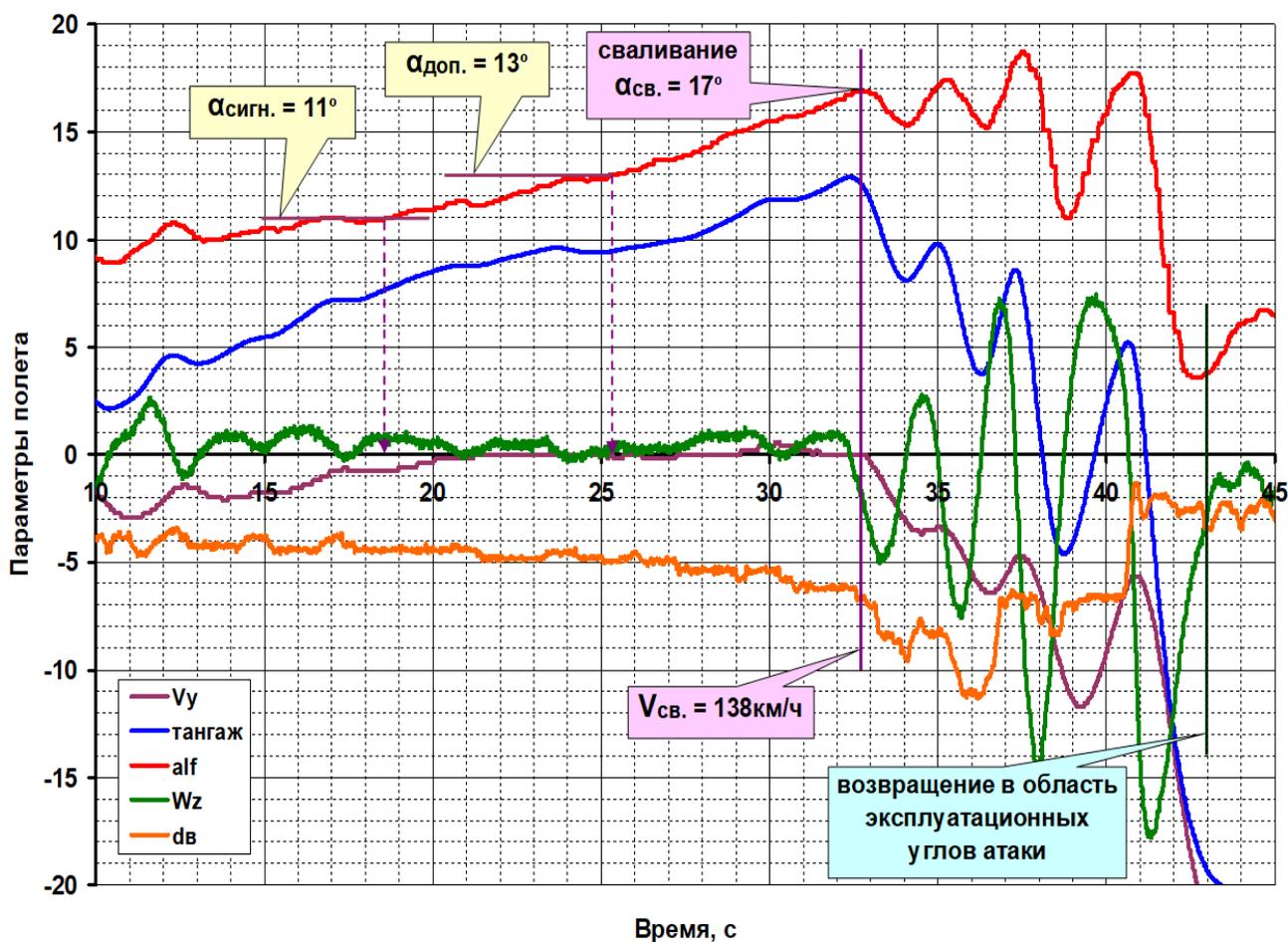


Рис. 3. Сваливание при прямолинейном горизонтальном полете (РРД – малый газ)
Fig. 3. Stall during the one-g flight (Power rating – Idle)

На рис. 3 даны параметры движения при сваливании в прямолинейном горизонтальном полете с постепенной потерей скорости. При $t = 18,5$ с самолет достигает угла атаки срабатывания сигнализации приближения к границе эксплуатационных значений угла атаки ($\alpha_{сигн.} = 11^\circ$). При $t = 25,5$ с самолет выходит на границу допустимого угла атаки ($\alpha_{доп.} = 13^\circ$). Дальнейшие действия летчика в условиях нормальной эксплуатации находятся за гранью допустимых.

До достижения угла атаки сваливания $\alpha_{св.} \approx 17...17,5^\circ$ самолет адекватно реагирует на управляющие действия летчика. Взятию ручки управления самолетом (РУС) «на себя» и отклонению руля высоты на кабрирование ($\Delta\delta_b < 0$) соответствует увеличение угла атаки ($\Delta\alpha > 0$) и тангажа. При достижении $\alpha_{св.} \approx \alpha_{кр}$ самолет самостоятельно, невзирая на управляющие действия летчика, опускает нос ($\omega_z < 0$), угол атаки уменьшается. Если летчик стремится парировать это

движение самолета отклонением РУС «на себя», развивается колебательное движение по тангажу с нарастающей амплитудой. Возникшая вследствие отрыва потока потеря части подъемной силы приводит к искривлению траектории вниз и снижению самолета ($V_y < 0$). При установке РУС в положение, близкое к нейтральному ($t > 41$ с), самолет возвращается в область эксплуатационных углов атаки.

Отметим наличие запаса по углу атаки $\Delta\alpha = 4...4,5^\circ$ между границей $\alpha_{доп.}$ и углом атаки сваливания, достаточного для того, чтобы среагировать на предупреждающую сигнализацию и исправить ошибку пилотирования. Дополнительным предупредительным признаком приближения к сваливанию является тряска, возникающая при $\alpha \approx 16^\circ$.

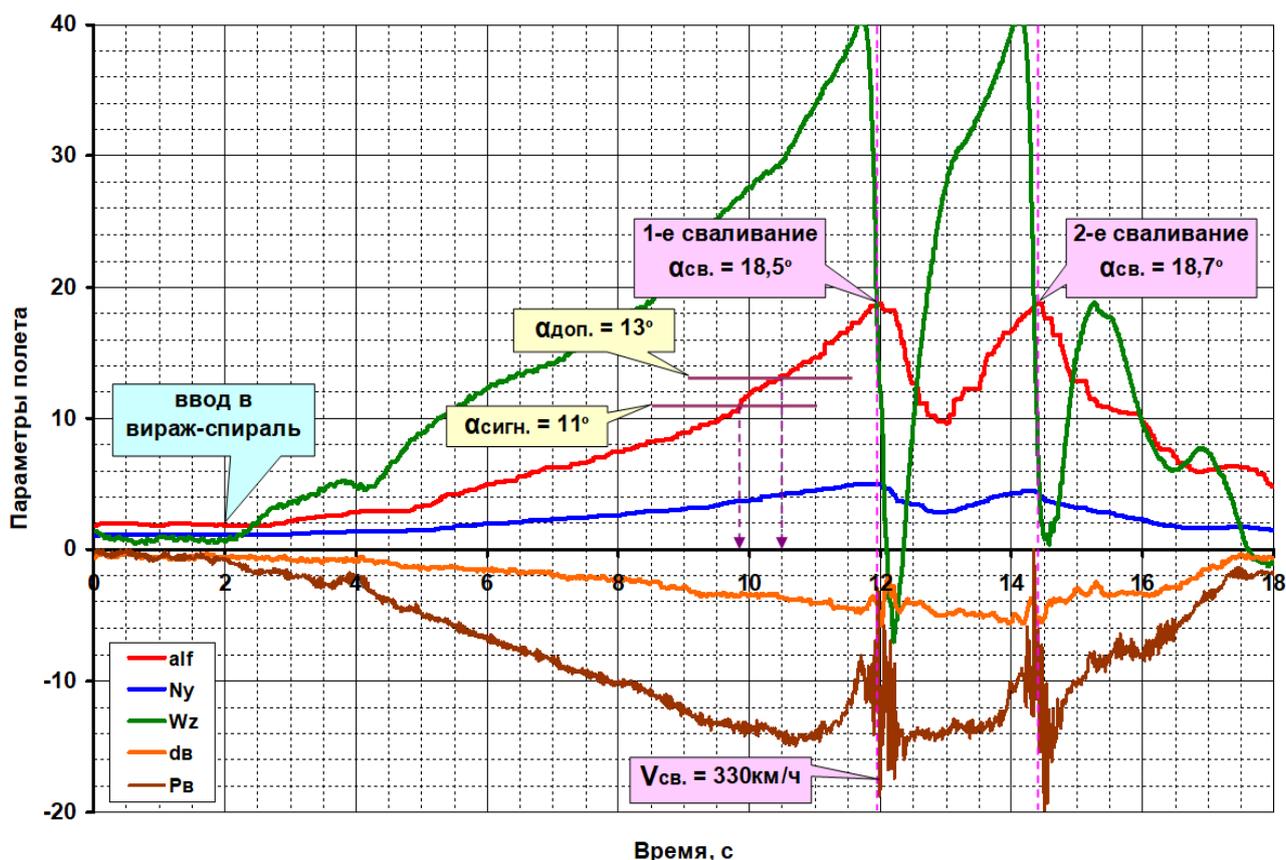


Рис. 4. Сваливание при энергичном вводе в вираж-спираль (РРД – взлетный)
Fig. 4. Stall during energetic entry into the orbit-spiral (Power rating – Take-off rating)

Часто ошибки в технике пилотирования возникают при энергичном маневрировании, и их последствием является динамическое сваливание. На рис. 4 показаны параметры управления и движения самолета Як-152 при динамическом сваливании в процессе выполнения виража-спирали в результате увеличения нормальной перегрузки более допустимой ($n_{y доп.} = 4$). При работе двигателя на взлетном режиме сваливание вследствие обдувки передней части крыла воздушным потоком от винта происходит при большем угле атаки $\alpha_{св.} = 18,5^\circ$. Видно, что летчик дважды выводил самолет на углы атаки сваливания, но после установки РУС в положение, близкое к нейтральному, самолет вернулся в область эксплуатационных углов атаки.

На графике усилий P_v видно, что вблизи $\alpha_{св.}$ летчик получает мощный предупредительный сигнал посредством изменения кинестетических ощущений на рычаге управления в виде тряски и значительного изменения усилий. После допущенных ошибок, приведших к свалива-

нию, главная задача летчика не мешать самолету вернуться в эксплуатационную область углов атаки установкой РУС в сторону нейтрального положения.

На рис. 5 приведены параметры движения самолета при выполнении фигуры высшего спортивного пилотажа – петли Нестерова с участками прямолинейной траектории при тангаже $\nu \approx +90^\circ$ в восходящей части петли и при тангаже $\nu \approx -90^\circ$ в нисходящей части петли. В верхней части петли при темпе увеличения угла атаки около $10^\circ/\text{с}$ самолет превышает допустимый угол атаки на 6° и теряет скорость ниже минимальной допустимой скорости на 60 км/ч . При этом, среагировав на тряску отдачей РУС от себя, летчик выводит самолет из сваливания и завершает маневр без опасных последствий: при установке РУС в положение, близкое к нейтральному, угол атаки уменьшается ($\alpha < \alpha_{\text{доп.}}$), безотрывный характер обтекания крыла восстанавливается и самолет переходит в пикирование с нарастанием скорости.

Результаты летных испытаний показывают, что координированное маневрирование с увеличением углов атаки до $16...16,5^\circ$ на самолете Як-152 в крейсерской конфигурации безопасно вплоть до достижения $n_{y \text{ макс.}}^3 = 8$.

Нормативные документы требуют, чтобы эксплуатационная область углов атаки имела запас относительно $\alpha_{\text{кр.}}$ (при РРД «малый газ») не менее 4° . Соответственно, допустимый угол атаки Як-152 составляет $\alpha_{\text{доп.}} = 13^\circ$. При этом на самолете имеется указатель углов атаки, а также световая и звуковая сигнализация, которые заблаговременно (начиная с $\alpha_{\text{сигн.}} = 11^\circ$) предупреждают летчика о приближении к границе эксплуатационной области углов атаки.

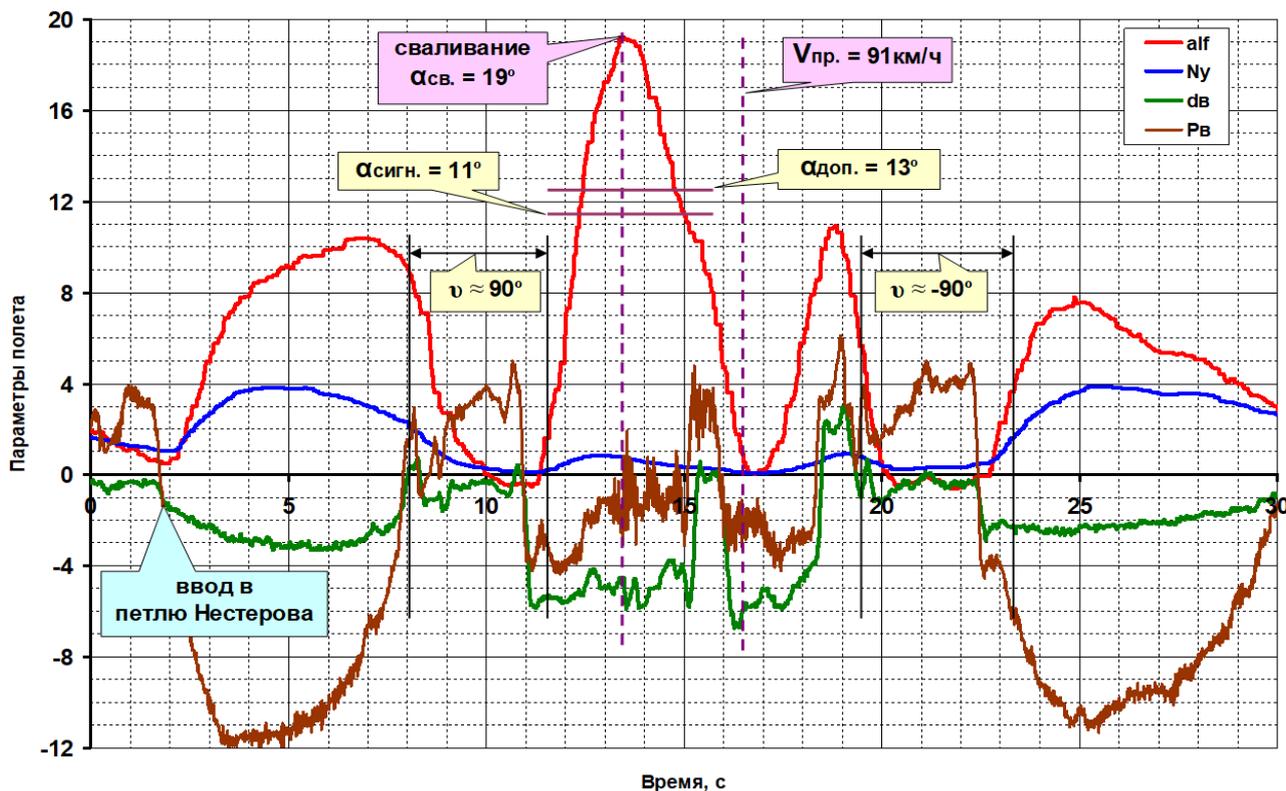


Рис. 5. Сваливание в верхней части петли Нестерова (РРД – взлетный)
Fig. 5. Stall at the top of the complete loop (Power rating – Take-off rating)

Одной из задач основного этапа подготовки военного летчика и летчика-спортсмена является обучение штопору. Согласно нормативным требованиям учебно-тренировочные самолеты должны выводиться из штопора стандартным методом с запаздыванием не более двух витков.

При малых скоростях полета у Як-152, как и у всех самолетов с винтомоторной силовой установкой, становятся заметны особенности движения, связанные с реактивным и спиральным моментами воздушного винта, относительно высокими значениями инерционного и гироскопического моментов. Кроме того, у самолетов с винтомоторной силовой установкой левый и правый штопор могут значительно отличаться. Самолет легче выходит из штопора в направлении вращения воздушного винта. Для Як-152 наиболее сложным случаем является правый штопор.

При использовании стандартного способа вывода в двухвитковом учебном правом штопоре с задней центровкой вращение прекращается в течение $\Delta t_{\text{выв.}} = 3,5 \dots 4$ с при времени витка $\Delta t_{\text{в}} = 3$ с. В левом штопоре вращение прекращается в течение $\Delta t_{\text{выв.}} = 1,5 \dots 2$ с при времени витка $\Delta t_{\text{в}} = 3,5$ с. Если количество витков штопора увеличивается до четырех, время вывода также увеличивается, но не превышает двух витков. Параметры правого двухвиткового штопора представлены на рис. 6 и 7.

Особое внимание уделяется пилотажным характеристикам самолета на посадочных режимах, так как этот этап является наиболее сложным в обучении начинающего пилота. Самолет Як-152 имеет прекрасный обзор из кабины, прочную конструкцию, небольшую посадочную скорость, хорошую устойчивость и управляемость в посадочной конфигурации.

На рис. 8 показаны параметры движения самолета на посадке с сознательным затягиванием этапа выдерживания и увеличением угла атаки больше допустимого (при посадочном положении закрылков $\delta_3 = 30^\circ$ допустимый угол атаки $\alpha_{\text{доп.}} = 11^\circ$) с целью оценки устойчивости и управляемости самолета с учетом влияния экранного эффекта.

Данный эксперимент показал, что самолет не имеет склонности к раскачке, кренению и иным нежелательным явлениям при полете у земли. На любом этапе посадка может быть прервана, самолет уверенно уходит на второй круг с любой высоты.

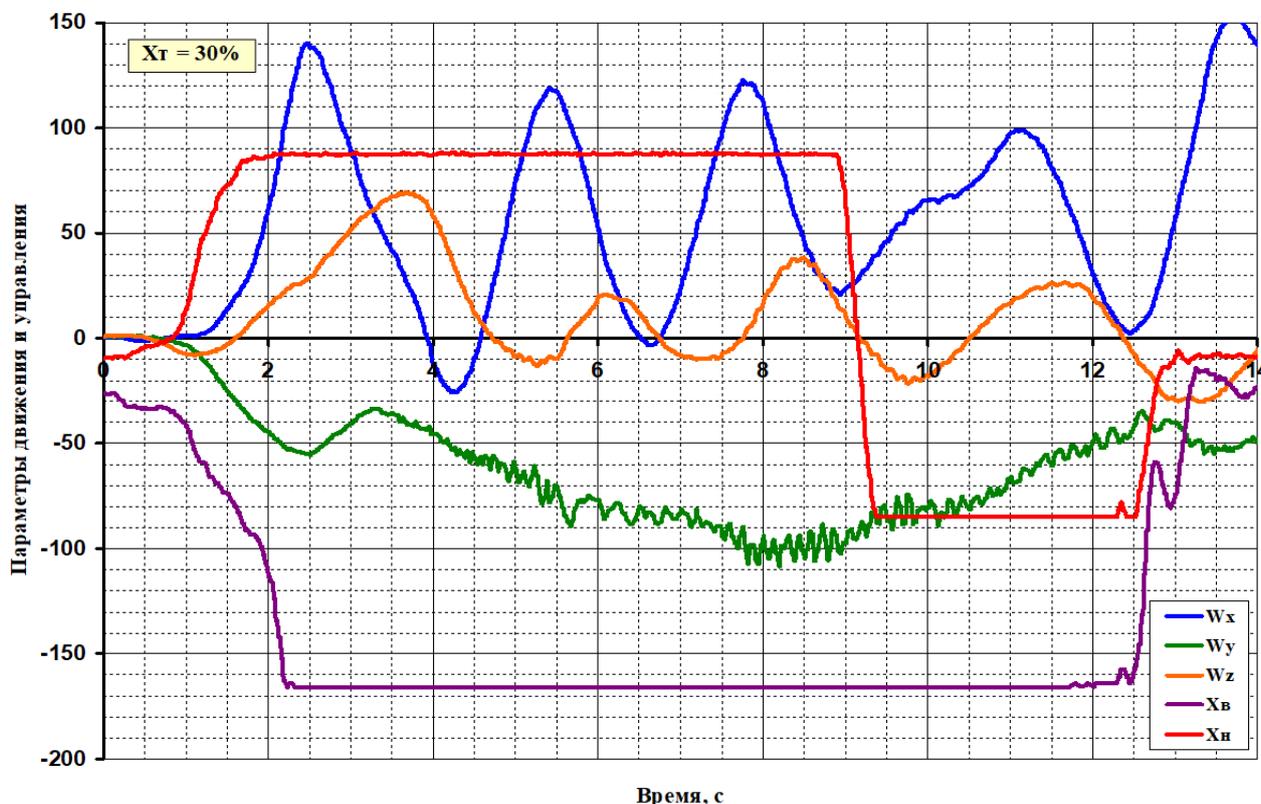


Рис. 6. Двухвитковый правый штопор (угловые скорости)
Fig. 6. Two-turn right-handed spin (spin rotation rates)

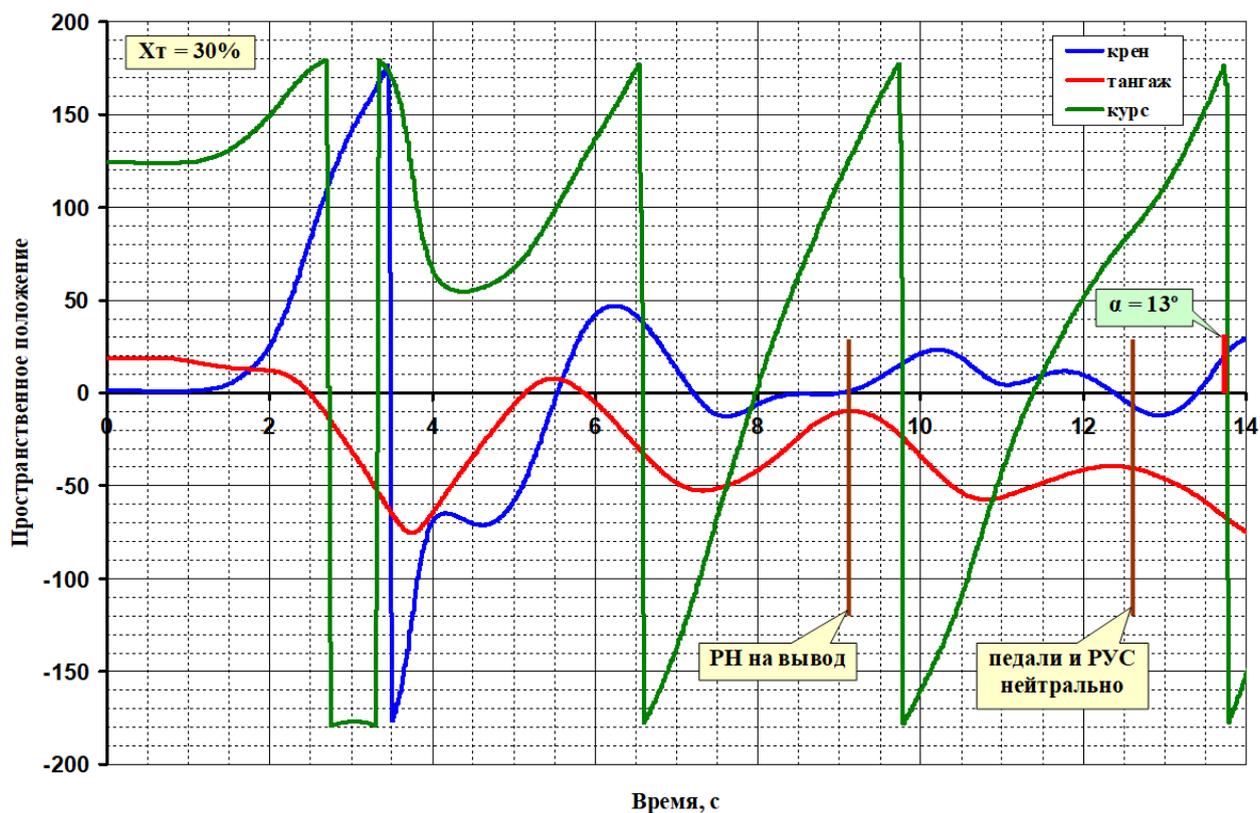


Рис. 7. Пространственное положение самолета
Fig. 7. Aircraft attitude

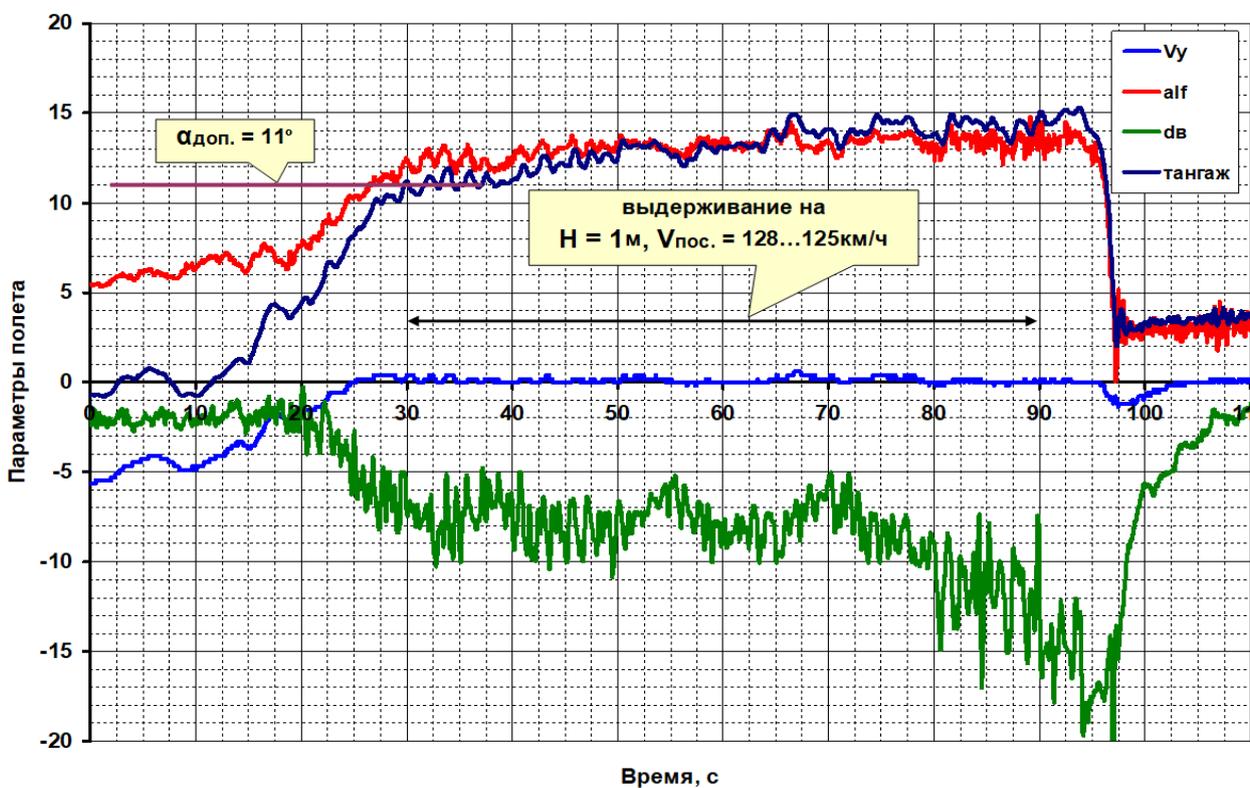


Рис. 8. Параметры движения самолета на посадке
Fig. 8. Parameters of airplane motion during landing

В целом при испытаниях была дана следующая субъективная оценка Як-152 в части его летных качеств:

- стандартные маневры не вызывают затруднений, требуемые отклонения РУС не более $\frac{1}{3}$ максимального хода, усилия на РУС комфортные;
- самолет охотно летает на больших углах атаки, устойчив;
- при штопоре чувствуется большой запас эффективности руля высоты и руля направления;
- при проходе на высоте 1 м над ВПП на скорости 125...130 км/ч самолет устойчив и хорошо управляем.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог выполненного выше анализа результатов летных испытаний Як-152, следует отметить, что самолет при пилотировании «препятствует» непреднамеренному попаданию в опасные режимы полета – сваливание и штопор.

Безопасность полета при достижении критического угла атаки обеспечивается за счет того, что самолет сохраняет управляемость по всем каналам и не переходит в штопор без дополнительных управляющих воздействий, вызывающих скольжение.

Безопасность полета во взлетно-посадочной конфигурации на наиболее сложных и аварийных этапах полета (взлете и посадке) при достижении скорости полета меньше рекомендованной Руководством по летной эксплуатации обеспечивается за счет своевременного срабатывания световой и звуковой сигнализации.

Отдельно подчеркнем, что на Як-152 впервые реализована сигнализация опасного скольжения, которая предупреждает курсанта о недопустимости резкого отклонения педалей при заходе на посадку.

В целом можно констатировать, что Як-152 обеспечивает необходимую для УТС безопасность и простоту пилотирования, что с учетом реализованных конструктивных мероприятий (состав авионики, наличие двух катапультных кресел и пр.) определяет его достаточный потенциал для обеспечения подготовки современного летчика, в том числе полету с большой перегрузкой и на критических режимах полета. Потенциал Як-152 может быть востребован как в летных училищах ВВС, так и при подготовке пилотов гражданской авиации. Кроме того, Як-152, несомненно, может поспособствовать возрождению системы подготовки летчиков ДОСААФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kiselev M.A., Levitsky S.V., Podobegov V.A.** Reckoning technique of passenger airplane approach procedure in case of all main engines failure // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 4. С. 91–99. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-4-91-99
2. **Киселев М.А., Левицкий С.В., Подобедов В.А.** Безопасная посадка самолета с отказавшими двигателями в условиях ветра // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 5. С. 76–84. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-76-84
3. **Киселевич В.Г.** Разработка рекомендаций по летной эксплуатации самолета Ил-96Т при прерванном взлете // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 211 (1). С. 79–84.
4. **Киселевич В.Г.** Особенности летной эксплуатации самолета Ил-96Т при продолженном взлете // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 211 (1). С. 128–131.
5. **Селиванов В.** «Летающая парта» и принцип обучения «от простого к сложному». Часть 1 [Электронный ресурс] // Авиапанорама. 2018. № 5 (131). С. 42–51. URL: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2018/10/42.pdf> (дата обращения: 12.02.2021).

6. Селиванов В. «Летающая парта» и принцип обучения «от простого к сложному». Часть 2 [Электронный ресурс] // Авиапанорама. 2018. № 6 (132). С. 34–47. URL: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2018/12/34.pdf> (дата обращения: 12.02.2021).
7. Селиванов В. «Летающая парта» и принцип обучения «от простого к сложному». Часть 3 [Электронный ресурс] // Авиапанорама. 2019. № 1 (133). С. 42–47. URL: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2019/02/42.pdf> (дата обращения: 12.02.2021).
8. Hankers R. Safety aspects of light aircraft spin resistance concept / R. Hankers, F. Pätzold, T. Rausch, R. Kickert и др. // EASA. 2008/03. Final Report, December 2009. 160 p.
9. Крикунов К.Н. Проблемы системы подготовки пилотов гражданской авиации // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование. Педагогические науки. 2013. Т. 5, № 2. С. 79–87.
10. Косачевский С.Г., Айдаркин Д.В., Качан Д.В. Оценка эффективности методики первоначальной профессиональной подготовки пилотов для эксплуатации самолетов с электронными системами отображения информации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 5. С. 8–22. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-8-22
11. Котик М.Г. Динамика штопора самолета. М.: Машиностроение, 1976. 328 с.
12. Stowell R. The light airplane pilot's guide to stall/spin awareness. 1st ed. Rich Stowell Consulting, 2007. 520 p.
13. Котик М.Г., Филиппов В.В. Полет на критических режимах. М.: Воениздат, 1977. 239 с.
14. Левицкий С.В., Свиридов Н.А. Динамика полета: учебник для технических вузов / Под ред. С.В. Левицкого. М.: Изд-во ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008. 526 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Киселев Михаил Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, m.kiselev@mstuca.aero.

Левицкий Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, ведущий инженер-конструктор ПАО «Корпорация "Иркут"», flamento@yandex.ru.

Морошкин Дмитрий Владимирович, ведущий инженер-конструктор ПАО «Корпорация "Иркут"», mdv.vvia@gmail.com.

Подобедов Владимир Александрович, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заместитель главного конструктора – начальник отделения аэродинамики ПАО «Корпорация "Иркут"», Vladimir.Podobedov@irkut.com.

FEATURES OF THE NEW YAK-152 FLIGHT-TRAINING AIRCRAFT PERFORMANCE

Mikhail A. Kiselev¹, Sergey V. Levitsky², Dmitry V. Moroshkin², Vladimir A. Podobedov²

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

²*JSC Irkut Corporation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Modern aircraft are distinguished by the extensive use of automation facilities for piloting control – a "glass cockpit". At the same time, the widespread use of automation in the aircraft flight limits the pilot's abilities to overcome force majeure circumstances arising in-flight. Subsequently when training pilots, particular emphasis must be placed not only on the formation of the operator's

skills in the "glass cockpit" but also on the development of practical skills while "direct" piloting, what is especially important. Large focus should be put on the requirement to train military pilots with the implementation of large values of normal overload, taking into account the increasing maneuverability of fighters from generation to generation that are flown not based on the capabilities of the airframe design and power plant, but considering the psychophysiological human abilities. Limit modes, in particular, performing high angles of attack with a subsequent stall, entering a spin cause aviation accidents in both civil and military aviation. As noted in the findings of the investigations, insufficient skills of the flight crew for piloting in critical modes are referred to the reasons for these accidents among other things. It is clear that the flight performance of the training aircraft, on which the future pilot takes the initial training course, serve the primary purpose of forming flight skills. Until recently, outdated aircraft, in particular L-39, as well as foreign-made aircraft (DA-40, DA-42, etc.) were used in our country for this purpose. The new domestic training aircraft with a propeller-driven power plant Yak-152, which made its maiden flight in September 2016, is designed to ensure the required high level of initial training, including safe piloting training in critical flight modes in the "glass cockpit" interface. The article analyzes the main characteristics of the Yak-152, directly impacting the capabilities of its intended use as a training aircraft. It should be noted that all the performance presented in the article was obtained as a result of aircraft flight tests.

Key words: flight-training aircraft, flight dynamics, piloting, initial pilot training.

REFERENCES

1. **Kiselev, M.A., Levitsky, S.V. and Podobedov, V.A.** (2019). *Reckoning technique of passenger airplane approach procedure in case of all main engines failure*. Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 4, pp. 91–99. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-4-91-99
2. **Kiselev, M.A., Levitsky, S.V. and Podobedov, V.A.** (2019). *Safe engine-out landing of a passenger plane under the wind conditions*. Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 5, pp. 76–84. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-76-84 (in Russian)
3. **Kiselevich, V.G.** (2015). *The development of flight operation recommendations for IL-96T at interrupted take-off*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 211 (1), pp. 79–84. (in Russian)
4. **Kiselevich, V.G.** (2015). *Reculiarities of IL-96T flight operation at prolonged take-off*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 211 (1), pp. 128–131. (in Russian)
5. **Selivanov, V.** (2018). *"Letayushchaya parta" i printsip obucheniya "ot prostogo k slozhnomu". Chast 1* ["Flying desk" and the principle of teaching "from simple to complex". Part 1]. Aviapanorama, no. 5 (131), pp. 42–51. Available at: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2018/10/42.pdf> (accessed 12.02.2021). (in Russian)
6. **Selivanov, V.** (2018). *"Letayushchaya parta" i printsip obucheniya "ot prostogo k slozhnomu". Chast 2* ["Flying desk" and the principle of teaching "from simple to complex". Part 2]. Aviapanorama, no. 6 (132), pp. 34–47. Available at: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2018/12/34.pdf> (accessed 12.02.2021). (in Russian)
7. **Selivanov, V.** (2019). *"Letayushchaya parta" i printsip obucheniya "ot prostogo k slozhnomu". Chast 3* ["Flying desk" and the principle of teaching "from simple to complex". Part 3]. Aviapanorama, no. 1 (133), pp. 42–47. Available at: <https://www.aviapanorama.ru/wp-content/uploads/2019/02/42.pdf> (accessed 12.02.2021). (in Russian)
8. **Hankers, R., Pätzold, F., Rausch, T., Kickert, R. and others.** (2009). *Safety aspects of light aircraft spin resistance concept*. EASA. 2008/03. Final Report, December 2009, 160 p.
9. **Krikunov, K.N.** (2013). *Problems of training of commercial aviation pilots*. Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Educational Sciences, no. 2, pp. 79–87. (in Russian)
10. **Kosachevskiy, S.G., Aidarkin, D.V. and Kachan, D.V.** (2018). *Evaluation of the effectiveness methods of initial pilots' professional training to operate the aircraft equipped with electronic flight instrument systems*. Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 5, pp. 8–22. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-8-22 (in Russian)
11. **Kotik, M.G.** (1976). *Dinamika shtopora samoleta* [Airplane spin dynamics]. Moscow: Mashinostroyeniye, 328 p. (in Russian)

12. **Stowell, R.** (2007). *The light airplane pilot's guide to stall/spin awareness*. 1st ed., Rich Stowell Consulting, 520 p.

13. **Kotik, M.G. and Philippov, V.V.** (1977). *Polet na kriticheskikh rezhimakh* [Flight in critical modes]. Moscow: Voenizdat, 239 p. (in Russian)

14. **Levitsky, S.V. and Sviridov, N.A.** (2008). *Dinamika poleta. Uchebnik dlya tekhnicheskikh vuzov* [Flight dynamics: a textbook for technical universities], in Levitsky S.V. (Ed.). Moscow: Izdatelstvo VVIA im. N.Ye. Zhukovskogo, 526 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail A. Kiselev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Aerodynamics, Design and Strength of Aircraft Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, m.kiselev@mstuca.aero.

Sergey V. Levitsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Constructor Engineer, JSC Irkut Corporation, flamento@yandex.ru.

Dmitry V. Moroshkin, Leading Constructor Engineer, JSC Irkut Corporation, mdv.vvia@gmail.com.

Vladimir A. Podobedov, Honoured Scientist of Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Chief Designer – Head of the Aerodynamics Division, JSC Irkut Corporation, Vladimir.Podobedov@irkut.com.

Поступила в редакцию 06.02.2021
Принята в печать 25.03.2021

Received 06.02.2021
Accepted for publication 25.03.2021

УДК 621.89+665.6

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-119-129

MATHEMATICAL MODELING OF OBJECTS FUNCTIONING AND TECHNICAL MEANS FOR AIRFIELD CONTROL ENSURING PROCESS

V.M. SAMOYLENKO¹, O.V. GROMOV², G.I. LITINSKY², V.K. GROMOV²

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Moscow, Russia,

²LLC "Tupolev Service", Zhukovski, Russia

In civil aviation primary focus is on the quality of fuel filled in the aircraft fuel tanks, as one of the components of flight safety ensuring. The introduction of digital technologies and trends in automation, digitalization of modern civil aviation aircraft provision are becoming the basic tool for civil aviation refueling complexes in terms of ensuring flight safety of civil aviation aircraft. This article considers the processes of airfield control that take place in the stationary operating conditions of refueling complexes of civil aviation airports as Markov processes and studies the approaches to their mathematical modeling. The authors claim that in the case of disruption, there is a transition from Markov to Poisson processes, which mathematical description requires different approaches. The practical application of these statements is obvious in the study of the states probabilities value as a function of time t . For practical purposes, the limiting probabilities of states at $t \rightarrow \infty$ are of interest. This creates conditions for entering new variables, such as performance and others. Thus, Markov processes allow us to apply the mathematical apparatus of *operations research*, where the system of states is transformed into the *queuing system*. To maintain Markov processes, the authors suggest giving due consideration to the objects and technical means of airfield control functioning including: retrofitting of filling points and refueling facilities with closed sampling systems, operational measurement of aviation fuel quality indicators and registration of their results, automated monitoring of filter elements condition while refueling and its blocking in the case of stochastic differential pressure beyond the specified indicators. A special novelty is the view on the measuring process of the aircraft refueling operations as an integral part of airfield control, using block chain technologies as an advanced application of Markov chains.

Key words: fueling complex, mathematical modeling, airfield control, Markov processes, Poisson processes, Markov process maintenance, block chain technologies.

INTRODUCTION

Regular implementation of transportation volume in civil aviation of Russia requires carrying out aircraft fuel and lubricant service operations during the process of aircraft preparing for departure. The main task of refueling complexes in terms of strict compliance with the technological schedules of aircraft refueling during their preparation for departure is the organization of production processes and aviation fuel quality control. Aerodrome quality control of aviation fuel is the final technological operation, during which a final decision on the compliance of a certain fuel grade for refueling with a certain type of aircraft. At the present-day stage of development, facilities and technical means allowing us to execute high-quality and timely procedures for airfield control using the expanded format of aviation fuel study prior to aircraft refueling in the general chain of refueling complexes technological process, taking into consideration the priority of airfield fuel quality control. This also requires amendments into the current regulatory and technical documentation or developing new documentation that meets the requirements of the present-day existing technological processes.

TESTS RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Mathematical modeling can be used as a tool for studying the operations of technological processes, including the processes of aircraft refueling. In their work, the authors rely on the fundamental concepts and methodological principles of mathematical modeling, using and applying the theory of

Markov random processes [1–3], especially, concerning the theory of queuing of multi-element systems, as well as applying mathematical optimization methods (game theory, dynamic and linear programming, etc.).

The mathematical description of airfield control, in the modern extended sense, can be represented in the form of Markov chains [4, 5]. A refueling operation can look like a sequence of random events in which a countable or finite number of operation outcomes can occur. In this respect, the probability of this event occurrence will depend on this event state, which was reached in the previous event. On that basis, the sequence of discrete random variables $\{X_n\} n \geq 0$ can be represented as a simple Markov chain with discrete time. Then the condition of this representation can be expressed as:

$$P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n). \quad (1)$$

The equation shows that the conditional distribution of the subsequent state of the Markov chain does not depend on the previous states, but only depends on the current state of the event under consideration. This is the distinguishing feature from higher-order Markov chains. Let us denote the domain of random variables $\{X_n\}$ as the state of the chain space, and the number can be designated as the pitch number.

Since the technological process of aviation fuel quality control (fig. 1) is a random process in which the value of the temporary parameter does not depend on the previous state, taking into account the specified value of the aircraft refueling process, so it has the characteristics of the Markov process. In Wentzel's interpretation [6], this can be represented as the "future" of the process depends on the "past" through the "present".



Fig. 1. The presentation of the Markov process control types and output documentation, which confirms the aviation fuel quality and phased fuel admission to refueling operations

In order to make mathematical description of airfield control, let us assume that its role in the Markov process is to confirm the readiness of the aircraft to be refueled by aircraft fuel suitable to use from the tank of a specific refueling vehicle and from the feed tank [4]. Since the system transition from the state of filling S_1 into a new sedimentation state S_2 , obtaining the control pass S_3 and the aircraft refueling S_4 is possible at any previously unknown, random moment of time t , then, in order to simulate the process of aircraft refueling, which includes the technical means and objects of airfield control functioning, you can apply the definition of **Markov homogeneous random processes with a discrete state and permanent time** [2, 3], that is, the transition probability density of the λ does not depend on time. Then the state graph will look as shown in Figure 2.

From the presented state graph of the aircraft refueling facilities, the probabilities of the $P_{ig}(t)$ states can be determined as time variable, which corresponds to the **Kolmogorov equations** [1]. Using the system of Kolmogorov differential equations and the presented graph of the refueling facilities state, it is possible to obtain the probabilities of the aircraft refueling facilities states values as a time-function. The probabilities of states at $t \rightarrow \infty$ are of interest for practical purposes. It is known that if the

system number of states is finite and only several pitches can move you from one state into another, the limiting probabilities of the states exist at the condition of $\lambda = \text{const}$, and are independent of the initial state of the system.

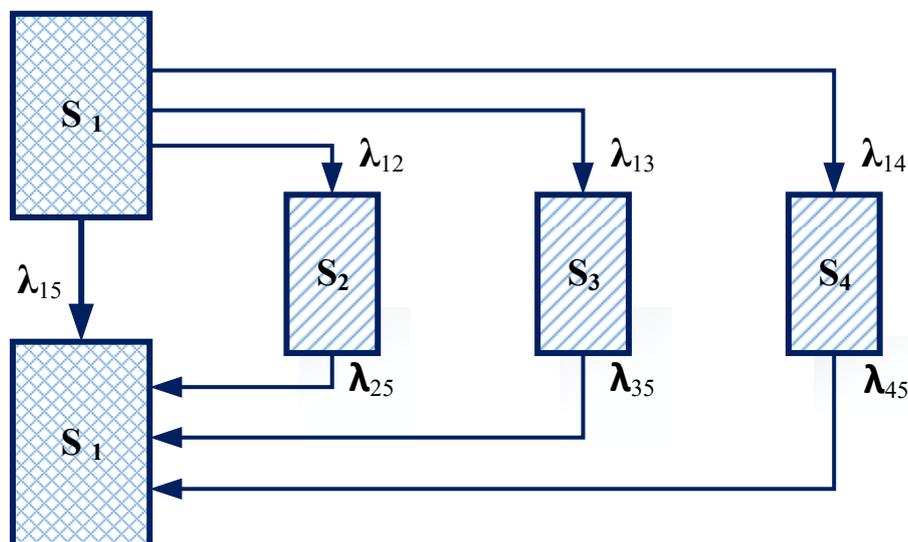


Fig. 2. Marked-up graph of the state of the aircraft refueling facilities

Consequently, at $t \rightarrow \infty$, the maximum stationary mode is set in the system. This means that the system under consideration randomly changes its states. However, the probabilities of each one are no longer time-dependent. This means that each of the examined states can take place with certain constant probability, which is the mean non-dimensional time of system remaining in the given condition.

But, for practical application of these regulations, it is necessary to introduce new variables, such as the productivity of the object and others. Then, we apply the mathematical apparatus of operations research, and the system of states is transformed into the so-called mass or public service system (MSS) [4]. In this case, the airfield control along with the refueling and aircraft departure, acquire the property with a high probability of the waiting queues formation for aircraft maintenance during refueling.

Each mass service system (MSS) includes a certain number of service units, which are called **service channels**. It is known that each mass service system (MSS) under consideration depends on both the number of channels the system contains and their performance, as well as the origin of the orders flow. These dependencies affect the throughput capacity of the mass service system (MSS) and its ability to handle this flow of requests. Thus, the mass service systems (MSS) can be single and multichannel.

Airfield quality control of aviation fuel filled into the aircraft is the subject of the mass service theory (MST). This allows us to establish dependencies between the number of channels, the nature of the orders flow, their performance, operating rules and success, or, in other words, service efficiency [5].

However, at present, the working load on the mass service systems (MSS) is increasing, and at the same time they cope with the task of Markov processes, while they are in the condition of extreme stationary mode. If the process of aviation fuel and lubricants control, studied in the mass service systems (MSS) will be different from Markov process, then its efficiency characteristics can be estimated approximately as [6]. In this regard all further argumentation is carried out under the assumption that all consequence of events of the aviation fuel and lubricants aerodrome control, which transfer the mass service system (MSS) from one state into another, will be Poisson, that is, stochastic. And here it

is necessary to examine the mathematical models of the mass service systems (MSS) operation in abnormal situations.

At the present-day stage of technology development, it is worth paying attention to the record keeping processes which are performed when the aircraft is being refueled, which enters the zone of responsibility of the aerodrome aviation fuel quality control service [7]. The development of the accounting is based on the measurement tools integration implemented into the fuel dispensers and on conducting transactions using block chains [8].

The Block chain technology [4, 9–11] for aerodrome control of aviation fuel and lubricants can be built in the form of a sequential and continuous chain of blocks that will contain information about the process and will be a derivative of Markov chains. A "linked list" will not only join the blocks by means of codes, addresses, and numbering, but also by the fact that each block contains its own hash sum as well as the hash sum of the previous block. If the information in one of the blocks is changed without authorization, it will require editing in all the subsequent blocks. In practice, in case of tamper protection, copies of block chains are stored on many different computers independently of each other. These actions make access to information extremely difficult, and particularly difficult to introduce changes into the blocks information.

To describe the block chain technology, let us refer to the description of a replicated distributed database implemented in the bitcoin system [9, 12]. For this reason, the block chain technology is most often referred to transactions in various crypto currencies. However, the technology of block chains can be extended to any interconnected information blocks, including the Markov chain blocks of airfield control and the related technology of accounting transactions.

Today, the block chain technologies [8, 13] are applied in various fields of knowledge and technology, and, according to the authors, these technological methods can be used in performing the techniques of accounting transactions for aircraft refueling. To do this, it would be logical to implement the metering facilities of the airfield fuel tanker into the block chain technology to create the chain of information transmission received ranging from the measuring facilities of the airfield refueler to banking operations and receiving money for refueling an aircraft. This will eliminate cumbersome and inefficient accounting transactions and other related financial operations. In addition, the block chain can be used to identify the users of fuel supply services or create the cyber-security technologies to restrict access to its resources. But today, the block chain technologies are relevant primarily for executing banking operations and accounts and records to government organizations.

But, in order to implement the block chain technologies into practice of performing aircraft refueling operations, it is necessary to compile correctly the "chained list" [14, 15]. A "chained list", as a basic dynamic data structure, consists of units. Each of the units under consideration will contain both the data itself and one or two references or "bundles", to the previous and/or subsequent unit of the list.



Fig. 3. Example of a linked list in the form of a single-linked list that contains 3 elements

The principal advantage of a linked list over a data array is its structural flexibility, where the order of the linked list elements may not coincide with the order of the data array elements in the computer memory, and the bypass order of the list is always set by its internal links. As it can be seen from the example (fig. 3), the linked list does not include the entire array of information, but only 3 elements bearing the necessary information [16].

It is important to notice that one of the block chain elements is the hash sum, which is considered as the result of data processing by the hash function [14, 16]. In practice, the results of hash sum

processing are used for the data integrity verification, their identification, and for the data replacement which is not safe to be stored in a computer database, such as passwords, logins, results of laboratory testing of jet fuel, and others. Hashing algorithms are used to verify the authenticity of files and their integrity.

Speaking about Markov processes, it is impossible to ignore the issue of equipping facilities and technical means of airfield control (fig. 4) with closed sampling systems and airfield control devices to ensure the aviation fuel transition to the aircraft tanks. First of all, the objects and technical means of airfield control include:

1. buildings, structures and equipment of filling stations;
2. aerodrome fuel tankers and refueling units of centralized aircraft refueling systems: mobile and stationary;
3. area and parking places for refueling facilities;
4. aircraft parking bays and traffic patterns of aircraft and refueling facilities;
5. processes and procedures for performing technological operations of refueling the aircraft, including the aircraft fuel system control (9) according to the IATA levels of responsibility.

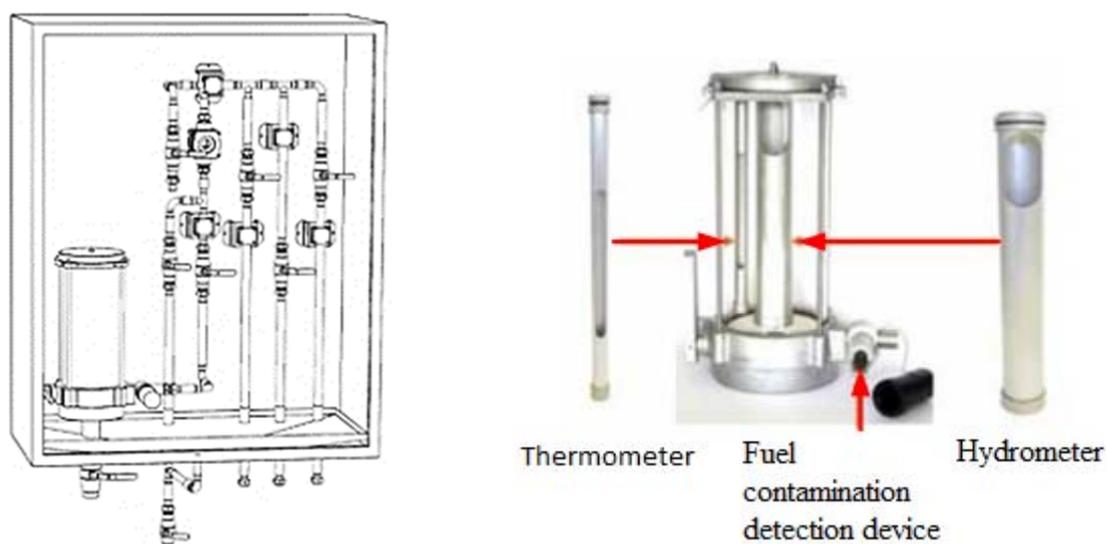


Fig. 4. An example of a closed sampling system embodiment

The objects of airfield quality control are micro filters and water separation filters of airfield fuel tankers, refueling units of central refueling station systems [17], mobile and stationary aircraft refueling facilities at the following points of the airport and airfield:

1. filling points and filtration points of central refueling station systems;
2. sedimentation and waiting areas;
3. aircraft ramps.

For filling and filtration points of central refueling station systems, in terms of technical equipment, the most important issues are the availability of a quality certificate of the feed tank and a quality control system fitting out with micro filters and water separation filters, as terminal technical infrastructure for fuel purification before using jet fuel. It is important to point out the requirement for application of closed sampling systems for instrument, visual and laboratory quality control. Today, it is an actual issue to develop the methodology for personnel dealing with closed sampling systems and conduct the visual and instrument control methods.

For the purposes of airfield control, it is important to replenish the refueling equipment with quality control devices (fig. 5), primarily of density and temperature [4, 9], which help to obtain effi-

ciently quality indicators at technological sites and aircraft parking areas. It is recommended to use such devices as hydrometers, thermometers and fuel contamination detection devices in the set of refueling equipment. For their use, there are special pockets in the inner cover of the sampler for immersion of the instruments for measuring the indicators of airfield control in the controlled environment. Aerodrome control should use models of hydrometers and thermometers, which must be enclosed with the manufacturer's certificate of conformity, as well as ones approved by the aviation authorities and oil companies, compatible with the recommendations of the IATA-JIG [11, 18].



Fig. 5. Aerodrome control devices: thermometers (1, 2) and hydrometers (3, 4)

In the lower part of the sampler there is a valve for entering the syringe of the fuel contamination detection device. The device is used for airfield control in order to determine the contamination of fuel with mechanical impurities and water. To determine the contamination of fuel, the fuel contamination detection device is used together with the fuel quality indicator.

Due to the high intensity of flights, today it is vital to refer on-line monitoring the contamination degree of micro-filters and water separator filters elements installed at the filling points and refueling facilities of the aircraft to the section of airfield control.

Periodic monitoring the differential pressure on the mentioned aviation fuel purification means is carried out within the limits of warehouse control [15], which is involved with the differential pressure indicators output beyond the limits which are limited while the airfield tankers are filled and, which is extremely dangerous, at the moment while the aircraft is being refueled. Since the value of the differential pressure is the function of filter elements state [11, 19], that is to say:

$$P_d \cong f_s$$

Where: P_d – is the differential pressure of the filter element;

f_s – is the function of the filter element condition.

In this case there is great probability of uncontrolled transition of purification system condition during the aircraft refueling on to aviation fuel quality dangerous indications while the system of aerodrome control won't be able to prevent it.

"Tupolev Service" LLC developed method of automated monitoring differential pressure current values for the water separator – filter consists of digitizing of the filter elements characteristics according to the manufacturer's technical documentation, by means of entering data into the software (hereinafter referred to as the software) compatible with the software of the aircraft refueling control inspector from its loading into the aircraft fuel tank controller (fig. 6) [15, 20].

A characteristic feature of the controller software is indication coming on in the event of the differential pressure parameters occurrence beyond the regulatory established limits for automatic aircraft refueling termination. Thus, the protection against non-normalized differential pressure is triggered. That is, the filling points filtration system and filling facilities should only function in the mode in which:

$$P_d < P_{d\ max} \div > P_{d\ min}$$

Where: $P_{d\ max}$ – is the maximum differential pressure;

$P_{d\ min}$ – is the minimal differential pressure.

Violation of the above-mentioned aviation fuel purification means operation mode automatically leads to an emergency stop of aircraft refueling.



Fig. 6. Differential pressure passport data entry into the computer software (a) and their transmission to the on-board controller software (b)

The facilities and technical means of the aviation fuel objects purification system and the technical means of airfield control are as follows: the controller receives digital information from the flow parameter converter and in the On-line mode compares the differential pressure current data with the normalized ones, after which it issues a signal either to continue or terminate the aircraft refueling [4]. But, if the differential pressure indicator is beyond tolerance, the controller generates the aircraft refueling blocking signal.

CONCLUSION

1. Modern aerodrome control functions successfully in the conditions of Markov processes. In case of transition to Poisson processes mass service system reset is required.
2. In order to increase the aerodrome monitoring efficiency, modification of facilities and technical means which provide the aerodrome control functioning with closed sampling system and quality

control devices with retraining of engineering staff and aircraft filling means operator-drivers is required.

3. The block chain technology implementation into the system of accounting transactions during the process of refueling operations will significantly increase the productivity of airport refueling complexes.

4. Aerodrome control should include the monitoring systems for checking the contamination of the micro-filter elements and water separator filters installed in aviation fuel purification systems at filling stations and airfield tankers.

5. The implementation of programs for the new methods of organizing airfield control and accounting operations introduction will require organizational and legal support from government structures.

REFERENCES

1. **Kolmogorov, A.N.** (1986). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: Nauka, 534 p. (in Russian)
2. **Gmurman, V.E.** (2014). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnik dlya vuzov* [Probability theory and mathematical statistics: textbook for universities]. 12th ed. Moscow: Izdatelstvo Yurayt, 479 p. (in Russian)
3. **Khamitov, G.P. and Vedernikova, T.I.** (2006). *Veroyatnosti i statistiki* [Probabilities and statistics]. Irkutsk: BGUEP, 272 p. (in Russian)
4. **Pirogov, Yu.N.** (2006). *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov funktsionirovaniya obyektov tekhnicheskikh sredstv obespecheniya goryuchim* [Mathematical modeling of the refueling technical facilities functioning processes]. Moscow: Neografiya, 228 p. (in Russian)
5. **Kleinrock, L.** (1975). *Queueing Systems, Volume 1: Theory*. Wiley-Interscience, 448 p.
6. **Wentzel, E.S.** (2004). *Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Operations research: tasks, principles, methodology: Textbook for university students]. 3rd ed., ster. Moscow: Drofa, 208 p. (in Russian)
7. **Leshchiner, L.B., Ulyanov, I.E. and Tveretskiy, V.A.** (1975). *Proyektirovaniye toplivnykh sistem samoletov* [Design of aircraft fuel systems]. 1st ed., in Skubachevsky T.S. (Ed.). Moscow: Mashinostroyeniye, 334 p. (in Russian)
8. **Swan, M.** (2015). *Blockchain: blueprint for a new economy*. 1st ed. O'Reilly Media, 152 p.
9. **Pegat, A.** (2001). *Fuzzy modeling and control*. Physica-Verlag Heidelberg, 728 p. DOI: 10.1007/978-3-7908-1824-6
10. **Gromov, V.K.** (2011). *Kontseptsiya modernizatsii. Protsessnyy podkhod k organizatsii toplivozapravochnykh kompleksov aeroportov* [The concept of modernization. Process approach to the organization of airports refueling complexes]. Assotsiatsiya OATO VS GA, no. 6, pp. 36–41. (in Russian)
11. **Seregin, E.P.** (2018). *Razvitiye himmotologii* [Development of chemmotology]. Moscow: Pervyy tom, 880 p. (in Russian)
12. **Mougayar, M. and Buterin, V.** (2016). *Blockchain for business*. 1st ed. Wiley, 196 p.
13. **Genkin, A. and Mikheev, A.** (2018). *Blokcheyn. Kak eto rabotayet i chto zhdet nas zavtra* [Blockchain. How it works and what awaits us tomorrow]. Moscow: Alpina Publisher, 592 p. (in Russian)
14. **Leloup, L.** (2017). *Blockchain: La révolution de la confiance*. EYROLLES, 226 p. (in French)
15. **Kraev, A.K. and others.** (2005). *Agregaty i komplektuyushcheye oborudovaniye sredstv perekachki, zapravki i transportirovka raketnogo topliva i goryuchego: uchebnoye posobiye* [Aggregates and component equipment for pumping, refueling and transportation of rocket fuel and fuel: Tutorial]. 2nd ed., pererab. i dopol. Ulyanovsk: UVVATU, 202 p. (in Russian)

16. Tapscott, A. and Tapscott, D. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Portfolio, 365 p.

17. Kovalenko, V.G. and Sereda, V.V. (2005). *Avtomobilnyye transportno-zapravochnyye sredstva dlya neftyanykh i gazovykh topliv. Spravochnik-albom. Nauchno-tekhnicheskoye izdaniye* [Automobile transport and filling facilities for oil and gas fuels. Directory-album. Scientific and technical edition]. Moscow: ООО "Vladmar", 224 p. (in Russian)

18. Kauk, V.V., Dunayev, S.V., Shatalov, K.V., Alatorsev, Ye.I. and others. (2008). *Analiz kachestva goryuchego* [Analysis of fuel quality], 696 p. (in Russian)

19. Syroedov, N.Ye. and Rozhkov, A.F. (1992). *Zarubezhnyye mobilnyye toplivozapravochnyye sistemy i sistemy tsentralizovannoy zapravki toplivom letatelnykh apparatov. Obzor* [Foreign mobile fuel filling systems and systems of centralized refueling of aircraft. Review]. Moscow: 25 GosNII MO RF, 116 p. (in Russian)

20. Dronov, D.V. (2005). *Avtonomnyye sredstva zapravki letatelnykh apparatov: uchebnoye posobiye* [Autonomous means of refueling aircraft: Textbook]. 2nd ed., pererab. i dopol. Ulyanovsk: UVVATU, 234 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vasily M. Samoilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Head of the Aviation Fuel Supply and Aircraft Repair Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, v.samoilenko@mstuca.aero.

Oleg V. Gromov, Candidate of Sciences in Economics, Consultant to the General Director, LLC "Tupolev Service", o.gromov@sorge.pro.

Grigory I. Litinsky, General Director, LLC "Tupolev Service", jobgregor2@gmail.com.

Vladimir K. Gromov, Consultant to the General Director, LLC "Tupolev Service", v.k.gromov@gmail.com.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОДРОМНОГО КОНТРОЛЯ

В.М. Самойленко¹, О.В. Громов², Г.И. Литинский², В.К. Громов²

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия

²ООО «Туполев Сервис», г. Жуковский, Россия

В гражданской авиации большое внимание уделяется качеству топлива, заправляемого в топливные баки воздушного судна, как одной из составляющих обеспечения безопасности полетов. Внедрение цифровых технологий и тенденций автоматизации, цифровизации современного авиатопливообеспечения воздушных судов гражданской авиации (ВС ГА) становится базовым инструментом топливозаправочных комплексов ГА в обеспечении безопасности полетов ВС ГА. В данной статье процессы аэродромного контроля, протекающие в стационарных условиях работы топливозаправочных комплексов аэропортов гражданской авиации, рассматриваются как Марковские, и изучены подходы к их математическому моделированию. Авторы утверждают, что в случае сбойных ситуаций происходит переход от Марковских к Пуассоновским процессам, математическое описание которых требует иных подходов. Практическое применение этих положений видится в рассмотрении значения вероятностей состояний как функции времени t . Для практических целей интерес представляют предельные вероятности состояний при $t \rightarrow \infty$. Это создает условия для ввода новых переменных, таких как производительность и другие. Таким образом, Марковские процессы позволяют применить математический аппарат исследования операций, где система состояний преобразуется в систему массового обслуживания (СМО). Для поддержания Марковских процессов авторы предлагают уделить особое внимание функционированию объектов и технических средств аэродромного контроля, среди которых дооснащение пунктов налива и средств заправки закрытыми системами отбора проб, оперативное измерение показателей качества авиатоплива

и оформление их результатов, автоматизация мониторинга состояния фильтрующих элементов в процессе заправки и его блокировка в случае стохастических выходов перепада давления за нормируемые показатели. Особую новизну представляет видение процесса ведения учетных операций заправки воздушных судов как неотъемлемой части аэродромного контроля с применением технологий блокчейн, продвинутого приложения Марковских цепей.

Ключевые слова: топливозаправочный комплекс, математическое моделирование, аэродромный контроль, Марковские процессы, Пуассоновские процессы, поддержание Марковского процесса, технологии блокчейн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Колмогоров А.Н.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1986. 534 с.
2. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. 12-е изд. М.: Юрайт, 2014. 479 с.
3. **Хамитов Г.П., Ведерникова Т.И.** Вероятности и статистики. Иркутск: БГУЭП, 2006. 272 с.
4. **Пирогов Ю.Н.** Математическое моделирование процессов функционирования объектов технических средств обеспечения горючим. М.: Неография, 2006. 228 с.
5. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания / Пер. с англ. И.И. Грушко, под ред. В.И. Неймана. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
6. **Вентцель Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология: учеб. пособие для вузов. 3-е изд., стер. М.: Дрофа, 2004. 208 с.
7. **Лещинер Л.Б., Ульянов И.Е., Тверецкий В.А.** Проектирование топливных систем самолетов / Под ред. Т.С. Скубачевского. 1-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 334 с.
8. **Свон М.** Блокчейн. Схема новой экономики. М.: Олимп-бизнес, 2017. 240 с.
9. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. 2-е изд. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
10. **Громов В.К.** Концепция модернизации. Процессный подход к организации топливозаправочных комплексов аэропортов // Ассоциация ОАТО ВС ГА. Информационный сборник. 2011. № 6. С. 36–41.
11. **Серегин Е.П.** Развитие химмотологии. М.: Первый том, 2018. 880 с.
12. **Могайар У., Бутерин В.** Блокчейн для бизнеса. М.: Бомбора, 2017. 224 с.
13. **Генкин А., Михеев А.** Блокчейн. Как это работает и что ждет нас завтра. М.: Альпина Паблишер, 2018. 592 с.
14. **Лелу Л.** Блокчейн от А до Я. Все о технологии десятилетия. М.: Бомбора, 2018. 256 с.
15. **Краев А.К.** Агрегаты и комплектующее оборудование средств перекачки, заправки и транспортировки ракетного топлива и горючего: учеб. пособие / А.К. Краев и др. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УВВАТУ, 2005. 202 с.
16. **Тапскотт А., Тапскотт Д.** Технология блокчейн – то, что движет финансовой революцией сегодня. М.: Бомбора, 2017. 448 с.
17. **Коваленко В.Г., Серeda В.В.** Автомобильные транспортно-заправочные средства для нефтяных и газовых топлив. Справочник-альбом. Научно-техническое издание. М.: ООО «Владмар», 2005. 224 с.
18. **Каук В.В.** Анализ качества горючего / В.В. Каук, С.В. Дунаев, К.В. Шаталов, Е.И. Алаторцев и др. М.: ООО «Ульяновский Дом печати», 2008. 696 с.
19. **Сыроедов Н.Е., Рожков А.Ф.** Зарубежные мобильные топливозаправочные системы и системы централизованной заправки топливом летательных аппаратов. Обзор. М.: 25 ГосНИИ МО РФ, 1992. 116 с.
20. **Дронов Д.В.** Автономные средства заправки летательных аппаратов: учеб. пособие / Д.В. Дронов и др. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УВВАТУ, 2005. 234 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Самойленко Василий Михайлович, доктор технических наук, заведующий кафедрой авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, v.samoilenko@mstuca.aero.

Громов Олег Владимирович, кандидат экономических наук, советник генерального директора ООО «Туполев Сервис», o.gromov@sorge.pro.

Литинский Григорий Иванович, генеральный директор ООО «Туполев Сервис», jobgregor2@gmail.com.

Громов Владимир Константинович, советник генерального директора ООО «Туполев Сервис», v.k.gromov@gmail.com.

Поступила в редакцию 18.12.2020
Принята в печать 25.03.2021

Received 18.12.2020
Accepted for publication 25.03.2021

ББК 05
Н 34
Св. план 2021

Научный Вестник МГТУ ГА
Том 24, № 02, 2021
Civil Aviation High TECHNOLOGIES
Vol. 24, No. 02, 2021

Свидетельство о регистрации в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-47989 от 27 декабря 2011 г.

Подписано в печать 19.04.2021.

Печать цифровая

Формат 60×90/8

16,25 усл. печ. л.

Заказ № 760 / 56

Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Изготовлено в ИД Академии имени Н.Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., дом 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: artpress@ mail.ru

Подписной индекс в каталоге Роспечати 84254

© Московский государственный
технический университет ГА, 2018