

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім
министрлігі
Азаматтық авиация академиясының Жаршысы

**Вестник Академии гражданской авиации
Министерства науки и высшего образования
Республики Казахстан**

**Bulletin of Civil aviation Academy
Ministry of Science and Higher Education of the
Republic of Kazakhstan**

№2(33) 2024

АЛМАТЫ – 2024

«Азаматтық Авиация Академиясының Жаршысы»

Ғылыми басылым

*Қазақстан Республикасы инвестициялар және даму министрлігі
Байланыс, ақпараттандыру және ақпарат комитеті
Мерзімді баспасөз басылымын және ақпараттық агенттікті есепке қою
туралы куәлігі
№15452-Ж 1 маусым, 2015 жыл*

*Қазақстан Республикасының ұлттық мемлекеттік кітап палатасы
(ЮНЕСКО, Франция, Париж қ.) сериялық басылымдарды тіркейтін ISSN
Халықаралық орталығында тіркелген және халықаралық номер берілген
ISSN 2413-8614*

2015 жылдан бастап

*Журналдың шығу мерзімділігі - жылына 4 рет
Басылымның тілдері: қазақ, орыс, ағылшын*

*Журналда авиация саласындағы техникалық, жаратылыстану,
гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдардың әртүрлі салаларында
ғалымдардың, оқытушылардың, PhD докторанттар мен магистранттардың
зерттеулерінің нәтижелері бойынша ғылыми мақалалар жарияланады.*

"Азаматтық авиация академиясы" АҚ Закарпатская көшесі, 44, Каб. №202
А35М2Н5 (жаңа индекс), Алматы қ., Қазақстан Республикасы,
Тел.: 8 747 182 52 41, e-mail: vestnik@agakaz.kz

"ААА Жаршысы" ғылыми журналының электрондық нұсқасы
<https://vestnik.agakaz.kz/> сайтында "Мұрағат" бөлімінде орналастырылған

Бас редактор

Сейдахметов Б.К., э.ғ.к., асс.профессор (h-индекс:4)

Бас редактордың орынбасары

Көшекөв Қ.Т., т.ғ.д., профессор (h-индекс:6)

Редакциялық алқа:

1. А.В.Стрельцов, доктор (PhD), Эмбри-Риддл Аэронавтика университетінің жаратылыстану ғылымдары кафедрасының профессоры (Дейтона жағажайы, Флорида) **(h-индекс:24);**
2. И.В. Яцкив, инженерия ғылымдарының докторы, профессор Көлік және байланыс институтының (TSI) Басқарма Төрағасы, Еуропалық көлік зерттеу қауымдастығының Басқарма мүшесі **(h-индекс:8);**
3. И.А. Искендеров, ф.-м.ғ. к., Әзірбайжанның Ұлттық авиация академиясының асс. профессоры **(h-индекс:1);**
4. К.Б. Алдамжаров, т.ғ.д, профессор «Азаматтық авиация академиясы» АҚ **(h-индекс:2);**
5. Е.А. Оспанов, 6D070200 – «Шәкәрім атындағы Университет» КЕАҚ-ның «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша PhD, ЖАК қауымдастырылған профессоры **(h-индекс:5);**
6. С.А. Бельгинова, 6D070300 – Ақпараттық жүйелер (салалар бойынша) мамандығы бойынша PhD, Тұран университетінің, Ақпараттық технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры **(h-индекс:5);**
7. Р.К. Анаятова, PhD докторы, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, «Авиациялық ағылшын тілі» кафедрасының меңгерушісі **(h-индекс:4);**
8. Е.Е. Қарсыбаев, т.ғ.д, профессор, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ **(h-индекс:1);**
9. М.Н. Қалимолдаев, ф.-м. ғ. д., профессор, ҚР БҒМ Ғылым комитеті информатика және басқару мәселелері институты **(h-индекс:9);**
10. Тулешов А. Қ., т. ғ. д., ХАА академигі, Механика және машинатану институты **(h-индекс:4).**

Жауапты редактор: А.Т. Макеева

«Вестник Академии гражданской авиации»

Научное издание

*Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания и информационного агентства №15452-Ж1 от 1 июля 2015 года**Комитета связи, информатизации и информации**Министерство по инвестициям и развитию Республики Казахстан**Национальная государственная книжная палата Республики Казахстан
Зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция) и ей присвоен международный номер**ISSN 2413-8614**Год основания - 2015**Периодичность издания журнала – 4 номера в год.**Языки издания: казахский, русский, английский**В журнале публикуются научные статьи по результатам исследований ученых, преподавателей, докторантов PhD и магистрантов в различных областях технических, естественных, гуманитарных и общественных наук авиационной отрасли.*

АО «Академия гражданской авиации» ул. Закарпатская, 44, Каб. №202

А35М2Н5 (новый индекс), г. Алматы, Республика Казахстан

Тел.: 8 747 182 52 41, e-mail: vestnik@agakaz.kzЭлектронная версия научного журнала "Вестник АГА" размещено на сайте <https://vestnik.agakaz.kz> / в разделе "Архив"

Главный редактор

Б.К.Сейдахметов, к.э.н., асс. профессор (**h-индекс:4**)

Зам. главного редактора

К.Т.Кошеков, д.т.н., профессор (**h-индекс:6**)

Редакционная коллегия:

1. А.В. Стрельцов, доктор (PhD), профессор кафедры естественных наук университета аэронавтики Эмбри-Риддл (г. Дейтона-Бич, штат Флорида) (**h-индекс:24**);
2. И.В. Яцкив, Председатель правления Института транспорта и связи (TSI), доктор инженерных наук, профессор, член правления Европейской ассоциации транспортных исследовательских институтов (**h-индекс:8**);
3. И.А.Искендеров, к.ф.-м.н., асс. профессор, Национальная авиационная академия Азербайджана (**h-индекс:1**);
4. К.Б. Алдамжаров, д.т. н., профессор АО «Академия гражданской авиации» (**h-индекс:2**);
5. Е.А. Оспанов, PhD по специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление», ассоциированный профессор ВАК, НАО «Университет имени Шакарима (**h-индекс:5**);
6. С.А. Бельгинова, PhD по специальности 6D070300 – Информационные системы (по отраслям), ассоциированный профессор университета Туран, кафедры информационных технологии (h-индекс:5);
7. Е.Е. Карсыбаев, д.т.н., профессор АО «Академия гражданской авиации» (**h-индекс:1**);
8. Р.К. Анаятова, доктор PhD, зав. каф. «Авиационный английский язык», АО «Академия гражданской авиации» (**h-индекс:4**);
9. М.Н. Калимолдаев, д.ф.-м.н., профессор, Институт проблем информатики и управления комитета науки МОН РК (h-индекс:9);
10. А.К. Тулешов, д.т.н., академик МИА, Институт механики и машиноведения (**h-индекс:4**).

Ответственный редактор: А.Т. Макеева

“Bulletin of the Civil Aviation Academy”*Scientific publication*

*The certificate of registration of a periodical and
Information Agency from July 1, 2015, №154521 Ж1
Communication, Informatization and Information Committee*

*The Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan
Registered in the International Center for the Registration of Serials ISSN
(UNESCO,
Paris, France) and assigned an international number ISSN 2413-8614*

Foundation year – 2015

Periodicity is 4 issues per year.

Publication Languages are Kazakh, Russian and English

*The journal publishes scientific articles based on the results of research by
scientists, teachers, PhD students and undergraduates in various fields of technical,
natural, humanitarian and social sciences of the aviation industry.*

JSC “Academy of Civil Aviation” Zakarpatskaya str., 44, Office No. 202
A35M2N5 (new index), Almaty, Republic of Kazakhstan
Tel.: 8 747 182 52 41, e-mail: vestnik@agakaz.kz

The electronic version of the scientific journal "Bulletin of the AGA" is posted on the
website <https://vestnik.agakaz.kz/> in the "Archive" section

Editor-in – chief

Seydakhmetov B.K., Candidate of Economics, Associate Professor (**h-index:4**)

Deputy Chief Editor

Koshekov K.T., doctor of technical sciences, professor (**h-index:6**)

Editorial staff:

1. A.V. Streltsov, Doctor of Philosophy (PhD), Professor of Engineering Physics department of Physical Sciences at Embry-Riddle Aeronautics University (Daytona Beach, Florida) (**h-index:24**);
2. I.V. Yatskiv, Chairman of the Board of the Institute of Transport and Communications (TSI), Doctor Engineering Sciences, Professor, Member of the Board of the European Association of Transport Research Institutes (**h-index:8**);
3. I.A. Isgandarov, candidate of physical and mathematical sciences, associated professor of Azerbaijan National Aviation Academy (**h-index:1**);
4. K.B. Aldamzharov, doctor of technical sciences, professor (**h-index:2**);
5. Ospanov E. A., PhD in the specialty 6D070200 – "Automation and Control", Associate Professor of the Higher Attestation Commission, NJSC "Shakarim University" (**h-index:5**);
6. S. A. Belginova, PhD in specialty 6D070300 – Information Systems (by industry), Associate Professor of Turan University, Department of Information Technology (**h-index:5**);
7. E.E. Karsybaev, Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Academy of Civil Aviation" (**h-index:1**);
8. R.K. Anayatova, PhD, Head of the Department "Aviation English", JSC "Academy of Civil Aviation" (**h-index:4**);
9. Kalimoldaev M.N., PhD, Professor, Institute of Problems of Informatics and Management of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (**h-index:9**);
10. A.K. Tuleshov, PhD, Academician MIA, Institute of Mechanics and Machine Science (**h-index:4**).

Responsible editor: Makeeva A.T.

МАЗМҰНЫ/СОДЕРЖАНИЕ/ CONTENTS

ӘУЕ КӨЛІГІ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТЕХНОЛОГИИ	
AIR TRANSPORT AND TECHNOLOGY	
Алексеева М.Е., Алексеев Р.И. ДВУХКОНТУРНЫЕ ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ИСТОРИЯ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	10
Islam Isgandarov, Yunus Karimov APPLICATION OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM TO INCREASE THE INFORMATION CONTENT OF REMOTE CONTROL OF THE OPERATION OF ON-BOARD SYSTEMS OF AIRCRAFT	20
Карипбаев С.Ж., Бимагамбетов М.А., Молдабеков А.К., Жумадилов Ж.С., Азелханова Ж.А. ЭЛЕКТРСТАТИКАЛЫҚ АСПАДАҒЫ ТҮЙІСПЕЙТІН ГИРОСКОПТЫ ТОЛҚЫТУ МОМЕНТТЕРІНІҢ КҮШ ФУНКЦИЯСЫН ТҮРҒЫЗУ	30
Макаров В.В. ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ УТЕЧЕК И НАРУШЕНИЙ ГИДРОТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТЕПЛОТРАСС БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	42
Акылбекова Г.А., Доненко И.Л. ИННОВАЦИОННЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПОМОЩЬЮ БПЛА	54
ЛОГИСТИКА, ТАСЫМАЛДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ, КӨЛІКТЕГІ ҚАУІПСІЗДІК	
ЛОГИСТИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ	
LOGISTICS, TRANSPORTATION ORGANIZATION, TRANSPORT SECURITY	
Сайдумаров И. М., Бойманов И. Ж. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АЭРОПОРТОВ В УСЛОВИЯХ СЕЗОННОГО РОСТА ПАССАЖИРОПОТОКОВ	64
КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР, АСПАП ЖАСАУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ	
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ	
COMPUTER SCIENCE, INSTRUMENTATION AND AUTOMATION	
Anayatova R., Koshekov K. EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE DEVELOPED METHOD FOR CLASSIFYING EMOTIONAL STATES THROUGH SPEECH SIGNALS	72
Әкімбай Ш.Қ. АВТОМОБИЛЬДІ НЕЙТРАЛИЗАТОРДА ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРДЫ ТАЗАЛАУ КЕЗІНДЕ ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСТЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ	82

CONTENTS

<i>AIR TRANSPORT AND TECHNOLOGY</i>	
M.E. Alekseyeva, R.I. Alekseyev BYPASS TURBOJET ENGINES: EVOLUTION, TRENDS AND DEVELOPMENT PROSPECTS	10
Islam Isgandarov, Yunus Karimov APPLICATION OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM TO INCREASE THE INFORMATION CONTENT OF REMOTE CONTROL OF THE OPERATION OF ON- BOARD SYSTEMS OF AIRCRAFT	20
Karipbayev S.J., Bimagambetov M.A., Moldabekov A.K., Zhumadilov J.S., Azekhanova J. A. CONSTRUCTION OF THE FORCE FUNCTION OF THE EXCITATION MOMENTS OF A CONTACT GYROSCOPE IN AN ELECTROSTATIC SUSPENSION	30
Makarov V.V. DETECTION OF LEAKS AND BREACHES OF THE WATERPROOFING COATING OF HEATING PIPELINES BY UNMANNED AERIAL VEHICLES	42
Akylbekova G.A., Donenko I.L. AN INNOVATIVE FRACTAL APPROACH FOR PROCESSING AGRICULTURAL LAND USING UAVS	54
<i>LOGISTICS, TRANSPORTATION ORGANIZATION, TRANSPORT SECURITY</i>	
Saidumarov I.M., Boatswain I.Zh. MODELING AND OPTIMIZATION OF AIRPORT CAPACITY IN CONDITIONS OF SEASONAL PASSENGER TRAFFIC GROWTH	64
<i>COMPUTER SCIENCE, INSTRUMENTATION AND AUTOMATION</i>	
Anayatova R., Koshekov K. EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE DEVELOPED METHOD FOR CLASSIFYING EMOTIONAL STATES THROUGH SPEECH SIGNALS	72
Akimbay Sh.K. MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELING OF TRANSFER PROCESSES IN THE CLEANING OF EXHAUST GASES IN AN AUTOMOBILE NEUTRALIZER	82

=====

ӘУЕ КӨЛІГІ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТЕХНОЛОГИИ
AIR TRANSPORT AND TECHNOLOGY

=====

МРНТИ 73.37.41

https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_1¹М.Е. Алексеева*, ¹Р.И. Алексеев¹Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, Беларусь*E-mail: mariaalex.2017@mail.ru

**ДВУХКОНТУРНЫЕ ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ:
ИСТОРИЯ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Аннотация. В данной статье выполнен обзор эволюции двухконтурных турбореактивных двигателей, рассмотрено устройство современных авиадвигателей самолетов гражданской авиации, применяемые в их конструкции технические решения, материалы и технологии. В работе освещаются проблемы, возникающие при создании двигателей со сверхвысокой степенью двухконтурности, а также перспективы дальнейшего увеличения их энергоэффективности. Авторы делают вывод о том, что разработка авиадвигателей со сверхвысокой степенью двухконтурности, в том числе и винтовентиляторных, является ключевым направлением для достижения высокого КПД, топливной экономичности и экологичности авиационных силовых установок будущего.

Ключевые слова: двухконтурный турбореактивный двигатель, степень двухконтурности, энергоэффективность, турбовентиляторные авиадвигатели, композитные материалы, винтовентиляторные силовые установки.

Введение. Двухконтурный турбореактивный двигатель (ТРДД) – это газотурбинный реактивный двигатель (ГТД), создающий реактивную тягу посредством двух контуров: внутреннего (или газотурбинного) и внешнего (или вентиляторного). Дополнительным параметром, характеризующим этот тип ГТД, является степень двухконтурности (m). Она представляет собой отношение расхода воздуха в наружном контуре G_{II} к расходу воздуха во внутреннем контуре G_I ($m = G_{II} / G_I$). В зависимости от газодинамических и конструктивных особенностей такие ГТД подразделяются на:

- ТРДД малой степени двухконтурности ($m \leq 2$);
- со средней степенью двухконтурности ($m = 3 \dots 7$);

- имеющие высокую степень двухконтурности ($m = 8...12$).

Первые из вышеперечисленных по конструкции и характеристикам сходны с одноконтурными ТРД, тогда как большая часть тяги в ТРДД второго и третьего типов создается внешним контуром, в котором расположен вентилятор, поэтому такие двигатели называют турбовентиляторными [1, с. 23].

Основная часть. В настоящий момент ТРДД являются основным типом ГТД, применяемых в коммерческой авиации. По сравнению с ТРД двухконтурные двигатели, обладают большей тягой, меньшим удельным расходом топлива и уровнем шума. Оба варианта ГТД имеют одинаковый принцип работы, но главной особенностью двухконтурного двигателя является то, что часть тепловой энергии из внутреннего контура, преобразованная в механическую, передается во внешний и используется для вращения вентилятора, который, помимо своей основной функции – создания тяги, в свою очередь способствует охлаждению деталей внутреннего контура и повышению его термоэффективности. Такой энергообмен кардинально улучшает характеристики ТРДД по сравнению с ТРД.

Первый турбореактивный двигатель был спроектирован и запатентован в 1930 г. британским летчиком Ф. Уиттлом. Он имел многоступенчатый компрессор, камеру сгорания, одноступенчатую турбину и сопло. Однако первая концепция ТРДД, напоминающая современный авиадвигатель, была запатентована в 1941 г. знаменитым советским конструктором А. М. Люлькой (рис. 1).

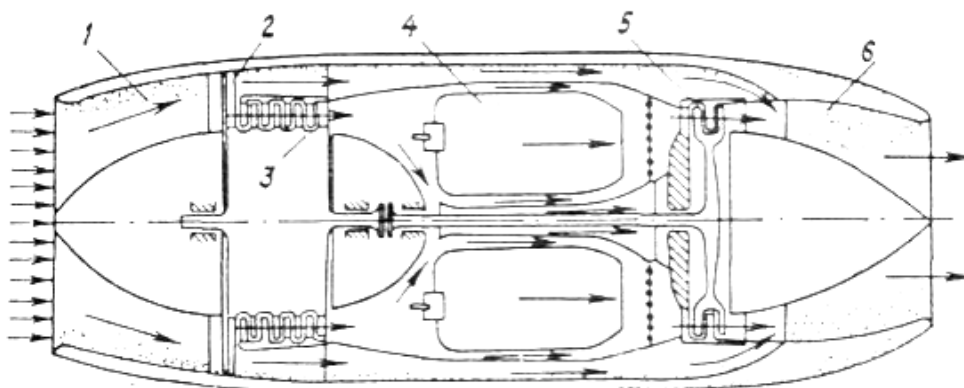


Рисунок 1. Схема ТРДД (из авторского свидетельства А. М. Люльки за № 312328. 25 от 22.04.1941 г.)

где 1 – входной диффузор; 2 – вентилятор; 3 – КВД; 4 – камера сгорания
5 – турбина; 6 – сопло.

Это был проект одновального ТРДД с одноступенчатым вентилятором. Воздух от вентилятора и горячий газ от турбины поступали в камеру смешения потоков, затем попадали в реактивное сопло создавая тягу. Отметим, что такая

конструкция характерна для современных ТРДД с малой степенью двухконтурности.

Современные ТРДД средней и высокой степени двухконтурности как правило выполняются по двухвальтной схеме. Их основные особенности заключаются в следующем:

- одноступенчатый вентилятор без входного направляющего аппарата (ВНА) – такой вариант упрощает компоновку и снижает гидравлические потери на входе в двигатель;
- подпорный компрессор, обеспечивающий предварительное сжатие воздуха во внутреннем контуре и подачу его в компрессор высокого давления (КВД);
- наличие поворотных лопаток у ВНА и направляющих аппаратов начальных ступеней КВД;
- многоступенчатая низкооборотная турбина низкого давления (ТНД);
- как правило (при $m > 4$), укороченный наружный контур и в этом случае отсутствие камеры смешения потоков наружного и внутреннего контуров;
- использование реверсивного устройства, расположенного в наружном контуре [1, с. 54].

С начала 1970-х гг. эффективность турбовентиляторных двигателей значительно возросла, что обусловлено, в первую очередь, повышением термического КПД газогенератора, а также постоянным увеличением степени двухконтурности. Стратегия улучшения эффективности работы газогенератора, подразумевающая увеличение степени повышения полного давления в компрессоре и температуры воздуха на входе в камеру сгорания, внесла решающий вклад в рост КПД авиадвигателей. Однако, дальнейшие возможности применения различных конструктивных решений, таких как отбор воздуха для охлаждения лопаток и корпуса, разработка специальных материалов и покрытий для высокотемпературных компонентов двигателя, а также уменьшения зазоров между деталями газогенератора, при текущем уровне развития технологий, уже практически исчерпаны, поэтому дальнейшее повышение как тяговой, так и топливной эффективности авиадвигателей должно в основном основываться на других технологических стратегиях.

За весь период развития ТРДД производилось постепенное увеличение степени их двухконтурности, которое было направлено на снижение скорости истечения газоздушного потока из сопла за счёт увеличения расхода воздуха во внешнем контуре двигателя. ТРДД с малой степенью двухконтурности ($m \leq 2$), первоначально использовавшиеся в 1970-х годах для коммерческих авиалайнеров, в 80-х годах превратились в ТРДД со средней ($m \leq 4$), потом большой степенью двухконтурности ($m \leq 8$) в конце 90-х и, наконец, достигли степени двухконтурности $m \leq 12$ в 2010-х.

Согласно прогнозам международной консалтинговой компании *Mordor Intelligence*, ожидается, что рынок двигателей для авиации общего назначения увеличится с 5,57 млрд в 2022 г. до 5,71 млрд долл. США в 2028 г., при этом среднегодовой темп роста в течение прогнозируемого периода составит 0,69%. Поскольку во всем мире большинство самолетов авиации общего назначения оснащены турбовентиляторными двигателями, именно они продемонстрируют самый высокий рост, по сравнению с другими видами авиадвигателей, благодаря глобальным инвестициям, направленным на увеличение размера существующего парка гражданской авиации, связанного с повышением количества туристических и деловых авиаперелетов, возрастом населения и развитием авиационной инфраструктуры [2].

Устойчивый рост в секторе коммерческих авиаперевозок, а также постоянно ужесточающиеся требования к энергоэффективности и снижению вредного воздействия на окружающую среду, заставили крупнейших игроков рынка авиадвигателей, таких как *Rolls-Royce*, *Safran*, *General Electric* и *Pratt & Whitney* вкладывать значительные финансовые средства в исследования, проектирование и разработки, нацеленные на дальнейшее улучшение топливной экономичности и экологических показателей силовых установок.

Одним из жизнеспособных перспективных технологических путей для достижения вышеуказанных целей является разработка и применение двигателей со сверхвысокой степенью двухконтурности ($m \geq 13$) для самолетов ближайшего будущего. Однако, дальнейшее увеличение степени двухконтурности, направленное на повышение тягового КПД и топливной экономичности, поставило перед разработчиками ряд задач по преодолению некоторых аэродинамических и механических эксплуатационных ограничений, таких как: увеличение аэродинамического сопротивления и массы двигателя (за счет увеличения диаметра вентилятора и, соответственно мотогондолы), управление стабильностью расхода воздуха, проходящего через газоздушный тракт, возможность интеграции двигателя, планера и крыла.

Большая часть из этих ограничений уже успешно преодолены благодаря инновационной архитектуре двигателей и необходимым технологическим решениям, таким как вентиляторы изменяемого шага с редуктором, поворотные лопатки направляющих аппаратов компрессоров широкое использование сверхлегких материалов и аддитивных технологий в производстве компонентов [3].

В начале 1980-х гг. компания *General Electric* в сотрудничестве с *Snecma* начала разработку экспериментального винтовентиляторного реактивного двигателя *GE36* (рис. 2).



Рисунок 2. Экспериментальный авиадвигатель *GE36* во время наземных испытаний

Уникальной особенностью этой конструкции являлся двухступенчатый открытый вентилятор с противоположным вращением роторов. Оба ротора вентилятора диаметром около 3,7 м были оснащены лопастями из композитного материала, обеспечивающими номинальную тягу в 110 кН. Такая компоновка, согласно результатам наземных и летных испытаний, позволила достичь степени двухконтурности $m = 32$ (в несколько раз большей, чем $m \leq 6$ у современных на тот момент ТРДД). Однако, сравнительно высокий уровень шума и вибраций новой схемы, снижение цен на нефть (при котором отпала необходимость в экономии топлива) наряду с другими техническими вопросами, привели к тому, что к концу 80-х все работы над двигателями этого типа были свернуты [4].

Проект был возобновлен спустя 30 лет. В 2021 г. совместное предприятие *CFM International* объявило о запуске программы *RISE* по разработке винтовентиляторных двигателей нового поколения (рис.4).

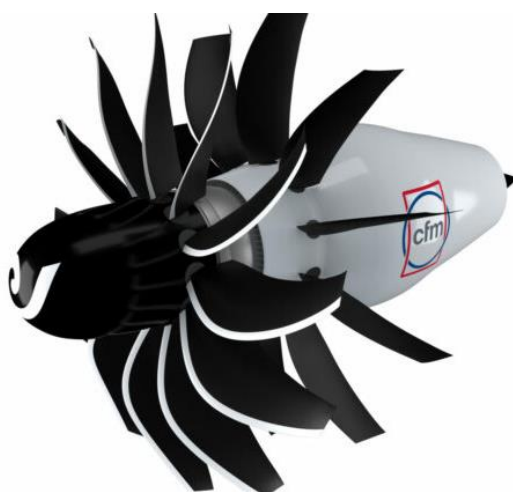


Рисунок 3. Модель турбовинтовентиляторного двигателя *CFM RISE*

Первоначальная концепция включает применение одноступенчатого незакапотированного вентилятора с композитными лопастями и изменяемым шагом совместно со статором, состоящим из комплекта поворотных направляющих лопаток, что позволит снизить уровень шума до приемлемых значений, а также сократить расход топлива и выбросы CO_2 на 40% по сравнению с двигателями, которые использовались ранее.

Таковыми силовыми установками планируется оснащать перспективные модели самолетов как *Airbus*, так и *Boeing*, сделавших ставку на принципиально разные виды топлива: европейский авиапроизводитель серьезно изучает возможность применения водородного топлива, американский делает ставку на возобновляемые источники энергии (экологичное авиационное топливо *SAF*) [5].

Применение вентилятора большого диаметра в современных ТРДД с высокой степенью двухконтурности, как уже было отмечено, ставит перед конструкторами ряд сложных технических задач. Рассмотрим подробнее способы их решения на примере современных ТРДД *CFM LEAP-1A* и *PW 1100G* (рис. 4).

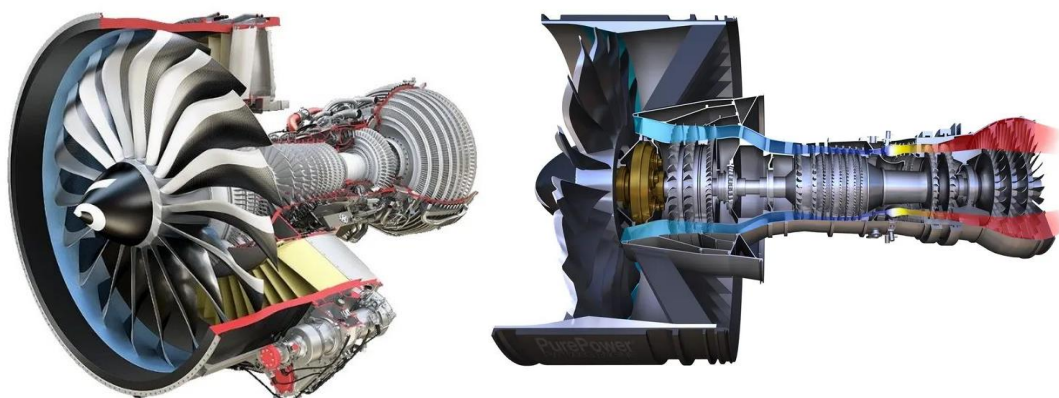


Рисунок 4. Продольный разрез ТРДД *CFM LEAP-1A* (слева) и *PW 1100G* (справа)

Прежде всего, увеличение диаметра ротора вентилятора приводит к увеличению веса двигателя из-за необходимости использования лопаток вентилятора, корпуса двигателя и мотогондолы большего размера. Кроме этого, низкая скорость вращения вентилятора требует от ТНД обеспечения высокого крутящего момента для поддержания необходимого уровня ее мощности. Подобная цель может быть достигнута путем проектирования классической многоступенчатой (обычно 7 и более ступеней) осевой турбины большого диаметра, которая и используется в конструкции двигателя *LEAP-1A* и соответственно увеличивает его массу. Это потребовало от разработчиков оптимизации веса других компонентов, в том числе широкого применения композитных материалов при изготовлении вентилятора и его воздуховода (углепластики), кожухов ТВД (керамикоматричные композиты).

Альтернативный способ привода роторов вентиляторов большого диаметра был предложен компанией *Pratt&Whitney*. В модели *PW1100G* вентилятор подсоединен к валу ТНД через планетарный редуктор. Это позволяет ротору ТНД вращаться с более высокой скоростью, чем вентилятор, однако развивая при этом меньший крутящий момент. Для его увеличения, конструкция ТНД была значительно упрощена (до трех ступеней по сравнению с семью, используемыми на *LEAP-1A*), что существенно снизило ее размеры и массу и в конечном итоге нивелировало прибавку в весе двигателя за счет применения планетарного редуктора. Однако данная компоновка имеет и ряд недостатков. Редуктор обладает большим тепловыделением за счет компактности и высоких передаваемых мощностей. Кроме этого, редуктор представляет собой дополнительный элемент, подверженный износу, что влияет на общий ресурс авиадвигателя, а наличие высокоскоростной ТНД обуславливает необходимость установки высокоскоростного КНД, поскольку оба компонента находятся на одном валу.

Наиболее экономичные на сегодняшний момент турбовентиляторные двигатели *LEAP-1A* или *PW1100G* объединяют в себе множество других конструктивных особенностей и современных материалов для компенсации увеличения их массы. К новейшим разработкам *CFM* относятся лопатки вентиляторов из углеродного композита, усиленные титановыми пластинами на передних кромках. Рабочие лопатки ТНД изготавливаются из интерметаллидного титано-алюминиевого сплава, более легкого и устойчивого к высоким температурам, а топливные форсунки – методом 3D-печати. Еще одним способом снижения массы двигателя является применение легких жаропрочных керамикоматричных композитов (*СМС*) для изготовления кожуха ТВД.

В свою очередь компания *P&W* при разработке *PW1100G* также использовала широкий спектр инноваций, направленных на снижение массы, таких как широкохордные пустотелые лопатки вентилятора из сверхлегкого алюминиевого сплава, композитные кожух и лопатки спрямляющего аппарата вентилятора. Хотя основное снижение веса все же было достигнуто за счет применения трехступенчатой высокоскоростной ТНД, приводящий в действие вентилятор через планетарный редуктор.

Необходимо отметить, что увеличение степени двухконтурности в современных турбовентиляторных двигателях вносит значительный вклад в их топливную экономичность и, соответственно, снижает их вредное воздействие на окружающую среду. Энергоэффективность авиадвигателей повышается и за счет увеличения теплового КПД внутреннего контура, который напрямую коррелирует с показателем степени повышения давления в компрессоре влияющего на полноту сгорания авиатоплива, сокращая его удельный расход. При большей степени повышения давления в компрессоре также увеличивается и степень понижения давления в турбине, которая в свою очередь позволяет

снизить температуру отработанных газов, следовательно, обеспечить меньшие теплотери и увеличить КПД газогенератора, что также сокращает удельный расход топлива. Кроме этого, для соответствия авиадвигателей перспективным требованиям в области защиты окружающей среды ведутся активные работы по внедрению экологичного авиационного топлива (*SAF*), разработке водородных, гибридных либо полностью электрических силовых установок.

С начала развития и на протяжении последних 50 лет конструкция ТРДД постоянно совершенствовалась с целью повышения их производительности и топливной эффективности, снижения эксплуатационных расходов и вредного воздействия на окружающую среду. Это подтверждаются данными, показывающими что современные наиболее совершенные ТРДД имеют удельный расход топлива на 60% меньше по сравнению с первым использующим эту архитектуру коммерческим авиадвигателем *Conway RCo. 12* ($m = 0,3$) [4].

Заключение. Можно сделать вывод, что радикальное улучшение характеристик ТРДД достигается во многом благодаря значительному увеличению параметров степени двухконтурности и степени повышения давления в компрессоре. Экспериментальные винтовентиляторные силовые установки (такие, как *GE36* и *RISE*) как уже было доказано при их испытаниях, имеют огромный потенциал для дальнейшего увеличения степени двухконтурности, а, следовательно, повышения топливной экономии и экологичности, даже по сравнению с наиболее эффективными на сегодняшний день турбовентиляторными двигателями.

Для решения конструктивных проблем, связанных с необходимостью высокого крутящего момента (и малой скорости вращения), для привода крупногабаритного вентилятора, применяются планетарные редукторы или многоступенчатые ТНД, что, как правило, приводит к увеличению общей массы авиадвигателя. Производители успешно справляются с этой проблемой благодаря применению легких композитных материалов и внедрению инновационных технологических решений, также способствующих увеличению тяги, снижению расхода топлива и уровня шума, улучшению надежности и долговечности ТРДД, что позволяет существенно снизить затраты на обслуживание и повысить безопасность полетов современных воздушных судов.

М.Е. Алексеева, Р.И. Алексеев

ЕКІ ТІЗБЕКТІ ТУРБОАГРЕГАТТАР: ТАРИХЫ, ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа. Бұл мақалада айналма турбореактивті қозғалтқыштардың эволюциясына шолу жасалады, азаматтық авиация ұшақтарына арналған заманауи авиациялық қозғалтқыштардың конструкциясы, техникалық шешімдер, оларды жобалауда қолданылатын материалдар мен технологиялар

қарастырылады. Жұмыс өте жоғары айналма коэффициенттері бар қозғалтқыштарды жасау кезінде туындайтын проблемаларды, сондай-ақ олардың энергия тиімділігін одан әрі арттыру перспективаларын көрсетеді. Авторлар ультра жоғары айналып өту коэффициенттері бар авиациялық қозғалтқыштарды, соның ішінде пропфандық қозғалтқыштарды дамыту болашақ авиациялық электр станцияларының жоғары тиімділігіне, отын үнемдеуіне және қоршаған ортаға зиянсыздығына қол жеткізудің негізгі бағыты болып табылады деген қорытындыға келеді.

Түйін сөздер: айналма турбореактивті қозғалтқыш, айналып өту коэффициенті, энергия тиімділігі, турбожелдеткіш ұшақ қозғалтқыштары, композиттік материалдар, пропфандық электр станциялары.

M.E. Alekseyeva, R.I. Alekseyev

BYPASS TURBOJET ENGINES: EVOLUTION, TRENDS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Abstract. *This article provides an overview of the evolution of bypass turbojet engines, examines the structure of modern commercial aircraft engines, the engineering solutions, materials and technologies used in their design. The study highlights the problems that arise when creating ultra-high bypass ratio engines, and also presents the prospects for their further energy efficiency increase. The authors conclude that the development of ultra-high bypass ratio aircraft engines, including propfan ones, is a key direction for achieving high efficiency, fuel economy and environmental friendliness of future aircraft propulsion systems.*

Keywords: *bypass turbojet engine, bypass ratio, power efficiency, turbofan aircraft engines, composites, propfan propulsion systems.*

Список литературы

1. Дорошко С.М., Глазков А.С. Газотурбинные двигатели гражданской авиации: Уч. пособие/ Университет ГА. – Санкт-Петербург, 2018. – 228 с.
2. General Aviation Engines Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 – 2029) [Electronic resource]. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/general-aviation-engines-market> (дата доступа: 07.04.2024).
3. Barbosa, F. Ultra High Bypass Ratio Engine Technology Review – The Efficiency Frontier for the Turbofan Propulsion. SAE Technical Paper 2021-36-0032, 2022. DOI: 10.4271/2021-36-0032
4. Kuropatwa, M. Turbofan engines efficiency, historical trends, and future prediction – A review / M. Kuropatwa, N. Wegrzyn, J. Kozuba. Safety & Defense. – 2022. – Vol. 8, № 2. DOI:10.37105/sd.186

5. Проект двигателя CFM с открытым ротором нацелен на перспективные разработки и Airbus и Boeing [Электронный ресурс]. – URL: <https://aeroo.ru/32732-proekt-cfm-dvigatelya-s-otkrytym-rotorom-nacelen-na-perspektivnye-razrabotki-i-airbus-i-boeing.html> (дата доступа: 25.01.2024).

References

1. Doroshko S.M., Glazkov A.S. Gas-turbine engines for Civil Aviation. Saint Petersburg, Universitet grazhdanskoi aviatsii, 2018, 228 p.

2. General Aviation Engines Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024 – 2029). Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/general-aviation-engines-market> (accessed 07 April 2024)

3. Barbosa F. Ultra High Bypass Ratio Engine Technology Review – The Efficiency Frontier for the Turbofan Propulsion. *SAE Technical Paper 2021-36-0032*, 2022. DOI: 10.4271/2021-36-0032

4. Kuropatwa M., Wegrzyn N., Kozuba J. Turbofan Engines Efficiency, Historical Trends, and Future Prediction – A review. *Safety & Defense*, 2022, vol. 8, no. 2. DOI:10.37105/sd.186

5. Proekt dvigatelya CFM s otkrytym rotorom natselen na perspektivnye razrabotki i Airbus i Boeing [The open-rotor CFM engine project is aimed at promising developments by both Airbus and Boeing]. Available at: <https://aeroo.ru/32732-proekt-cfm-dvigatelya-s-otkrytym-rotorom-nacelen-na-perspektivnye-razrabotki-i-airbus-i-boeing.html> (accessed 25 January 2024) (in Russian)

Алексеева Мария Евгеньевна	старший преподаватель, Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, 220096, Республика Беларусь, E-mail: mariaalex.2017@mail.ru
Алексеева Мария Евгеньевна	аға оқытушы, Беларусь мемлекеттік авиация академиясы, Минск, 220096, Беларусь Республикасы, E-mail: mariaalex.2017@mail.ru
Alekseyeva Mariya Yevgenjevna	senior lecturer, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk ,220096, Republic of Belarus, E-mail: mariaalex.2017@mail.ru

Алексеев Роман Игоревич	курсант, Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, 220096, Республика Беларусь, E-mail: alex_r84@inbox.ru
Алексеев Роман Игоревич	курсант, Беларусь мемлекеттік авиация академиясы, Минск, 220096, Беларусь Республикасы, E-mail: alex_r84@inbox.ru
Alekseyev Roman Igorevich	student, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk ,220096, Republic of Belarus, E-mail: alex_r84@inbox.ru

IRSTI 73.37.81

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_2](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_2)¹Islam Isgandarov, ²Yunus Karimov*¹National Aviation Academy, Azerbaijan, Baku²Way Technics” branch of Silk Way West Airlines, Azerbaijan, Baku*E-mail: ykarimoov@gmail.com

APPLICATION OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM TO INCREASE THE INFORMATION CONTENT OF REMOTE CONTROL OF THE OPERATION OF ON-BOARD SYSTEMS OF AIRCRAFT

Abstract: *This paper explores the application of artificial intelligence (AI) systems to augment the information content and efficacy of remote-control operations for on-board systems in aircraft. With the aviation industry rapidly advancing towards automation and digitalization, there is a growing need for intelligent solutions that optimize remote control processes. This study investigates various AI techniques such as machine learning, deep learning, and natural language processing to analyze vast amounts of data generated by on-board systems. By leveraging AI, this research aims to enhance the efficiency, reliability, and safety of remote-control operations in aircraft. Additionally, the paper discusses challenges, potential benefits, and ethical considerations associated with implementing AI in aviation. Through a comprehensive examination of AI applications, this research contributes to advancing the integration of intelligent technologies in aircraft operations, paving the way for more autonomous and adaptive air transportation systems.*

Keywords: *Artificial Intelligence (AI), Aircraft Systems, Remote Control, Automation, Machine Learning, Deep Learning, Information Content Aviation, Safety, Efficiency.*

Introduction. In today's aviation landscape, the quest for enhancing operational efficiency, safety, and reliability continues unabated. One pivotal area that has garnered significant attention is the remote control of on-board systems in aircraft. With the advent of advanced technologies, particularly artificial intelligence (AI), there exists a remarkable opportunity to revolutionize the way these systems are managed and monitored. This introduction sets the stage for exploring the application of AI in augmenting the information content of remote-control operations for aircraft on-board systems.

Traditionally, the remote control of on-board systems has relied on manual intervention and human decision-making. While effective, this approach often faces limitations concerning the complexity of data analysis, real-time decision-making, and

adaptability to dynamic operational environments. With the increasing sophistication of aircraft systems and the growing volume of data generated, there arises a pressing need for more intelligent solutions to streamline remote control operations.

Enter artificial intelligence—a domain encompassing a spectrum of techniques that enable machines to simulate human-like intelligence and reasoning. Machine learning algorithms, deep neural networks, and natural language processing are among the myriad tools within the AI arsenal that offer transformative potential for aviation applications. By harnessing the power of AI, it becomes feasible to analyze vast datasets in real-time, derive actionable insights, and facilitate autonomous decision-making in remote control scenarios (Fig.1).

This paper delves into the realm of applying AI systems to elevate the information content of remote-control operations for on-board systems in aircraft. Through a comprehensive exploration of AI techniques, challenges, and opportunities, this research aims to elucidate the potential benefits and implications of integrating intelligent technologies into aviation practices.



Figure 1.

Artificial Intelligence systems – enabled by advancement in sensor and control technologies, artificial intelligence, data science, and machine learning – promise to deliver new and exciting applications to a broad range of industries. However, a fundamental trust in their application and execution must be established in order for them to succeed. People, by and large, do not trust a new entity or system in their environment without some evidence of trustworthiness. To trust an artificial intelligence system, we need to know which factors affect system behaviors, how those factors can be assessed and effectively applied for a given mission.

Aspects of AI Applications (Fig.2):

Machine Learning Algorithms: Machine learning forms the cornerstone of AI applications in various domains, including aviation. In the context of remote-control operations for aircraft on-board systems, machine learning algorithms play a crucial role in data analysis, pattern recognition, and predictive modeling. By training models on historical data pertaining to system behavior, anomalies, and failures, machine learning enables the identification of trends and the anticipation of potential issues, thereby enhancing the effectiveness of remote-control operations.

Real-time Data Processing: One of the key advantages of AI in remote control operations is its capability to process vast amounts of data in real-time. On-board systems generate a continuous stream of data related to performance metrics, sensor readings, and environmental conditions. AI algorithms, particularly those optimized for speed and efficiency, enable rapid analysis of this data to provide timely insights for decision-making in remote control scenarios.

Anomaly Detection and Fault Diagnosis: AI-powered anomaly detection techniques play a pivotal role in enhancing the safety and reliability of remote-control operations for aircraft on-board systems. By leveraging machine learning models trained on normal system behavior, deviations from expected patterns can be identified promptly, signaling potential malfunctions or anomalies. This proactive approach to fault diagnosis enables preemptive action to be taken, mitigating risks and minimizing disruptions to operations.

Autonomous Decision-making: As AI technologies continue to advance, there is increasing exploration into the realm of autonomous decision-making in aviation. AI systems equipped with advanced decision-making algorithms can analyze complex scenarios, assess multiple variables, and execute appropriate actions without human intervention. In the context of remote-control operations for on-board systems, autonomous decision-making capabilities empower AI systems to respond dynamically to changing conditions, optimize system performance, and ensure operational integrity.

Human-AI Collaboration: While AI offers immense potential for enhancing remote control operations, the importance of human expertise and oversight cannot be overstated. Effective integration of AI into aviation practices requires a collaborative approach that leverages the complementary strengths of humans and machines. Human operators provide domain expertise, contextual understanding, and critical judgment, while AI systems augment decision-making capabilities, facilitate data analysis, and automate routine tasks. By fostering symbiotic relationships between humans and AI, organizations can harness the full potential of intelligent technologies while ensuring safety, accountability, and ethical considerations are upheld.

Continuous Learning and Adaptation: A hallmark feature of AI systems is their ability to learn and adapt over time. In the context of remote-control operations for

aircraft on-board systems, AI algorithms can continuously refine their models based on feedback from operational experiences, new data, and evolving environmental conditions. This iterative learning process enables AI systems to adapt to changing circumstances, optimize performance, and enhance the efficacy of remote-control operations through ongoing refinement and improvement.

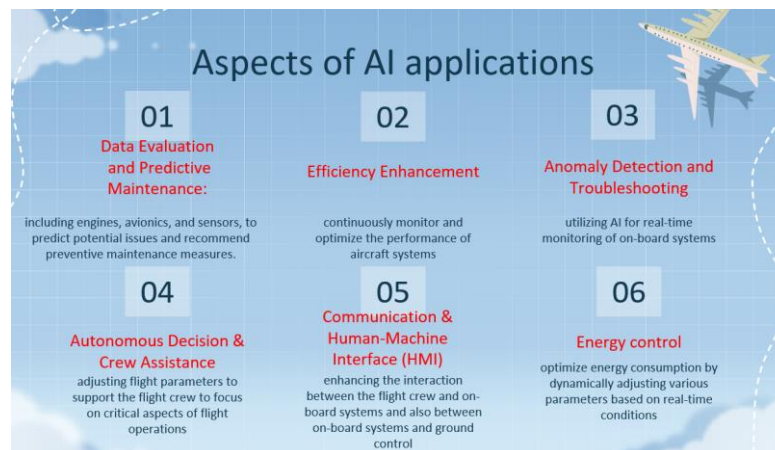


Figure 2. Aspects of AI applications and their interactions

To trust an artificial intelligence system, we need to understand several critical aspects:

Transparency: Understanding how an AI system operates is essential for building trust. Transparency involves clarity regarding the system's algorithms, data sources, decision-making processes, and potential biases. By providing insights into the inner workings of the AI system, stakeholders can assess its reliability, interpret its outputs, and identify areas for improvement.

Accuracy and Reliability: Trust in an AI system hinges on its ability to deliver accurate and reliable results consistently. Users must have confidence in the system's predictive capabilities, classification accuracy, and adherence to performance standards. Rigorous testing, validation procedures, and ongoing monitoring are imperative to ensure the reliability of AI systems in diverse operating conditions.

Explainability: Explainability refers to the ability of an AI system to elucidate its decision-making rationale in a comprehensible manner. Users need explanations that are accessible and actionable, enabling them to understand why a particular decision was made, how it aligns with objectives, and what implications it holds. Transparent explanations foster trust by demystifying the black box nature of AI and empowering users to validate and interpret the system's outputs.

Human-AI Interaction: Trust in AI systems is influenced by the quality of human-AI interaction. User interfaces, feedback mechanisms, and communication channels play crucial roles in facilitating effective interaction and fostering trust.

Human-centered design principles emphasize the importance of designing AI systems that prioritize user needs, preferences, and cognitive capabilities, thereby enhancing trust and usability.

Robustness and Resilience: Trustworthy AI systems demonstrate robustness and resilience in the face of uncertainty, adversarial attacks, and unforeseen circumstances. Robust AI architectures, fault-tolerant designs, and contingency plans bolster confidence in the system's ability to perform reliably under challenging conditions. Proactive measures to address vulnerabilities, mitigate risks, and ensure system resilience instill trust and confidence among users.

Challenges in Aircraft Operations:

Aircraft are complex machines with numerous on-board systems that require monitoring, control, and maintenance. Remote control of these systems has traditionally relied on manual input, often leading to delays in decision-making and potential inefficiencies. The need for real-time monitoring, predictive maintenance, and adaptive responses to dynamic operational conditions has fueled the exploration of AI solutions in the aviation sector.

Role of AI in Remote Control Systems:

a. Real-time Monitoring and Data Analysis:

AI systems are adept at processing vast amounts of data in real-time. In the context of aircraft operations, this capability enables continuous monitoring of critical parameters such as engine performance, fuel consumption, and system health. AI algorithms can quickly analyze data streams, identify anomalies, and provide insights to ground control personnel (Fig.3).

b. Predictive Maintenance:

By leveraging machine learning algorithms, AI systems can predict potential issues or failures in on-board systems before they occur. This proactive approach allows for timely maintenance, reducing the risk of in-flight emergencies and minimizing downtime for aircraft.

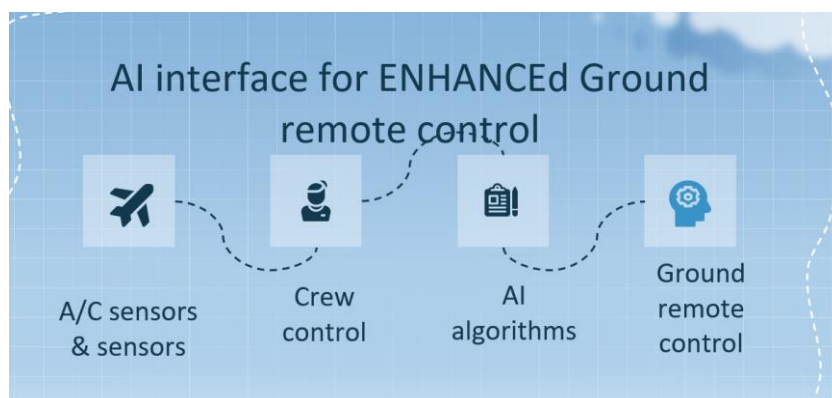


Figure 3. Consistency of remote-control using AI

c. Adaptive Decision-Making:

AI systems are capable of learning from historical data and adapting to changing conditions. In the context of remote-control systems, this adaptability translates into the ability to make informed decisions in response to unforeseen circumstances or emergencies, enhancing overall operational safety.

Developing an AI interface for enhanced ground remote control involves several key considerations to ensure usability, efficiency, and effectiveness. Here's an outline of the components and features that could be incorporated into such an interface:

By incorporating these components and features into the AI interface for enhanced ground remote control, organizations can streamline operations, optimize performance, and enhance safety in remote-controlled environments. Additionally, continuous iteration, user feedback, and usability testing are essential to refine the interface and ensure its effectiveness in real-world operational scenarios. Steps of remote control of onboard navigation systems using AI are shown at the Fig.4.

Overall, the role of AI in remote control systems is transformative, enabling automation, optimization, and adaptive control across diverse industries and applications. By harnessing the power of AI, organizations can enhance operational efficiency, reliability, and safety in remote control operations, unlocking new opportunities for innovation and growth.

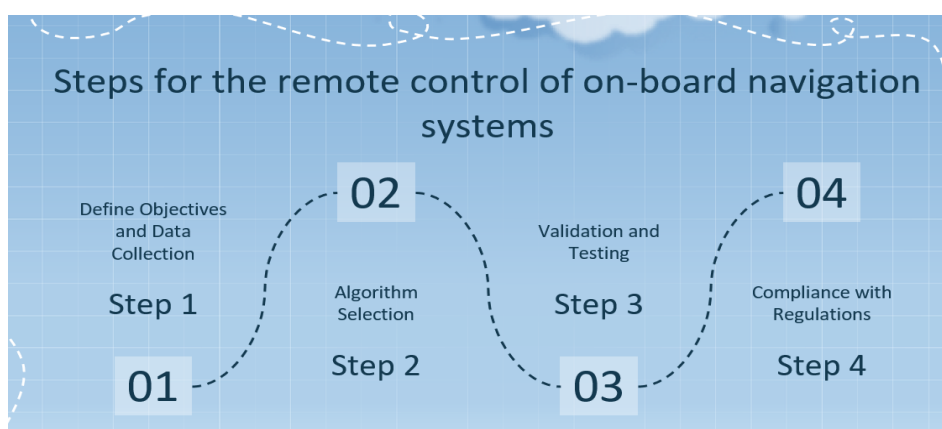


Figure 4. Steps of remote control of onboard navigation systems using AI

Data collection can be maintained with transmission via different communication mediums, including satellite and VHF, HF radio. This flexibility ensures that aircraft can maintain communication with ground stations even when flying over remote or oceanic areas (Fig.5).

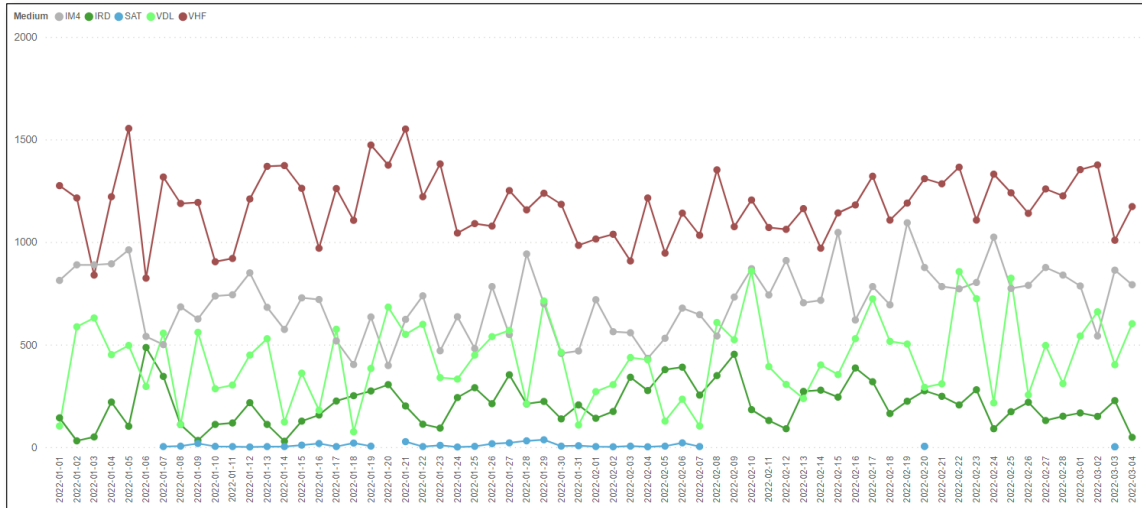


Figure 5. Monitored data that can be obtained from remote control

Integration of AI Technologies (Fig.6):

a. Machine Learning Models:

Employing machine learning models, such as neural networks, allows the AI system to recognize patterns in data, making it capable of understanding normal operation and identifying deviations or potential issues.

b. Natural Language Processing (NLP):

Integration of NLP enables more intuitive communication between ground control personnel and the AI system. This can streamline the remote-control process, allowing operators to interact with the system using natural language queries and receive relevant information promptly.

c. Computer Vision:

Computer vision technology can be applied to visually assess the state of on-board systems. Cameras and sensors can capture images and video, allowing the AI system to identify physical anomalies or defects in real-time.

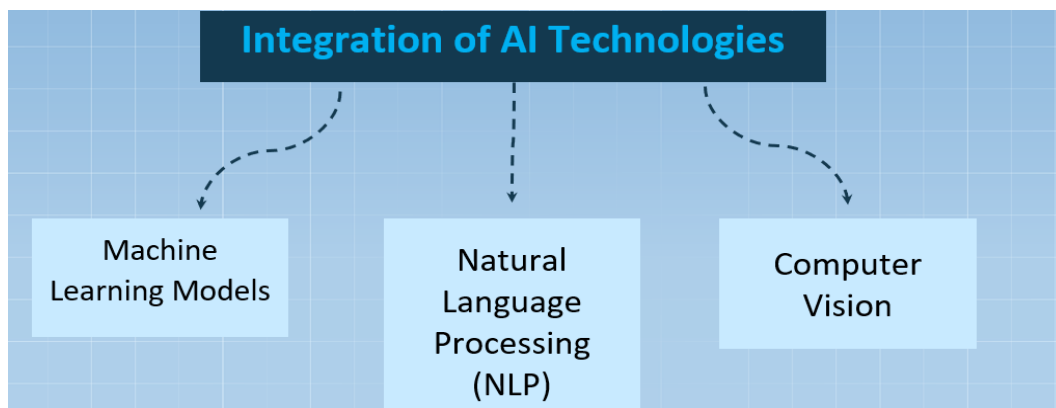


Figure 6. AI elements enabling AI integration into on-board systems

Benefits of AI in Aircraft Operations:

- a. Enhanced Safety: The incorporation of AI in remote control systems contributes to increased safety by providing timely and accurate information, reducing the risk of human error, and enabling swift responses to potential issues.
- b. Operational Efficiency: AI-driven remote control systems optimize aircraft operations by streamlining decision-making processes, minimizing downtime, and improving overall efficiency in on-board system management.
- c. Cost Savings: Predictive maintenance and proactive decision-making based on AI analysis can lead to significant cost savings by preventing costly repairs, minimizing unplanned maintenance, and extending the lifespan of aircraft components.

Conclusion: As the aviation industry continues to embrace technological advancements, the application of artificial intelligence in remote control systems stands out as a key driver for improved aircraft operations. The ability of AI to enhance information content, provide real-time insights, and facilitate adaptive decision-making positions it as a valuable tool in ensuring the safety, efficiency, and reliability of on-board systems. As research and development in this field progress, the collaboration between AI technologies and aviation is set to redefine the future of aircraft operations.

Ислам Искендеров, Юнус Каримов

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Аннотация: В этой статье исследуется применение систем искусственного интеллекта (ИИ) для повышения информативности и эффективности операций дистанционного управления бортовыми системами самолетов. В условиях быстрого продвижения авиационной отрасли в сторону автоматизации и цифровизации растет потребность в интеллектуальных решениях, оптимизирующих процессы дистанционного управления. В этом исследовании изучаются различные методы искусственного интеллекта, такие как машинное обучение, глубокое обучение и обработка естественного языка, для анализа огромных объемов данных, генерируемых бортовыми системами. За счет использования искусственного интеллекта это исследование направлено на повышение эффективности, надежности и безопасности операций дистанционного управления самолетами. Кроме того, в документе обсуждаются проблемы, потенциальные преимущества и этические

соображения, связанные с внедрением ИИ в авиации. Благодаря всестороннему изучению приложений искусственного интеллекта это исследование способствует продвижению интеграции интеллектуальных технологий в эксплуатацию самолетов, открывая путь к более автономным и адаптивным авиатранспортным системам.

Ключевые слова: *искусственный интеллект (ИИ), авиационные системы, дистанционное управление, автоматизация, машинное обучение, информационный контент авиации, безопасность, эффективность.*

Ислам Искендеров, Юнус Каримов

ӘУЕ КЕМЕЛЕРІНІҢ БОРТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ҚАШЫҚТЫҚТАН БАСҚАРУ АҚПАРАТЫН АРТТЫРУ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. *Бұл мақала ақпарат мазмұнын және әуе кемелерінің борттық жүйелері үшін қашықтан басқару операцияларының тиімділігін арттыру үшін жасанды интеллект (ЖИ) жүйелерін қолдануды зерттейді. Авиация өнеркәсібі автоматтандыру мен цифрландыруға қарай қарқынды дамып келе жатқандықтан, қашықтан басқару процестерін оңтайландыратын интеллектуалды шешімдерге деген қажеттілік артып отыр. Бұл зерттеу борттық жүйелер арқылы жасалған деректердің үлкен көлемін талдау үшін машиналық оқыту, терең оқыту және табиғи тілді өңдеу сияқты әртүрлі ЖИ әдістерін зерттейді. ЖИ қолдану арқылы бұл зерттеу ұшақтардағы қашықтан басқару операцияларының тиімділігін, сенімділігін және қауіпсіздігін арттыруға бағытталған. Сонымен қатар, мақалада авиацияда ЖИ енгізуге байланысты қиындықтар, ықтимал артықшылықтар және этикалық ойлар талқыланады. Жасанды интеллект қолданбаларын жан-жақты сараптау арқылы бұл зерттеу зияткерлік технологияларды әуе кемелерінің жұмысында интеграциялауды ілгерілетуге, автономды және бейімделген әуе көлігі жүйелеріне жол ашады.*

Түйін сөздер: *Жасанды интеллект (ЖИ), Ұшақ жүйелері, қашықтан басқару, автоматтандыру, машиналық оқыту, тереңдетіп оқыту, ақпараттық мазмұнды авиация, қауіпсіздік, тиімділік.*

References

1. Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Kudlur, M. (2016). TensorFlow: A system for large-scale machine learning. In OSDI (Vol. 16, pp. 265-283).
2. Kusiak, A. (2018). Industrial big data analytics and cyber-physical systems for smart manufacturing. In Proceedings of the IEEE (Vol. 106, No. 4, pp. 642-656).
3. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18-23.
4. McFarlane, D., & Sarma, S. (2003). RFID in the supply chain: Panacea or Pandora's box? Communications of the ACM, 47(3), 84-87.
5. Ross, D. A., Lim, J., Lin, R. S., & Yang, M. H. (2008). Incremental learning for robust visual tracking. International Journal of Computer Vision, 77(1-3), 125-141.
6. Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to sequence learning with neural networks. In Advances in neural information processing systems (pp. 3104-3112).
7. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction. MIT press.
8. Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). Probabilistic robotics. MIT press.
9. Zhang, W., Li, R., Zong, M., Zhang, X., & Ji, S. (2018). Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on the state of the art. IEEE Geosc. and Remote Sens. Journal., 6(2), 22-40.

Islam Isgandarov	PhD, professor Head of Department at National Aviation Academy, Bak, E-mail: islam.nus@mail.ru
Ислам Искендеров	Техника ғылымдарының докторы, профессор, Ұлттық авиация академиясының кафедра меңгерушісі, Әзірбайжан, Баку, E-mail: islam.nus@mail.ru
Ислам Искендеров	Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Национальной авиационной академии, Азербайджан, Баку E-mail: islam.nus@mail.ru

Yunus Karimov	Lead Engineer, Master. Head of Department at National Aviation Academy, Baku "Silk Way Technics" branch of Silk Way West Airlines, Baku E-mail: ykarimoov@gmail.com
Юнус Каримов	Магистр, Silk Way West Airlines әуекомпаниясының "Silk Way Technics" филиалының жетекші инженері, Әзірбайжан, Баку E-mail: ykarimoov@gmail.com
Юнус Каримов	Магистр, ведущий инженер филиала "Silk Way Technics" авиакомпании Silk Way West Airlines, Азербайджан, Баку E-mail: ykarimoov@gmail.com

МРНТИ 73.37.41

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_3](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_3)¹С.Ж.Карипбаев, ¹М.А. Бимагамбетов*, ¹А.К.Молдабеков,¹Ж.С. Жумадилов, ¹Ж.А. Азелханова¹Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., ҚР.

*E-mail: m.bimagambetov@agakaz.kz

ЭЛЕКТРСТАТИКАЛЫҚ АСПАДАҒЫ ТҮЙІСПЕЙТІН ГИРОСКОПТЫ ТОЛҚЫТУ МОМЕНТТЕРІНІҢ КҮШ ФУНКЦИЯСЫН ТҮРҒЫЗУ

Аңдатпа. Қатты дененің электрлік және магниттік өрістердегі қозғалысын зерттеу заманауи техниканың әртүрлі салаларында жаңа машиналар мен құрылғыларды жасау кезінде туындайтын көптеген қолданбалы мәселелермен тығыз байланысты. Ротор бетінің таза тегіс болмауы электродтардың сфералық емес болуына, негіздің шамадан тыс жүктелуі мен тербелісі кезінде және аспаның электр аралық кеңістігін толтыратын нөлдік электрод болмаған кезде пайда болатын аспадағы ротор массаларының орталығының ығысуына байланысты гироскоп дәлдіктерінде ауытқулар пайда болуы мүмкін. Нутация бұрышының өрнегі уақытқа байланысты алынады және ротордың нутациялық тербелістерінің ыдырау процесінің уақыт тұрақтысы анықталады. Ротордың асферизациясын ескере отырып, нақты гироскопқа арналған ауытқулар анықталған.

Түйін сөздер: электрстатикалық гироскоп, электрод, ротордың асферизациясы, инерциялық күштер.

Кіріспе. Өткізгіш қатты дене электрмагниттік өрісте қозғалған кезде денеде электр тоғы пайда болады. Электр тоқтарының пайда болуы, бір жағынан, магнит өрісімен әрекеттесе отырып, дененің қозғалысын өзгертетін күштердің пайда болуына әкеледі. Екінші жағынан, электр тоғының пайда болуы электрмагниттік өрістің өзгеруіне әкеледі. Осы мәселелердің барлығын теориялық тұрғыдан қарастырғанда механикалық және электрдинамикалық эффектілерді де ескеру қажет. Классикалық пәндердің – теориялық механика мен электродинамиканың тоғысқан жерінде орналасқан бұл мәселе жалпы тұжырымда аналитикалық зерттеулер үшін өте күрделі.

Ауыр қатты дененің қозғалмайтын нүкте айналасындағы қозғалысын сипаттайтын қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін (Эйлер-Пуассон теңдеулері) математикалық зерттеудің қиындықтары жақсы белгілі.

Қатты дененің магниттік және электр өрістеріндегі қозғалысы туралы есептегі бұл қиындықтар электромагниттік өрісті анықтайтын және дененің қозғалысына тәуелді есептерді шешу қажеттілігімен күрделене түседі.

Қандай да бір күш өрісінде вакуумда ілінген қатты денені қарастырайық.

Шар тәрізді ротор вакуум ішінде, реттелуге болатын электр өрісінде ілінеді. Осындай аспадағы қолдаушы күштерді массалар центрі геометриялық центрге сәйкес келетін ротор бетіне нормаль бойымен бағытталған, ал қолдаушы күштердің массалар центріне қатысты моменті нөлге тең деуге болады. Мұндай жағдай гироскоптың айналу өсінің кеңістікте тұрақты бағытын ұзақ уақыттар бойы сақтауына мүмкіндік береді. Іс жүзінде әрқашан ротордың беттік жазықтығы сфера түрінен алшақтау болады, сондықтан нақты аспапта оның дәлдігіне әсер ететін толқыту моменті пайда болады.

Шындығында, ротордың бет қабатын мүлтіксіз сфера түрінде болады деп айтуға болмайды. Осының әсерінен аспапта ауытқыту моменті пайда болады.

Негізгі бөлім. Роторға әсер ететін күштердің басты векторы мен басты күштер моментін есептеу үшін төменде көрсетілген формулалар қолданылады [1,2]

$$F = \iint_{S_1}^U f n ds \quad (1)$$

$$M = \iint_{S_1}^U f [rxn] ds, \quad (2)$$

мұндағы $f = \frac{1}{8\pi} \left(\frac{\partial U}{\partial n} \cdot \dot{s}_1 \right)^2 - ds$ беттік элементке әсер ететін тірек күштерінің тығыздығы; n – ротордың S_1 бетіне түсірілген сыртқы нормальдың бірлік векторы; r – массалар центрінен ротор S_1 бетінің нүктесіне жүргізілген радиус векторы; U – электрстатикалық аспадағы өріс потенциалының функциясы.

Мақалада электрстатикалық гироскоптың аспасындағы өріс есептелген.

Аспа электродтары мен ротордың арасында аздаған ғана саңылаулар болғандағы тірек күштерінің тығыздығы үшін өрнек алынды.

$$f = \frac{(u_j - u_b)^2}{8\pi d^2 R^2}, \quad d = \frac{R_1 - R}{R}, \quad (3)$$

мұндағы

u_j - j -ші электродтың потенциалы; u_b - ротордың потенциалы;

R_1 – электродтар орналасқан сфераның радиусы;

d – ротор мен электродтар арасындағы салыстырмалы саңылау [2].

Ротордың потенциалы келесі өрнекпен анықталады [3]

$$u_b = V[q + 3(1 - \cos \psi)], \quad (4) \text{ мұндағы } q - \text{ ротордың заряды.}$$

Полярлық осі ξ_3 бар сфералық жүйе ϑ_1, φ_1 үшін ξ_1, ξ_2, ξ_3 үшбұрышының осіне түскен бас моменттің проекциялары келесі түрде болады:

$$M_1 = fR^2 \iint_{S_1}^u \left(\frac{\partial r}{\partial \vartheta_1} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \frac{\partial r}{\partial \varphi_1} \cos \vartheta_1 \cos \varphi_1 \right) d\vartheta_1 d\varphi_1;$$

$$M_2 = fR^2 \iint_{S_1} \left(-\frac{\partial r}{\partial \vartheta_1} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \frac{\partial r}{\partial \varphi_1} \cos \vartheta_1 \sin \varphi_1 \right) d\vartheta_1 d\varphi_1;$$

$$M_3 = fR^2 \iint_{S_1} \left(-\frac{\partial r}{\partial \vartheta_1} \sin \vartheta_1 \right) d\vartheta_1 d\varphi_1. \quad (5)$$

Нақты болу үшін ротордың алты электродты аспасын қарастырамыз.

Электродтарды ξ_i осінің оң бағыты (2i-1)-ші электродқа, ал теріс бағыты (2i)-ші электродқа сәйкес келетіндей етіп нөмірлейік.

Сәйкес S электрод беттерінің теңдеулері келесідей болады [3]:

$$S_{2i} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \varphi_i \leq 2\pi \\ \pi - \psi_0 \leq \vartheta_i \leq \pi \end{array} \right\}, \quad S_{2i-1} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \varphi_i \leq 2\pi \\ 0 \leq \vartheta_i \leq \psi_0 \end{array} \right\}. \quad (6)$$

Бірінші теңдеу $r = 1$ деп алсақ, ротормен қатаң қосылған үшбұрыштың сфералық координатасындағы ротордың деформациясының теңдеуін аламыз.

$$u_r(\alpha, \beta) = -\frac{\rho R^3 (2+\mu)}{2G(7+5\mu)} \left[\left(b^2 - \frac{a^2}{2} \right) \left(\cos^2 \alpha - \frac{1}{3} \right) + ab \sin 2\alpha \cos(\beta - vt) + \frac{a^2}{2} \sin^2 \alpha \cos(2vt - 2\beta) \right]. \quad (7)$$

Роторды асферизациялау үшін оны динамикалық симметрия осінің O_{x_3} бойымен айналдырамыз. Бұл жағдайда нутация бұрышы $\vartheta=0$, яғни бұрыштық жылдамдық векторының x_1 осіне проекциясы $a=0$, ал x_3 осіне $\omega=L/I_3$. Бұрыштық жылдамдықтың бұл проекциясын (7-ге) қойып, O_{x_3} өсінде айналу кезіндегі ротордың деформациясының теңдеулерін аламыз.

$$u_r(\alpha, \beta) = -\frac{\rho R^3 (2+\mu)}{2G(7+5\mu)} \left[\left(\frac{L}{I_3} \right)^2 \left(\cos^2 \alpha - \frac{1}{3} \right) \right].$$

Сосын (7) –ші теңдеуден соңғы алынған өрнекті азайтсақ Эйлер-Пуансо қозғалысына жақын қозғалыстағы деформацияланған ротор бетінің теңдеуін оның деформациясын ескере отырып жаза аламыз.

$$r_1 = R + \left\{ -\frac{\rho R^3 (2+\mu)}{2G(7+5\mu)} L^2 \left[-\sin^2 \vartheta \left(\frac{1}{I_3^2} + \frac{1}{2I_1^2} \right) * \left(\cos^2 \alpha - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2I_1 I_3} \sin 2\vartheta \sin 2\alpha \cos(\beta - vt) + \frac{1}{2I_1^2} \sin^2 \vartheta \sin^2 \alpha \cos(2vt - 2\beta) \right] \right\}. \quad (8)$$

(8) теңдеуді сфералық координаталары α, β және ϑ_1, φ_1 , полярлық осі ξ_3 болатындай етіп жазып, түрлендіреміз.

$$\begin{vmatrix} \sin\alpha & \cos\beta \\ \sin\alpha & \sin\beta \\ \cos\alpha & \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} \sin\vartheta_1 & \cos\varphi_1 \\ \sin\vartheta_1 & \sin\varphi_1 \\ \cos\vartheta_1 & \end{vmatrix} .$$

(9)

Кинетикалық моменттің векторы $\xi_1 \xi_3$ жазықтығында жатыр деп алайық, яғни $\zeta = 0$, сонда (1.3)-ті ескерсек келесі өрнекті аламыз

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \gamma_3 \cos \frac{L}{I_1} t \sin vt - \gamma_3 \cos\vartheta \sin \frac{L}{I_1} t \cos vt + \gamma_1 \sin \vartheta \cos vt ; \\ \beta_{12} &= \sin \frac{L}{I_1} t \sin vt + \cos\vartheta \cos \frac{L}{I_1} t \cos vt; \\ \beta_{13} &= -\gamma_1 \cos \frac{L}{I_1} t \sin vt + \gamma_1 \cos\vartheta \sin \frac{L}{I_1} t \cos vt + \gamma_3 \sin \vartheta \cos vt ; \\ \beta_{21} &= -\gamma_3 \cos \frac{L}{I_1} t \cos vt - \gamma_3 \cos\vartheta \sin \frac{L}{I_1} t \sin vt + \gamma_1 \sin \vartheta \sin vt; \\ \beta_{22} &= -\sin \frac{L}{I_1} t \cos vt + \cos\vartheta \cos \frac{L}{I_1} t \sin vt ; \\ \beta_{23} &= \gamma_1 \cos \frac{L}{I_1} t \cos vt + \gamma_1 \cos\vartheta \sin \frac{L}{I_1} t \sin vt + \gamma_3 \sin \vartheta \sin vt ; \\ \beta_{31} &= \gamma_3 \sin \vartheta \sin \frac{L}{I_1} t + \gamma_1 \cos \vartheta ; \\ \beta_{32} &= -\sin \vartheta \cos \frac{L}{I_1} t ; \\ \beta_{33} &= -\gamma_1 \sin \vartheta \sin \frac{L}{I_1} t + \gamma_3 \cos \vartheta . \end{aligned} \tag{10}$$

(9)-өрнекті ескере отырып, ϑ_1, φ_1 сфералық координаталарындағы ротор корпусымен қатаң байланысқан $\xi_1 \xi_2 \xi_3$ үшбұрышында деформацияланған ротор бетінің теңдеуін аламыз [4].

$$\begin{aligned} &\left\{ \frac{1}{3} \sin^2 \vartheta \left(\frac{1}{I_3^2} + \frac{1}{2I_1^2} \right) - \sin^2 \vartheta \left(\frac{1}{I_3^2} + \frac{1}{2I_1^2} \right) [\beta_{31} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \right. \\ &+ \beta_{32} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \beta_{33} \cos \vartheta_3]^2 + \frac{1}{I_1 I_3} \sin 2\vartheta (\beta_{31} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \\ &+ \beta_{32} \sin \vartheta_3 \sin \varphi_3 + \beta_{33} \cos \vartheta_3) * \left\{ \cos vt (\beta_{11} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{12} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \right. \\ &+ \beta_{13} \cos \vartheta_1) + \frac{1}{2I_1^2} \sin^2 \vartheta \cos 2vt \{ [\beta_{11} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{12} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \\ &+ \beta_{13} \cos \vartheta_3]^2 + \sin vt (\beta_{21} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{22} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \beta_{23} \cos \vartheta_1) \} + \\ &+ [\beta_{21} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{22} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \beta_{23} \cos \vartheta_3]^2 \} + \\ &+ \frac{1}{I_3^2} \sin^2 \vartheta \sin 2vt \{ (\beta_{11} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{12} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \beta_{13} \cos \vartheta_1) * \\ &(\beta_{21} \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1 + \beta_{22} \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1 + \beta_{23} \cos \vartheta_1) \} \}. \end{aligned} \tag{11}$$

11) теңдеуді (5) формулаларға қойып электрод беттері бойынша интегралдау жүргіземіз, содан кейін алынған өрнектерді нақты шығару

уақытында орталап, (10) өрнектерді ескере отырып, бесінші және алтыншы электродтар тарабынан әсер ететін тірек күштері моментінің проекциясы үшін келесі өрнектерге ие боламыз [5], сәйкесінше

$$\begin{aligned} M_1^{(5)} = M_3^{(5)} = 0, \quad M_2^{(5)} = f_5 M_0 \gamma_1 \gamma_3 ; \\ M_1^{(0)} = M_3^{(0)} = 0, \quad M_2^{(0)} = f_0 M_0 \gamma_1 \gamma_3 , \end{aligned} \quad (12)$$

мұндағы

$$M_0 = \frac{\rho R^3 (2+\mu) \pi L^2}{2G(7+5\mu)I_3^2} \sin^2 \vartheta \left[-(3 \cos^2 \vartheta - 1) + \frac{I_3^2}{I_1^2} (3 \sin^2 \vartheta - 1) + 6 \frac{I_3}{I_1} \cos^2 \vartheta \right] \cos \psi \sin^2 \psi.$$

Қарастырылып отырған сфералық координаталар жүйесінде (6)-ны басқа электродтардың беттерімен интегралдау қиын. Бірақ аспа электродтарының осы конфигурациясының симметриясын ескере отырып, қажетті нәтижені полярлық осьтері ξ_2 және ξ_3 бар басқа сфералық координаттарды пайдалану арқылы және сәйкесінше S_3 және S_4 және S_1 және S_2 -ден интегралдау кезінде алуға болады.

Көрсетілген түрлендірулерді орындап, келесі өрнектерді аламыз

$$\begin{aligned} M_1^{(3)} = M_2^{(3)} = M_3^{(3)} = 0, \\ M_1^{(4)} = M_2^{(4)} = M_3^{(4)} = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} M_1^{(1)} = M_3^{(1)} = 0, \quad M_2^{(1)} = -f_1 M_0 \gamma_1 \gamma_3, \\ M_1^{(2)} = M_3^{(2)} = 0, \quad M_2^{(2)} = -f_2 M_0 \gamma_1 \gamma_3. \end{aligned}$$

(12) және (13) қолданып, барлық электродтардан роторға әсер ететін қосынды моменттің проекциялары үшін өрнектерді табамыз.

$$M_1 = M_3 = 0, \quad M_2 = (f_5 + f_0 - f_1 - f_2) M_0 \gamma_1 \gamma_3. \quad (14)$$

Жалпы жағдайда кинетикалық момент ξ_1, ξ_2, ξ_3 координаталар жүйесіне қатысты ерікті түрде орналасса, кинетикалық момент векторы ξ_1 ξ_3 жазықтығында жатқан жағдайға ұқсас пайымдауларды орындай отырып, барлық аспа электродтарынан әсер ететін тірек күштер моментінің проекциялары үшін келесі өрнектерді алуға болады [6]

$$\begin{aligned} M_1 = (f_3 + f_4 - f_5 - f_0) M_0 \gamma_2 \gamma_3, \\ M_2 = (f_5 + f_0 - f_1 - f_2) M_0 \gamma_3 \gamma_1, \\ M_3 = (f_1 + f_2 - f_3 - f_4) M_0 \gamma_1 \gamma_2. \end{aligned} \quad (15)$$

Қарастыруға келесі функцияны аламыз

$$W = W(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$$

(16)

(16) функциясының $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ бұрыштары бойынша туындылары қозғалмайтын ξ_1 ξ_2 ξ_3 үшбұрышының осіндегі ротор бетіне нормаль бойымен әсер ететін күштер моменттерінің проекцияларын береді [1].

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \gamma_2 \frac{\partial W}{\partial \gamma_3} - \gamma_3 \frac{\partial W}{\partial \gamma_2}, \\
 M_2 &= \gamma_3 \frac{\partial W}{\partial \gamma_1} - \gamma_1 \frac{\partial W}{\partial \gamma_3}, \\
 M_3 &= \gamma_1 \frac{\partial W}{\partial \gamma_2} - \gamma_2 \frac{\partial W}{\partial \gamma_1}.
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

(15), (16) және (17) ден қарастырылып отырған жағдайда күштер моменттерінің күш функциясы ротордың кинетикалық моментінің бағыттық косинустарының квадраттық формасы болады.

$$W = \frac{M_0}{2} [(f_1 + f_2)\gamma_1^2 + (f_3 + f_4)\gamma_2^2 + (f_5 + f_6)\gamma_3^2] \tag{18}$$

Қатты дене контактысыз аспада қозғалыссыз болған жағдайда тірек күштерінің негізгі векторы F денеге түсірілген массалық күштердің негізгі векторымен теңеседі (массалық күштерге тартылыс күші, ауыспалы қозғалыстың инерция күші және т.б.жатады).

Сонымен, күш функциясы (18) массасы дененің массасына тең, ал массалар центрі контактысыз аспа центрінен $R_1 \varepsilon_1$ шамасына ығысқан маятниктің күш функциясын көрсетеді.

Бұл жағдайда күш функциясымен анықталатын толқулар сызықты болады. ξ_1, ξ_2, ξ_3 өстері жазықтықта өзгеріссіз бағытталған дененің симметрия өсінің бағыттаушы косинустарына сызықты тәуелді болатын күш функциясын тұрғызу мүмкін болса ондай толқулар сызықты деп аталады.

Тірек күштердің (3) тығыздығының формулаларын ескере отырып, күш функциясын [1] түрінде қайта жазамыз.

$$W = -\frac{M_0}{16\pi d^2 R^2} \sum_{j=1}^3 [u_{2j-1}^2 + u_{2j}^2 - 2u_b(u_{2j-1} + u_j)] \gamma_0^2. \tag{19}$$

Моменттерге әрі қарай талдау жасау үшін u_j потенциалдары үшін нақты өрнектерді көрсету қажет.

Аспаны реттеу жүйесінің әртүрлі арналарына жауапты электродтар қиылыспауы керек, сондықтан (12) дегі $\mu_0 = \cos \psi_0$ мәні $1/\sqrt{2} < \mu_0 < 1$ ($0 < \psi < \frac{\pi}{4}$) теңсіздігін қанағаттандыра алады.

Демек, бесінші гармоникадан бастап электродтың өлшемін анықтайтын осындай ψ_0 бұрышын таңдап алуға болады, яғни

$$P_{k-1}(\cos \psi_0) - P_{k+1}(\cos \psi_0) = 0. \tag{20}$$

Көрсетілген ψ_0 таңдалғанда дене пішініндегі k -й гармоникасынан болуынан туындаған момент нөлге тең болады. Атап айтқанда, $k = 5$ үшін (20) теңдеудің түбірі $\psi \approx 40^\circ$, $k = 6$ үшін $\psi \approx 34^\circ$, $k = 7$ үшін $\psi \approx 29^\circ$ және т.б.

Тұрақты ток көзіндегі реттеу жүйесін қарастырайық. Бұл жағдайда электродтар потенциалдары u_j төмендегі теңсіздікті қанағаттандырады

$$0 \leq u_j \leq 2V_0, \text{ мұндағы } V_0 - \text{ электродтардағы берілетін ток кернеуі.}$$

Егер реттеу жүйесінің динамикасын ескермесе, электродтардың потенциалдарын басқару заңын төмендегідей көрсетуге болады

$$u_{2j-1} = V_0 - V_j, \quad u_{2j} = V_0 + V_j, \quad |V_j| \leq V_0. \quad (21)$$

Көрсетілген өрнектердегі $V_j = \text{const}$ – ротордың масса орталығының аспа білігінде орналасуының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін электродтарға реттеу жүйесімен берілетін қосымша кернеу

$$V_j = - \frac{\pi h^2 F_j}{\left(\sqrt{2} \arctg \frac{1}{\sqrt{2}}\right) V},$$

$$F_j = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}h^2} \left(\arctg \frac{1}{\sqrt{2}}\right) (u_{2j-1}^2 - u_{2j}^2).$$

Электродтар потенциалдары түзу сызықтық заң бойынша реттелсе, онда (19)-дағы $u_{2j-1}^2 + u_{2j}^2 - 2u_b(u_{2j-1} + u_{2j})$ өрнегін денеге түскен қолдаушы басты вектордың ξ_2 өсіне түскен проекциясы арқылы көрсетуге болады

$$u_{2j-1}^2 + u_{2j}^2 - 2u_b(u_{2j-1} + u_{2j}) = 2V(V - 2u_b) + \frac{8d^4 F_j^2}{(V+u_b)^2(1-\cos^2\psi)^2} \quad (22)$$

ξ_1, ξ_2 и ξ_3 өсіндегі қолдаушы F күштерінің тең әсерлі күшінің проекцияларын $F_1 = F \sin \vartheta_1 \cos \varphi_1, F_2 = F \sin \vartheta_1 \sin \varphi_1, F_3 = F \cos \vartheta_1$ түріне келтіреміз. Мұндағы поляр өсі ξ_3 болатын сфералық координаттар жүйесінің екі бұрышы ϑ_1 и φ_1 массалық күштердің басты векторының орналасуын анықтайды.

Электродтар потенциалдары ерікті бола алмайды: қозғалмайтын іргетастағы электрстатикалық гироскоптың тұрақтанған жұмыс режимінде қолдаушы F күштерінің басты векторы ротордың ауырлық күшімен P теңеледі. (22), (4) және тірек күштер векторының (17) проекциясын ескере отырып (20)-ға қойсақ, онда электрстатикалық өрістен зарядталмаған роторға әсер ететін күштер моменттерінің квадраттық модулін алуға болады.

$$(M^*)^2 \{ \sin^2 2\lambda [\sin^2 \zeta f_1^2(\vartheta_1 \varphi_1) + \cos^2 \zeta f_2^2(\vartheta_1 \varphi_1)] + \sin^4 \lambda \sin^2 2\xi f_3^2(\vartheta_1 \varphi_1) \},$$

мұндағы $f_1(\vartheta_1 \varphi_1) = \cos^2 \vartheta_1 - \sin^2 \varphi_1 \sin^2 \vartheta_1, \quad f_3(\vartheta_1 \varphi_1) = \sin^2 \vartheta_1 \cos 2\varphi_1,$

$$f_2(\vartheta_1 \varphi_1) = \cos^2 \vartheta_1 - \cos^2 \varphi_1 \sin^2 \vartheta_1,$$

$$M^* = - \frac{M_0}{2\pi R^2} \left[\frac{d mg}{V(4 + 3\cos\psi)(1 - \cos^2\psi)} \right]^2.$$

Қоздырғыш моментінің кинетикалық момент векторының бағытына тәуелділігін зерттейік.

$\lambda=0$ болған жағдайда, яғни кинетикалық моменттің векторы ξ_3 осі бойымен бағытталған кезде момент нөлге тең болатынын көруге болады.

Ауырлық күші электродтардың симметрия осьтерінің біріне коллинеар болған жағдайда момент өзінің ең үлкен мәніне жетеді, яғни (18)дегі $F_1=mg$ болғанда.

Есептеуге мысал. Электрстатикалық гироскопты қарастырамыз.

Электродтарға берілетін кернеу $V_0 = 450$ В, ротор мен электродтар арасындағы салыстырмала саңылау $d=6 \cdot 10^{-3}$.

Кинетикалық моменттің векторы $\xi_1 \xi_3$ жазықтығында жатқан болсын. Электродтардың геометриялық өлшемдерін анықтайтын бұрыш $\psi_0 = \arccos(5/6)$. (7)-өрнек бойынша алатынымыз

$$M_{max} = 3.2 \cdot 10^{-4} \text{ г см}^2/\text{с}^2.$$

Бұл шама $\vartheta = \pi/2$ болғанда және кинетикалық моменттің векторы ξ_3 өсімен бұрыш $\pi/4$ или $3\pi/4$, т.е. $\gamma_1, \gamma_3 = 0.5$ құрағанда қол жетімді болады. M_{max}/L өрнегімен электрстатикалық гироскоптың мүмкін болар ауытқуының шамасын анықтаймыз. Қазіргі қолданыстағы прецизионды гироскоп үшін $10^{-3} - 10^{-5}$ град/сағ. ауытқу қомақты болып саналады.

Ротордың “қос айналуын” ескере отырып асферизация жүргізелік. Ол үшін $\tilde{u}_r(\alpha, \beta)$ функциясын ендіреміз.

$$\tilde{u}_r(\alpha, \beta) = -\frac{\rho R^3 (2 + \mu)}{2G(7 + 5\mu)} q^* \left(\frac{L}{I_3}\right)^2 \cos^2 \alpha, \quad (23)$$

мұндағы q^* -әзірше белісіз коэффициент.

(23) өрнекті (7) –ден алып тастасақ, ротордың асферизациялануы ескерілген Эйлер-Пуансо қозғалысына жақын, деформацияланған қозғалыстағы ротордың беткі жазықтығын аламыз.

$$r = R + \left\{ -\frac{\rho R^3 (2 + \mu)}{2G(7 + 5\mu)} L^2 \left[\left(\left(b^2 - q^* \frac{L^2}{I_3^2} \right) - \frac{a^2}{2} \right) \cos^2 \alpha + ab \sin 2\alpha \cos(\beta - vt) + \frac{a^2}{2} \sin^2 \alpha \cos(2vt - 2\beta) \right] \right\}$$

Әрі қарай жоғарыда көрсетілген ұқсас есептеулерге сүйене отырып, M_0 үшін келесі өрнекті аламыз [3]

$$M_0 = \frac{\rho R^5 (2 + \mu) \pi L^2}{2G(7 + 5\mu) I_3^2} \left[(3 \cos^2 \vartheta - 1)(\cos^2 \vartheta - q^*) + \frac{I_3^2}{I_1^2} (\sin^2 \vartheta - 1) \sin^2 \vartheta + 6 \frac{I_3}{I_1} \cos^2 \vartheta \sin^2 \vartheta \right] \cos \psi \sin^2 \psi \quad (24)$$

(17) және (18) өрнектерден M_0 нөлге тең болғанда роторға әсер ететін электрстатикалық өрістің толқыту моменті де нөлге теңелетіні көрінеді

$$q^* = \frac{I_3^2 \sin^2 \vartheta (3 \sin^2 \vartheta - 1)}{I_1^2 (3 \cos^2 \vartheta - 1)} + 6 \frac{I_3 \sin^2 \vartheta \cos^2 \vartheta}{I_1 (3 \cos^2 \vartheta - 1)} * \cos^2 \vartheta. \quad (25)$$

Қорытынды. 1. (25) – өрнектен көрінгендей $\vartheta = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ болғанда айнымалы коэффициент q^* -дің өзіндік ерекшелігі болады, яғни электрстатикалық гироскопта орын алатын ротордың сәйкесінші қозғалу режимінде инерциялық күштер әсерінен пайда болатын толқыту моменттерінен асферизациялау жолымен арылу мүмкін емес.

2. Электродтар потенциалдары ерікті бола алмайды: қозғалмайтын іргетастағы электрстатикалық гироскоптың тұрақтанған жұмыс режимінде қолдаушы F күштерінің басты векторы ротордың ауырлық күшімен P теңеледі.

(22), (4) және тірек күштер векторының (17) проекциясын ескере отырып (20)-ға қойсақ, онда электрстатикалық өрістен зарядталмаған роторға әсер ететін күштер моменттерінің квадраттық модулін алуға болады.

3. Ауырлық күші электродтардың симметрия өстерінің біріне коллинеар болған жағдайда момент өзінің ең үлкен мәніне жетеді.

С.Ж.Карипбаев, М.А. Бимагамбетов, А.К.Молдабеков,
Ж.С.Жумадилов, Ж.А.Азелханова

ПОСТРОЕНИЕ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ МОМЕНТОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОНТАКТНОГО ГИРОСКОПА В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКЕ

Аннотация. Изучение движения твердого тела в электрическом и магнитном полях тесно связано со многими прикладными проблемами, возникающими при разработке новых машин и устройств в различных областях современной техники. Отсутствие чистой гладкости поверхности ротора может привести к колебаниям точности гироскопа из-за несферичности электродов, смещению центра масс Ротора в подвеске, которое происходит при перегрузке и колебаниях основания, а также при отсутствии нулевого электрода, заполняющего межэлектродное пространство подвески. Выражение угла нутации берется в зависимости от времени и определяется постоянной времени процесса распада нутационных колебаний Ротора. С учетом асферизации Ротора выявлены отклонения для конкретного гироскопа.

Ключевые слова: электростатический гироскоп, электрод, асферизация Ротора, инерционные силы.

S.J.Karipbayev, M.A. Bimagambetov, A.K.Moldabekov,
J.S.Zhumadilov, J.A.Azelkhanova

CONSTRUCTION OF THE FORCE FUNCTION OF THE EXCITATION MOMENTS OF A CONTACT GYROSCOPE IN AN ELECTROSTATIC SUSPENSION

Abstract. *The study of the motion of a solid body in electric and magnetic fields is closely related to many applied problems that arise in the development of new machines and devices in various fields of modern technology. The lack of clean smoothness of the rotor surface can lead to fluctuations in the accuracy of the gyroscope due to the non-spherical electrodes, displacement of the center of mass of the Rotor in the suspension, which occurs during overload and vibrations of the base, as well as in the absence of a zero-electrode filling the interelectrode space of the suspension. The expression of the nutation angle is taken as a function of time and the time constant of the decay process of the nutation oscillations of the Rotor is determined. Taking into account the aspherization of the Rotor, deviations for a specific gyroscope were revealed.*

Keywords: *electrostatic gyroscope, electrode, rotor aspherization, inertial forces.*

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Карипбаев С.Ж., Луценко Н.С. Оценки влияния неоднородности материала ротора на его моменты инерции и деформацию - IV International Scientific and RracticalCinference "INTERNATIONAL SCIENTIFIC DISCUSSION: PROBLEMS, TASKS AND PROSPECTS" Scientific Publishing Center «InterConf» Brighton, Great Britain, 2022, стр 553 – 543.
2. Тулегулов А.Д., Ергалиев Д.С., Алдамжаров К.Б., Бажаев Н.А. Количественные оценки переходного процесса ротора бесконтактного гироскопа - Известия НАН РК, серия геологии и технических наук, Алматы, 2021, № 6 с. 147-154.
3. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1988. – 368 с.
4. Карипбаев С.Ж., Ландау Б.Е., Мартыненко Ю.Г., Подалков В.В. Зависимость угловой скорости электростатического гироскопа от температуры окружающей среды // Изв. РАН. МТТ. -1993. - №3. – С. 42-49.
5. Алдамжаров К.Б., Карипбаев С.Ж. Деформация точек ротора гироскопа с неконтактным подвесом, вызванных неравномерностью его нагрева // Механика и строительство транспортных сооружений. Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК, д.т.н., профессора Айталиева Ш.М., Алматы. 2010. - С. 335-337.

References

1. Karipbaev S.J., Lýtsenko N.S. Otsenkı vlianiia neodnorodnosti materiala rotora na ego momenty inertsii i deformatsiiy - IV International Scientific and RracticalCinference "INTERNATIONAL SCIENTIFIC DISCUSSION: PROBLEMS, TASKS AND PROSPECTS" Scientific Publishing Center «InterConf» Brighton, Great Britain, 2022, str 553 – 543.
2. Týlegýlov A.D., Ergaliev D.S., Aldamjarov K.B., Bajaev N.A. Kolichestvennye otsenkı perehodnogo protsessa rotora beskontaktnogo giroskopa - Izvestiia NAN RK, seriia geologii i tehniceskıh naýk, Almaty, 2021, № 6 s. 147-154.
3. Martynenko Iý.G. Dvijenie tverdogo tela v elektricheskıh i magnitnyh poliah. – M.: Naýka, 1988. – 368 s.
4. Karipbaev S.J., Landaý B.E., Martynenko Iý.G., Podalkov V.V. Zavisimost ýglovoi skorosti elektrostaticeskogo giroskopa ot temperatury okryjaiyei sredy // Izv. RAN. MTT. -1993. - №3. – S. 42-49.
5. Aldamjarov K.B., Karipbaev S.J. Deformatsiia toчек rotora giroskopa s nekontaktnym podvesom, vyzvannyh neravnomernostiý ego nagreva // Mehanika i stroitelstvo transportnyh soorýjenni. Trýdy Mejdýnarodnoi naýchno-prakticheskoi konferentsii, posviaennoi 75-letiiý zaslýjennogo deiatelia naýki i tehnikı Kazahstana, akademika NAN RK, d.t.n., professora Aıtalieva Sh.M., Almaty. 2010. - S. 335-337.

S.Zh. Karipbayev	Candidate of Technical Sciences, Doctor of PhD, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.karipbayev@agakaz.kz
С.Ж. Карипбаев	Техника ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, Авиациялық техника және технологиялар кафедрасының қауымдасқан профессоры; Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: s.karipbayev@agakaz.kz
С.Ж. Карипбаев	Кандидат технических наук, доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail:s.karipbaev@agakaz.kz
М.А. Bimagambetov	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: m.bimagambetov@agakaz.kz
М.А. Бимагамбетов	Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, авиациялық техника және технологиялар кафедрасының қауымдасқан профессоры; Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: m.bimagambetov@agakaz.kz
М.А. Бимагамбетов	Кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: m.bimagambetov@agakaz.kz

A.K. Moldabekov	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Aviation Engineering and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.moldabekov@agakaz.kz
А.Қ. Молдабеков	Химия ғылымдарының кандидаты, авиациялық техника және технологиялар кафедрасының қауымдасқан профессоры; Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: a.moldabekov@agakaz.kz
А.К. Молдабеков	Кандидат химических наук, ассоциированный профессор кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: a.moldabekov@agakaz.kz
J.S. Zhumadilov	Doctoral student of the department "Aviation equipment and technologies"; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhandos.zhumadilov@agakaz.kz
Ж.С. Жұмаділов	«Авиациялық техника және технологиялар» кафедрасының докторанты; Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: zhandos.zhumadilov@agakaz.kz
Ж.С. Жумадилов	Докторант кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: zhandos.zhumadilov@agakaz.kz
Zh. Azelkhanova	Sir lecturer of the department "Aviation equipment and technologies"; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: zh.azelkhanova@agakaz.kz
Ж.А.Азелханова	Авиациялық техника және технологиялар кафедрасының сеньор лекторы; Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: zh.azelkhanova@agakaz.kz
Ж.А.Азелханова	Сеньор лектор кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: zh.azelkhanova@agakaz.kz

МРНТИ 28.17.23

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_4](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_4)¹**В.В. Макаров***¹Институт проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова, г.Москва,
Российская Федерация

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ УТЕЧЕК И НАРУШЕНИЙ ГИДРОТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТЕПЛОТРАСС БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Аннотация. В статье рассматривается одна из важных областей применения БЛА – тепловой контроль нарушений гидротеплоизоляционного покрытия теплотрасс. Картирование территории с теплотрассами в населенных пунктах может быть выполнено БЛА в автоматическом (облет территории по заданной программе) или автоматизированном (оператор БЛА вручную изменяет режимы полета БЛА) режимах. Такое картирование или термографирование в указанных режимах значительно эффективнее используемых сейчас методов обхода теплотрасс контролирующими бригадами.

Предложен подход для получения оптимальных траекторий движения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) при формировании термографических карт.

В заключение статьи отмечено, что оценка длины траектории движения БЛА и, следовательно, времени полета приведена для случая точного движения по заданной траектории без учета влияния внешних факторов: бокового ветра, встречного ветра, восходящих и нисходящих воздушных потоков. Оценить длину возмущенной траектории возможно для различной допустимой ветровой нагрузке с помощью имитационного моделирования.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БЛА), сверхлегкий беспилотный летательный аппарат (СЛБЛА), термографические (ТГ) карты, тепловизор (ТВ), опасные производственные объекты, трубопроводы тепловых сетей.

Введение. Согласно Федеральному закону РФ №116, трубопроводы тепловых сетей являются опасным производственным объектом в связи с высокой температурой и давлением теплоносителя. Поэтому важной составной частью эксплуатации теплосетей является их периодическое диагностическое обследование (Рисунок.1). Существуют методы, которые позволяют оценить риски на участках, скрытых в грунте, в лотках и непроходных каналах.



Рисунок 1. Городская теплотрасса на ремонте

Хорошие результаты дает поиск утечек воды в трубах, производимый с помощью тепловизора. Прибор определяет разницу в температуре до $0,1^{\circ}\text{C}$, выдает термограмму, на которой место течи окрашено в характерный цвет. Тепловизор представляет собой прибор для съемки объектов в инфракрасной части светового спектра и визуализации распределения температуры на их поверхности. Термографическое обследование — это инфракрасная съемка с измерением температур в каждой точке поля зрения тепловизора с последующим детальным анализом полученных данных, то есть термограмм. Изображение на экране тепловизора по большей части формируется из пятен трёх основных цветов – красного, синего и зелёного. При этом красный указывает на достаточно сильный отток тепла, в большинстве случаев это будет означать проблему – например, необходимость осуществления дополнительной теплоизоляции. Данный метод основан на контрастном обозначении температурных перепадов в спектре инфракрасного излучения (Рисунок 2).

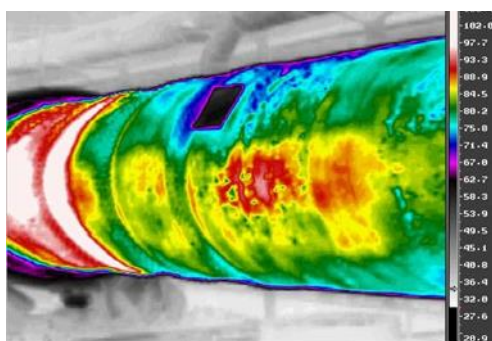


Рисунок 2. Термограмма трубы

Проведя съемку тепловизионным оборудованием, специалист без труда определит проблемные участки и дефекты.

К преимуществам использования таких технологий можно отнести:

- возможность точного определения места утечки теплоносителя;
- ранжирование интервалов трубопровода по степени опасности для составления долгосрочного плана ремонтных работ;

- сокращение аварий и инцидентов в отопительный сезон.

После ремонтных работ тепловизионное обследование теплотрасс поможет понять, насколько качественно выполнены эти работы, насколько качественно произведена термоизоляция труб и насколько эффективно работает система (Рисунок 3).

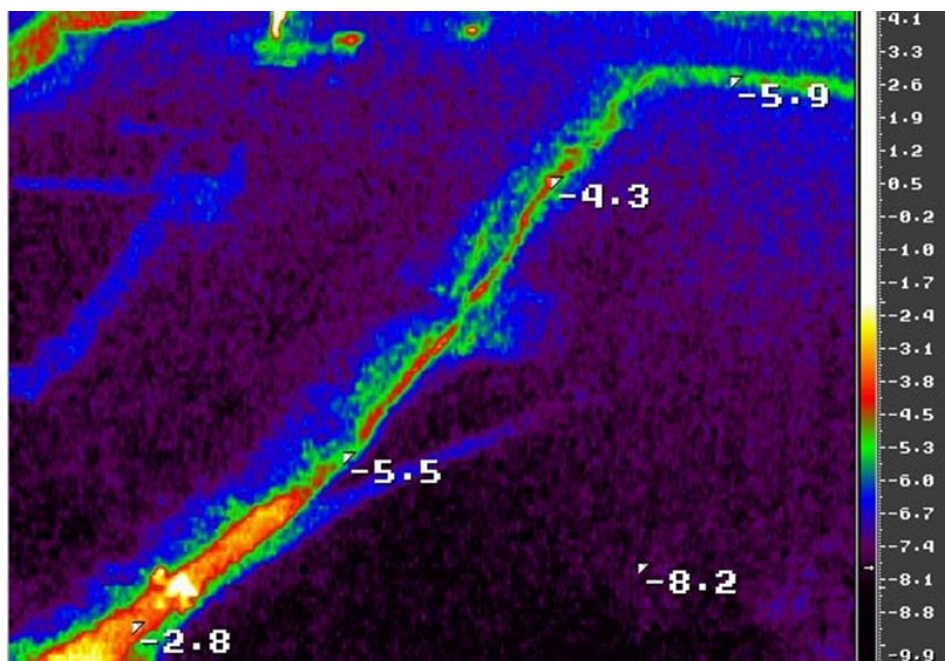


Рисунок 3. Термограмма теплотрассы

Основная часть. Одна из важных областей применения БЛА – тепловой контроль нарушений гидротеплоизоляционного покрытия теплотрасс [1]. Картирование территории с теплотрассами в населенных пунктах может быть выполнено БЛА в автоматическом (облет территории по заданной программе) или автоматизированном (оператор БЛА вручную изменяет режимы полета БЛА) режимах. Такое картирование или термографирование в указанных режимах значительно эффективнее используемых сейчас методов обхода теплотрасс контролирующими бригадами:

1. БЛА значительно быстрее обследует заданную территорию;
2. БЛА с тепловизором (ТВ) дает объективные результаты измерений и исключает влияние человеческого фактора на результаты;
3. режим работы персонала становится более комфортным, поскольку тепловой контроль с помощью ТВ рекомендуется проводить ночью или в предутренние часы, когда тепловое влияние окружающей среды минимально;
4. стоимость картирования значительно ниже.

Рекомендуемая дальность ТВ съемки (т.е. высота полета БЛА) лежит в диапазоне от 2 до 100м, она давно освоена [2].

Бюджетный вариант работы БЛА (самолетной или вертолетной схем) предполагает полностью автоматический полет с записью ТВ съемки на

внутреннее запоминающее устройство с последующей программной обработкой результатов съемки. Программная обработка результатов термографирования (ТГ) предполагает плотную без зазоров съемку траекторий БЛА определенной ширины, которая зависит как от высоты полета, так и от свойств поверхности, над которой производится полет. Естественными требованиями здесь выступают время облета заданной территории и качество ТГ.

Рассмотрим сканирование территории тепловизором размещенном на сверхлегком беспилотном летательном аппарате (СЛБЛА). Максимальный угол обзора объектива современного тепловизора составляет 60° [1]. Обозначим: R – расстояние от объектива до крайней точки сканирования земной поверхности; H – высота полета СЛБЛА (расстояние от объектива ТВ до поверхности земли). Для линии сканирования слева направо имеем равносторонний треугольник со стороной R (Рисунок 4).

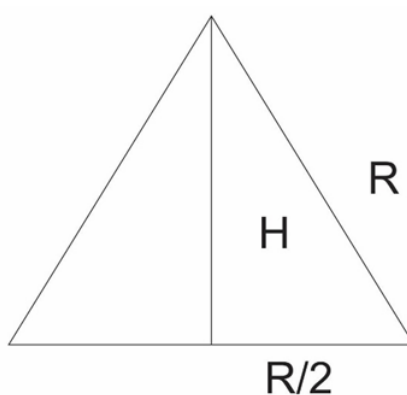


Рисунок 4. Линия сканирования ТВ

Перпендикулярная развертка линии сканирования дает область сканирования квадрат со стороной R площадью $S = R^2$ (Рисунок 5).

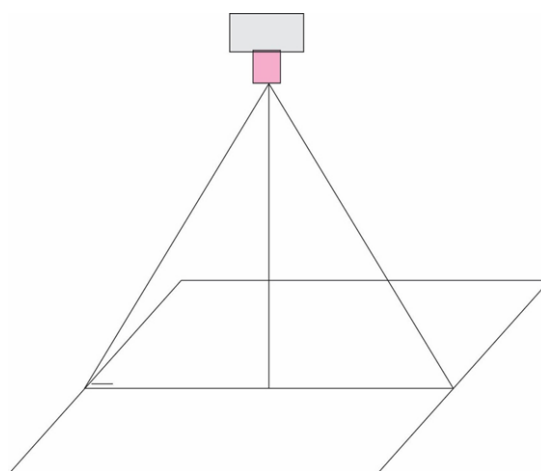


Рисунок 5. Область сканирования ТВ

Для того чтобы дать представление о параметрах области сканирования S , зададим максимальную высоту полета СЛБЛА равную $H = 100\text{м}$. Эта высота определяется допустимой чувствительностью камеры тепловизора до поверхности земли. С другой стороны в условиях полета в городских условиях в отсутствии сверх высоких строений (труб крупных заводов и небоскребов) оценки высот жилых и офисных зданий могут быть следующие: 5-ти этажное строение – $h_5 = 15\text{м}$, 10-ти этажное $h_{10} = 30\text{м}$, 20-ти этажное $h_{20} = 60\text{м}$. Таким образом, типовая застройка среднего российского города меньше и, как правило существенно меньше $H = 100\text{м}$. Решение треугольника с углом при вершине 60° и $H = 100\text{м}$ дает:

$$100^2 + \frac{R^2}{4} = R^2, R = \frac{200}{\sqrt{3}} \approx 115\text{м}.$$

Площадь сканирования в одной точке при этих параметрах высоты составляет:

$$S = 115^2 = 13225\text{м}^2.$$

Рассмотрим условия движения. СЛБЛА движется с постоянной скоростью полностью автономно. СЛБЛА должен вылететь из начальной точки, обозначим эту точку B , и вернуться в ту же точку. Траектория движения задается заранее. Это может быть замкнутая траектория движения СЛБЛА, например, окружность или любая другая траектория движения с возвращением в исходную точку B . Область сканирования не может быть большой: облететь и просканировать сразу всю территорию города средних размеров за один полет невозможно, вследствие ограниченного ресурса СЛБЛА по запасу топлива: $t_{\text{пол}} = 20 \div 30$ мин.

Будем рассматривать элементарную область сканирования S_e с возвращением, которую может облететь СЛБЛА за одну заправку/зарядку. Если зарядки/заправки достаточно на следующую S_e область, то выполняется облет следующей S_e с возвращением. При этом элементарные области сканирования должны легко сопрягаться, т.е. S_e могут покрыть всю произвольную заданную территорию без каких-либо пропусков и желательно без повторных облетов или с минимумом повторных сканирований областей. Например, S_e квадрат легко сопрягается с другой такой же областью и может покрыть любую территорию. S_e окружность тоже может покрыть территорию, но эти элементарные области плохо сопрягаются: при покрытии района остаются не просканированные области, если же мы хотим закрыть пропущенные области, то многократно возрастает повторное сканирование уже просмотренных областей (Рисунок 6).

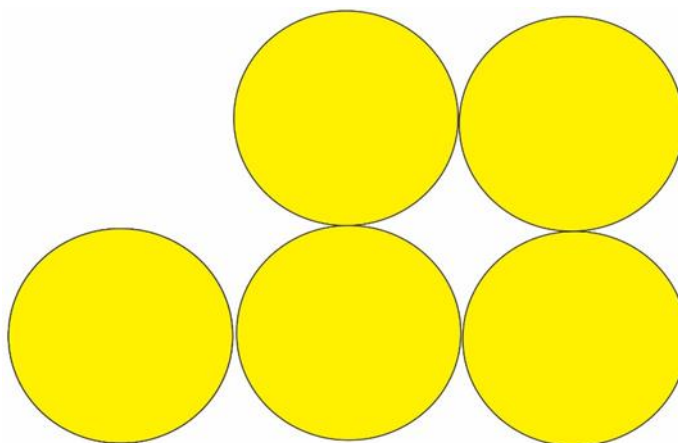


Рисунок 6. Элементарные области сканирования окружности

Относительно области сканирования квадрат или прямоугольник: сразу отметим техническую проблему, связанную с невозможностью для СЛБЛА самолетного типа сделать поворот в точке на 90° , для СЛБЛА вертолетной схемы такой разворот технически возможен при остановке СЛБЛА в точке разворота. В постановке задачи, однако, изменение скорости не предполагалось. Таким образом, поворот на 180° для S_e прямоугольник может быть выполнен при движении по круговой траектории минимального радиуса R_{\min} . Для СЛБЛА радиус разворота составляет порядка $R_{\min} = 100\text{м}$ [2]. Это приводит к тому, что СЛБЛА проходит дополнительное расстояние $L = \pi R_{\min}$ для того, чтобы оказаться в точке сканирования для движения в противоположную сторону. Примем для удобства $R_{\min} = R$ (см. Рисунок 4), тем более что это равенство действительно приближенно выполняется.

При данных условиях задача состоит в выборе такой области сканирования S_e , время движения по которой было бы минимальным, а следовательно, и пройденный путь L_e по данной траектории движения будет так же минимальным, а площадь сканирования S_e – максимальна. Мы получили многокритериальную задачу принятия решения (выбора траектории) с противоречивыми критериями [3]:

$$S_e \rightarrow \max; L_e \rightarrow \min.$$

Известно, что окружность отвечает последним требованиям. Однако покрыть произвольную область окружностями полностью без пропусков невозможно (Рисунок 6). При полном покрытии территории в областях пропуска СЛБЛА должен произвести повторный облет с повторным сканированием уже отсканированных областей. Кроме того, сшивка результатов термографирования при круговых облетах СЛБЛА не простая задача.

Следующий кандидат на элементарную допустимую область сканирования – шестиугольник (Рисунок 7).

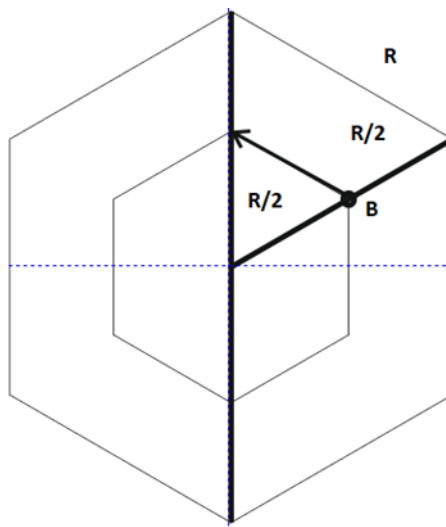


Рисунок 7. Элементарная область сканирования шестиугольник

На рисунке 7 В – точка начала движения по замкнутой траектории. Стрелкой указано направление движения по замкнутой траектории элементарной области сканирования. Жирная линия, проходящая через точку В – это линия сканирования R (Рисунок 4). В точке поворота СЛБЛА выполняет поворот на 60° , а не на 180° (для прямоугольной области сканирования) при обратном движении или 90° , если движение выполняется по ребрам прямоугольника. Такой поворот технически возможен для СЛБЛА, хотя вершины шестиугольника окажутся более скругленными, чем на рисунке 7.

Очевидно, что S_e шестиугольника сопрягаются в нашей трактовке этого понятия (Рисунок 8). На рисунке точка Е отмечена точка окончания сканирования первой области и жирной линией со стрелкой из точки Е траектория перехода к сканированию второй области в точку В без изменения направления движения, что не маловажно. При переходе из одной области в другую производится повторное сканирование некоторых уже просканированных участков, но сканирование вне интересующей области и соответственно движение за границей области не происходит.

Оценим параметры S_e и L_e для шестиугольной области (Рисунок 7).

$$L_{e6} = 6 \frac{R}{2} = 3R; S_{e6} = 6 S_{e3} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2,5R^2, \quad (1)$$

где $S_{e3} = \frac{\sqrt{3}}{4} R^2$ – площадь элементарного равностороннего треугольника

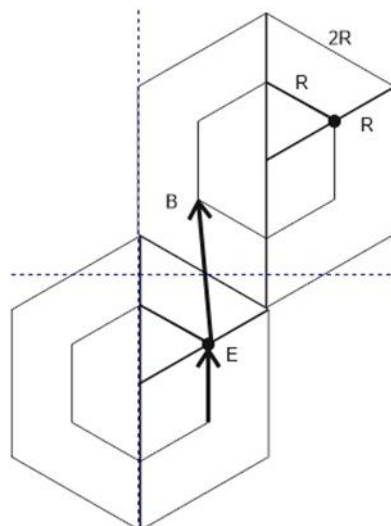


Рисунок 8. Сопряжение двух областей сканирования и переход между ними EB

На рисунке 9 показано покрытие сопряженными шестиугольными областями S_{e6} исследуемого района.

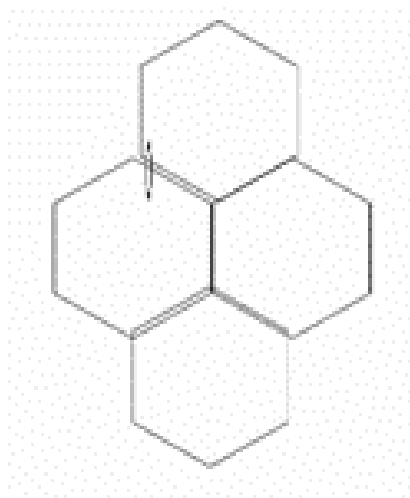


Рисунок 9. Покрытие сопряженными шестиугольными областями S_{e6} исследуемого района

Покажем, что облет по прямоугольной области, если в качестве элементарной области сканирования взять прямоугольную/квадратную область S_{e4} окажется менее эффективным.

Возьмем в качестве сравнения S_{e6} шестиугольника (1) и оценим длину траектории для элементарной прямоугольной области сканирования S_{e4} (Рисунок 10). L_4 – длина прямоугольной области сканирования; B – начальная точка; E – точка окончания области сканирования; $\frac{R}{2}$ – радиус разворота при возвращении.

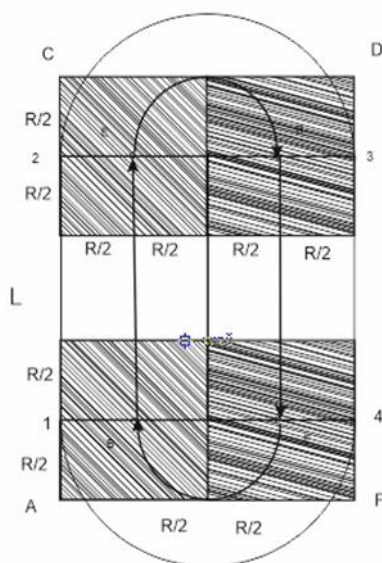


Рисунок 10. Элементарная прямоугольная область сканирования S_{e4}

Толстыми линиями со стрелками указана траектория движения СЛБЛА. Заштрихованные области слева на рисунке – сканируемые области в точке начала движения точка B и конца прямого движения точка E . Аналогично при обратном движении из точки B в точку E . Полезная площадь сканирования – прямоугольник со сторонами $ACDF$. Движение СЛБЛА имеет следующие направления: линия сканирования 1 из точки B до линии сканирования 2 в точку E , далее разворот на 180° , обратное движение от линии сканирования 3 в точку B , до линии сканирования 4 в точку E . Тонкими линиями обозначена внешняя граница возможной области сканирования.

Полезная площадь сканирования прямоугольной области:

$$S_4 = L 4 \frac{R}{2} = 2LR$$

Приравнивая к S_{e6} (1):

$$2LR = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2,$$

находим длину участка с прямолинейным движением:

$$L = \frac{3\sqrt{3}}{4} R \approx 1,3R$$

Длина траектории будет складываться из двух прямолинейных участков длиной L (движение туда и обратно) и двух участков разворота радиуса $\frac{R}{2}$ (Рисунок 10):

$$L_{e4} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R + \pi R = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} + \pi\right)R = \frac{3\sqrt{3}+2\pi}{2}R \approx 5,7R$$

Длина периметра движения по замкнутому маршруту в форме шестиугольника (1) равна $L_{e6} = 3R$. Таким образом, при равных по площади просканированных участках территории для шестиугольной области имеем почти двукратный выигрыш в сравнении с прямоугольной областью сканирования по длине траектории и, следовательно, двукратный выигрыш по времени.

Выводы. Рассмотренная выше оценка длины траектории движения СЛБЛА и, следовательно, времени полета приведена для случая точного движения по заданной траектории без учета влияния внешних факторов: бокового ветра, встречного ветра, восходящих и нисходящих воздушных потоков. Эти возмущающие факторы приводят в итоге к тому, что возмущенная траектория оказывается более длинной, чем идеальный периметр площади облета. Оценить длину возмущенной траектории возможно для различной допустимой ветровой нагрузке с помощью имитационного моделирования, например, в известной системе Anylogic [4,5]. Такой подход позволяет оценить может ли СЛБЛА выполнить полетное задание успешно в автономном режиме, т.е. хватит ли беспилотнику топлива.

Наличие возмущений и нелинейность всей системы затрудняют получение общего аналитического решения задачи. Численные методы с применением имитационного моделирования позволяют решить данную практическую задачу.

В.В.Макаров

ЖЫЛУ ТҰБЫРЛАРЫНЫҢ СУ/ЖЫЛУОҚШАУЛАҒЫШ ЖАБЫНДАРЫН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШАТЫН КӨЛІКТЕРМЕН АҒЫЗУ ОРИНДАРЫН ЖӘНЕ БҰЗЫЛУЛАРЫН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолданудың маңызды бағыттарының бірі – жылу магистралінің гидрооқшаулағыш жабынының бұзылуын термиялық бақылау қарастырылған. Елді мекендердегі жылу магистральдары бар аумақты картаға түсіруді ҰАО автоматты (берілген бағдарлама бойынша аумақты ұшатын) немесе автоматтандырылған (ҰА операторы ҰҰА ұшу режимдерін қолмен өзгертеді) режимдерінде орындауы мүмкін. Көрсетілген режимдердегі мұндай карталау немесе термография қазіргі уақытта тексеруші топтардың жылу магистральдарын айналып өту әдістеріне қарағанда әлдеқайда тиімді.

Термографиялық карталарды жасау кезінде ұшқышсыз ұшатын аппараттардың (ҰҰА) оңтайлы траекторияларын алу тәсілі ұсынылады.

Қорытындылай келе, мақалада ұшқышсыз ұшу аппаратының траекториясының ұзындығын бағалау және, демек, ұшу уақыты сыртқы факторлардың: бүйірлік желдің, алдыңғы желдің әсерін есепке алмай, берілген траектория бойынша дәл қозғалыс жағдайында берілгені атап өтіледі. , көтерілетін және төмендейтін ауа ағындары. Модельдеуді пайдалана отырып, әртүрлі рұқсат етілген жел жүктемелері үшін бұзылған траекторияның ұзындығын бағалауға болады.

Түйін сөздер: ұшқышсыз ұшатын аппарат, ультра жеңіл ұшқышсыз ұшатын аппарат, термографиялық карталар, тепловизор, қауіпті өндірістік объектілер, жылу желілерінің құбырлары.

V.V. Makarov

DETECTION OF LEAKS AND BREACHES OF THE WATERPROOFING COATING OF HEATING PIPELINES BY UNMANNED AERIAL VEHICLES

Abstract. *The article deals with one of the important areas of application of uavs - thermal control of violations of hydro-insulation coating of heating mains. Mapping of the territory with heating mains in settlements can be performed by uav in automatic (overflight of the territory according to the set programme) or automated (UAV operator manually changes uav flight modes) modes. Such mapping or thermography in the specified modes is much more effective than the methods of heat pipelines bypassing by the control teams used nowadays.*

An approach for obtaining optimal trajectories of unmanned aerial vehicles (UAVs) during the formation of thermographic maps is proposed.

at the end of the paper it is noted that the estimation of the length of the uav motion trajectory and, consequently, of the flight time is given for the case of precise motion along a given trajectory without taking into account the influence of external factors: side wind, headwind, upward and downward air currents. It is possible to estimate the length of the perturbed trajectory for different permissible wind load using simulation modelling.

Keywords: *unmanned aerial vehicle (UAV), ultralight unmanned aerial vehicle, thermographic maps, thermal imager, hazardous industrial facilities, heat network pipelines.*

Список использованной литературы

1. Салихов З.Г. Инженерные основы теплового контроля. Опыт практического применения: Монография / Салихов З.Г., - М.: ИД МИСиС, 2008, - 476 с.
2. Полтавский, А.В. Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов [Текст]: научное издание / А.В. Полтавский, А.А. Бурба, А.Е. Аверкин, В.В. Макаров, В.В. Маклаков. - М.: ИПУ РАН, 2015. - 127 с.

3. Соболев И.М., Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников – М.: Дрофа, 2006. - 175 с.
4. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов/ В.Д.Боев. – М.: Юрайт, 2022. – 253с.
5. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5/ Ю.Г.Карпов – СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 400с.

References

1. Salihov Z.G. Injenernye osnovy teplovogo kontrolya. Opyt prakticheskogo primeneniya: Monografiya / Salihov Z.G., - M.: ID MISIS, 2008, - 476 s.
2. Poltavskiy, A.V. Mnogofunktsionalnye komplekсы bespilotnykh letatelnykh apparatov [Tekst]: nauchnoe izdanie / A.V. Poltavskiy, A.A. Byrba, A.E. Averkin, V.V. Makarov, V.V. Maklakov. - M.: IPY RAN, 2015. - 127 s.
3. Sobol I.M., Vybora optimalnykh parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami / I.M. Sobol, R.B. Statnikov – M.: Drofa, 2006. - 175 s.
4. Boev V.D. Imitatsionnoe modelirovaniye sistem: uchebnoe posobie dlia vyzov/ V.D. Boev. – M.: Iyrait, 2022. – 253s.
5. Karpov Iy.G. Imitatsionnoe modelirovaniye sistem. Vvedenie v modelirovaniye s AnyLogic 5/ Iy.G. Karpov – SPB.: BHV-Peterbýrg, 2005, 400s.

Макаров Вадим Владимирович	К.т.н., старший научный сотрудник Института проблем управления РАН, ИПУ РАН г. Москва, 117997, РФ, E-mail: makfone@mail.ru
Макаров Вадим Владимирович	Техника ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, РҒА Басқару проблемалары институты, Мәскеу қ., 117997, РФ, E-mail: makfone@mail.ru
Vadim V. Makarov	Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russian Federation, E-mail: makfone@mail.ru

МРНТИ 73.37.63

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_5](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_5)¹ Г.А. Акылбекова *, ¹И.Л. Доненко¹ Кыргызский Авиационный Институт, г. Бишкек, Кыргызстан*E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Аннотация. В данной работе представлен инновационный фрактальный подход к обработке сельскохозяйственных угодий с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Рассмотрен подход к анализу поверхности земли с применением фрактального анализа, включая дифракционный фрактал Фраунгофера и масштабирование ковра Серпинского. Приведен код для Arduino, позволяющий собирать данные с датчиков и отправлять их в реальном времени на смартфон через Telegram. Для более сложного анализа данных и интеграции с системами машинного обучения предложен Raspberry Pi, с кодом для сбора данных с камеры и LiDAR, а также для распознавания сельскохозяйственных культур с использованием TensorFlow. Основное внимание уделяется возможности передачи данных в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения и анализировать большие объемы данных на более мощном оборудовании или сервере.

Ключевые слова: фрактал, беспилотный летательный аппарат, искусственный интеллект, математическое моделирование, дифференциальное уравнение, сельское хозяйство.

Введение. Фрактальный анализ — это метод исследования, который позволяет оценить сложность поверхностей или структур, используя понятие фрактальной размерности. Этот метод основан на идее, что многие природные объекты или явления (например, облака, горы, реки) имеют фрактальную структуру, то есть они выглядят одинаково на разных масштабах.

В сельском хозяйстве фрактальный анализ может быть использован для оценки структуры почвы, рельефа участка или роста растений, что в свою очередь может помочь в определении оптимальных методов обработки угодий.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали революционным инструментом в сельском хозяйстве. С помощью камер и датчиков, установленных на БПЛА, фермеры могут получать детальные изображения своих угодий, что позволяет им быстро и точно определять проблемные зоны.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в этот процесс делает анализ данных еще более точным. ИИ может автоматически определять нарушения роста растений, вредителей или болезни, а также предлагать оптимальные способы решения этих проблем.

Математическое моделирование фрактальных структур начинается с определения фрактальной размерности. Это показатель, который описывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба.

Для моделирования фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы, такие как алгоритмы Л-системы или алгоритмы случайных блужданий.

Для успешного внедрения фрактального подхода в современное сельское хозяйство с использованием БПЛА и ИИ, следует рассмотреть следующую схему:

а) Сбор данных с помощью БПЛА.

Выбор оптимального БПЛА в зависимости от размера угодий и требуемой детализации данных.

Установка датчиков и камер высокого разрешения для получения детальных изображений поверхности угодий.

Регулярные полеты над участком для мониторинга изменений и сбора данных.

б) Обработка и анализ данных с использованием ИИ.

Передача собранных данных на сервер или облачное хранилище для дальнейшего анализа.

Применение алгоритмов машинного обучения для распознавания фрактальных структур на изображениях и определения их характеристик.

Использование ИИ для выявления аномалий, таких как засуха, нарушения роста растений или вредители.

в) Принятие решений на основе анализа.

На основе анализа данных ИИ предлагает рекомендации по уходу за угодьями: оптимальное время и методы полива, необходимость внесения удобрений или применения средств защиты растений.

Автоматизация процессов: возможность автоматического управления системами полива или дозирования удобрений на основе рекомендаций ИИ.

г) Оценка эффективности и корректировка подхода.

Регулярный мониторинг и анализ результатов применения рекомендаций ИИ.

Корректировка алгоритмов ИИ на основе полученных результатов для улучшения точности прогнозов и рекомендаций.

Для более точной разметки поверхности стоит рассчитывать фрактальную размерность поверхностей.

Она показывает, как изменяется сложность объекта при изменении масштаба.

Для простого объекта, например, отрезка, $D=1$. Для плоскости $D=2$. Однако фрактальные объекты имеют нецелочисленную размерность, которая лежит между двумя целыми числами.

Один из популярных методов определения фрактальной размерности — это метод «box-counting».

Представьте, что вы покрываете объект множеством квадратов (или кубов в 3D) и считаете, сколько из них содержат часть объекта. Затем уменьшаете размер квадратов и повторяете процесс.

Фрактальная размерность (D) определяется следующим образом:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log(N(\epsilon))}{\log \frac{1}{\epsilon}}$$

где $N(\epsilon)$ — это количество квадратов размером ϵ , которые содержат часть объекта.

Для создания фрактальных структур часто используются итерационные алгоритмы.

Примером может служить алгоритм создания криволинейного множества:

$$Z_{n+1} = Z_n^{2n} + Z^n + C$$

где Z - комплексное число, C - константа.

Так как при сканировании поверхностей мы используем 2 типа устройств — это камеры и лазерные сканеры (по типу lidar), то в следствии такого сканирования поверхности возникают при дифракции света на фрактальных структурах. Такие структуры описываются дифрактом Фраунгофера, что расписывается при помощи преобразования Фурье от фрактального объекта. Рассмотрим это более подробно:

Предположим, что у нас есть фрактальная структура, которая может быть описана математически определенной функцией $f(x, y)$. Дифракционная картина Фраунгофера в дальней зоне может быть описана с помощью двумерного преобразования Фурье от функции $f(x, y)$.

$$F(u, v) = \iint_0^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

где $F(u, v)$ - амплитуда дифракционной картины, (u, v) - пространственные частоты, i - мнимая единица.

При рассмотрении поверхности Земли, особенно на макроуровне, можно предположить, что она представляет собой сложное сочетание различных кривых второго и третьего порядков. Например, горные хребты могут быть приближены параболическими или гиперболическими кривыми, в то время как реки и долины могут быть описаны кубическими кривыми.

Кривые второго порядка включают в себя такие фигуры, как эллипсы, параболы и гиперболы. Они описываются уравнениями вида:

$$Ax_2 + Bxy + Cy_2 + Dx + Ey + F = 0$$

Кривые третьего порядка, или кубические кривые, описываются уравнениями вида:

$$Ax^3 + Bx^2y + Cxy^2 + Dy^3 + Ex^2 + Fxy + Gy^2 + Hx + Iy + J = 0$$

Фрактальная закономерность проявляется в том, что при увеличении масштаба поверхности Земли мы продолжаем видеть повторяющиеся структуры. Например, рассмотрение горного хребта на большом масштабе может показать параболическую структуру, но при увеличении масштаба мы можем увидеть множество меньших параболических структур, образующихся из отдельных гор.

Анализируя полученную дифракционную картину, можно изучить свойства исходной фрактальной структуры.

Это может включать определение фрактальной размерности, а также других характеристик фрактального объекта.

Для более точной модели по наведению может быть использован ковёр Серпинского как модель для оптимизации использования земельных участков, позволяя разработать схемы полива или удобрения, которые минимизируют потери и максимизируют покрытие.

Объединение двух фракталов, таких как дифракционный фрактал Фраунгофера и ковёр Серпинского, может привести к созданию сложной криволинейной поверхности с уникальными свойствами.

Для анализа такой поверхности можно использовать дифференциальные уравнения второго порядка.

Дифференциальные уравнения второго порядка для криволинейных поверхностей могут быть представлены в виде:

$\nabla^2 f(x, y) = g(x, y)$ где ∇ - оператор Лапласа, $f(x, y) =$ - функция, описывающая криволинейную поверхность, и $g(x, y)$ - некоторая заданная функция.

Решая это уравнение для такой структуры получаем следующую модель.

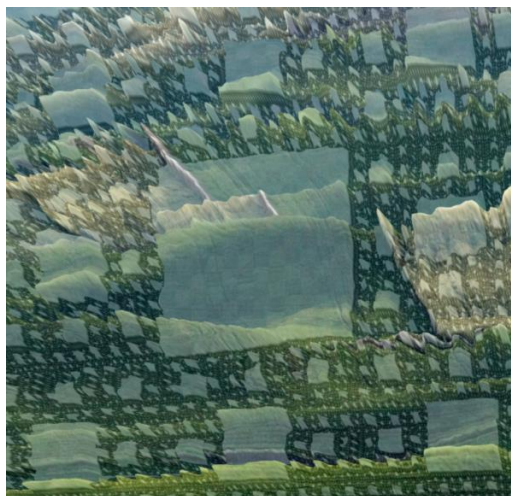


Рисунок 1. 3D модель поверхности поля с учетом фрактальной размерности

Использование такого подхода имеет также несколько обоснований:

1. Дифракционные явления, особенно на фрактальных структурах, чрезвычайно чувствительны к микроструктурам. Это означает, что даже небольшие изменения в поверхности могут вызвать заметные изменения в дифракционной картине. При использовании лазерного или ИК-излучения это позволяет детектировать и анализировать микроструктуры поверхности с высокой точностью.

2. Инфракрасное излучение имеет способность проникать в некоторые материалы, что позволяет анализировать не только поверхностные слои, но и некоторые подповерхностные структуры. Это может быть особенно полезно для анализа почвы или растительности.

3. Лазерное излучение обладает высокой степенью монохроматичности и когерентности, что делает его идеальным для дифракционного анализа. Когда лазерное излучение отражается или проходит через фрактальную структуру, оно создает уникальную дифракционную картину, которая может быть анализирована для определения свойств этой структуры.

4. Применение дифракционного фрактала Фраунгофера с воздуха, особенно с использованием БПЛА или спутников, позволяет проводить быстрый и эффективный анализ больших территорий. Это может быть особенно полезно для мониторинга сельскохозяйственных угодий, лесов или других природных объектов.

Для анализа и исследования поверхностей разработаем модель ИИ, которая на основе представленных математических моделей будет в реальном времени и рассчитывать фрактальную размерность.

Создание такой системы требует несколько этапов и интеграцию различных компонентов. Ниже представлен примерный код для Arduino, который может служить отправной точкой для вашего проекта.

Однако следует отметить, что реализация полной системы потребует дополнительной работы и интеграции.

Мы реализуем связку для работы бпла состоящую из следубщих элементов: Arduino и Raspberry Pi.

Ниже представлен программный код написанный для автономной работы БПЛА в воздухе и передаче данных в автоматическом режиме в телеграммы аккаунт фермера (в данном случае нас).

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

// Ваши данные WiFi
const char* ssid = "your_SSID";
const char* password = "your_PASSWORD";

// Токен вашего бота в Telegram
const char* botToken = "your_BOT_TOKEN";
const int chat_id = "@VanTEROR";

WiFiClientSecure client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }

  Serial.println("Connected to WiFi");
}

void loop() {
  String surfaceData = analyzeSurface();
  String plantData = recognizePlants();

  String message = "Surface Analysis: " + surfaceData + "\nPlant Recognition: " + plantData;
  sendTelegramMessage(message);

  delay(60000); // Отправка данных каждую минуту
}

String analyzeSurface() {
  // Здесь ваш код для анализа поверхности с помощью датчика или лидара
  return "Sample surface data";
}

String recognizePlants() {
  // Здесь ваш код для распознавания растений с помощью камеры
  return "Sample plant data";
}

void sendTelegramMessage(String message) {
  String url = "https://api.telegram.org/bot" + botToken + "/sendMessage?chat_id=" + chat_id + "&text=" + message;
```

Рисунок 2. Программный код для управления БПЛА реализованного на Arduino

Как видно из данного кода, ардуино как простейший микрокомпьютер может вполне выполнять роль автономного пилота для аналитических дронов.

Далее представим модель, которая будет анализировать поверхность с использованием веб-камеры высокого разрешения и датчиков lidar реализованную на Raspberry Pi.

```
# Настройка LiDAR
lidar = RPLidar('/dev/ttyUSB0')

# Настройка камеры
camera = cv2.VideoCapture(0)

# Настройка сокета для передачи данных на компьютер
host = 'your_computer_ip'
port = 12345
client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
client_socket.connect((host, port))

def analyze_image(frame):
  # Здесь ваш код для анализа изображения на ходу
  # Например, вы можете использовать простые методы обработки изображений для выявления критических изменений
  critical_changes = False
  return critical_changes

def send_data_to_computer(data):
  client_socket.sendall(data)

while True:
  ret, frame = camera.read()
  if not ret:
    break

  critical_changes = analyze_image(frame)
  if critical_changes:
    print("Critical changes detected!")
    # Здесь вы можете добавить дополнительные действия, например, отправить предупреждение

  # Сбор данных с LiDAR
  for scan in lidar.iter_scans():
    # Здесь ваш код для анализа данных с LiDAR

    # Упакуем данные и отправим на компьютер для детального анализа
    data = {
      'image': frame,
      'lidar': scan
    }
    send_data_to_computer(data)

camera.release()
```

Рисунок 3. Система с машинным обучением для анализа поверхности реализованная на Raspberry Pi

Для расширения системы с использованием TensorFlow или PyTorch, предположим, что у нас есть предварительно обученная модель, которая может

распознавать различные сельскохозяйственные культуры на изображениях. Эта модель может быть обучена на большом наборе данных с изображениями различных культур.

Теперь на основании этих данных представим модель машинного зрения (т.е. посмотрим глазами БПЛА на поверхность).

Она представляет собой структуру, выделяющую посеы, и другие сельскохозяйственные насаждения на поверхности земли.

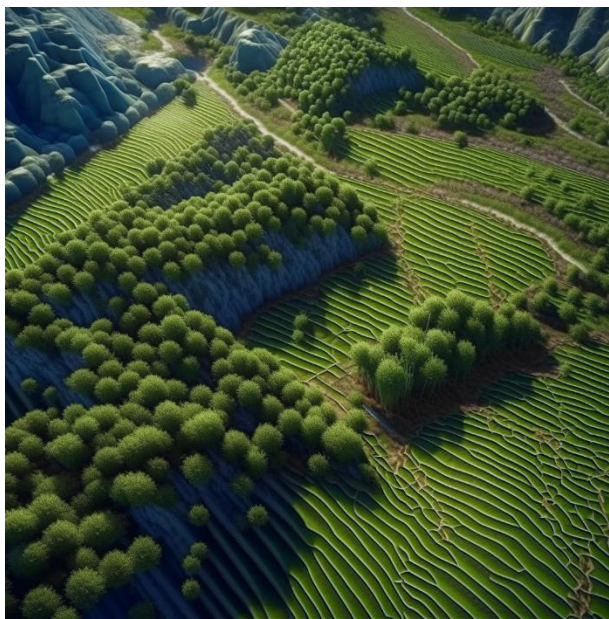


Рисунок 4. Пример анализа и выделения насаждений в условиях горных возвышенностей Кыргызской Республики.

Вывод. В решения математической модели и создания прототипа для анализа была представлена концепция создания системы для БПЛА, реализованной на базе Arduino и Raspberry Pi, с целью анализа сельскохозяйственных угодий.

Основные моменты, которые были рассмотрены:

1. Был представлен подход к анализу поверхности земли с использованием фрактального анализа, включая дифракционный фрактал Фраунгофера и масштабирование ковра Серпинского

2. Приведен код для Arduino, который может собирать данные с датчиков, анализировать их и отправлять в реальном времени на смартфон через Telegram.

3. Для более сложного анализа данных и интеграции с системами машинного обучения был предложен Raspberry Pi. Был представлен код для сбора данных с камеры и LiDAR, а также для распознавания сельскохозяйственных культур с использованием TensorFlow.

4. Обсуждалась возможность использования предварительно обученных моделей машинного обучения для распознавания различных сельскохозяйственных культур на изображениях.

5. Основное внимание уделялось возможности передачи данных в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения и анализировать большие объемы данных на более мощном оборудовании или сервере.

В заключение, создание такой системы для БПЛА требует комплексного подхода, включая аппаратное обеспечение, программирование и машинное обучение.

Однако преимущества, такие как автоматизированный анализ сельскохозяйственных угодий и оперативное реагирование на изменения, делают этот подход перспективным для современного сельского хозяйства.

Г.А. Акылбекова, И.Л. Доненко

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫМЕН ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ ФРАКТАЛДЫҚ ТӘСІЛ

Андатпа. Бұл мақалада ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҒА) пайдалана отырып, ауылшаруашылық жерлерін өңдеудің инновациялық фракталдық тәсілі ұсынылған. Фракталды талдауды пайдалана отырып, жер бетін талдау тәсілі қарастырылады, соның ішінде Фраунгофер дифракциялық фракталы және Сьерпински кілемінің масштабтауы. Arduino үшін код сенсорлардан деректерді жинауға және оны нақты уақытта Telegram арқылы смартфонға жіберуге мүмкіндік береді. Деректерді неғұрлым күрделі талдау және машиналық оқыту жүйелерімен интеграциялау үшін камера мен LiDAR-дан деректерді жинауға, сондай-ақ TensorFlow көмегімен дақылдарды тану коды бар Raspberry Pi ұсынылады. Неғұрлым қуатты жабдықта немесе серверде өзгерістерге жылдам жауап беруге және деректердің үлкен көлемін талдауға мүмкіндік беретін нақты уақыт режимінде деректерді беру мүмкіндігіне назар аударылады.

Түйін сөздер: фракталдық, ұшқышсыз ұшу аппараты, жасанды интеллект, математикалық модельдеу, дифференциалдық теңдеу, ауыл шаруашылығы.

G.A. Akylbekova, I.L. Donenko

AN INNOVATIVE FRACTAL APPROACH FOR PROCESSING AGRICULTURAL LAND USING UAVS

Abstract. This paper presents an innovative fractal approach to the cultivation of agricultural land using unmanned aerial vehicles (UAVs). An approach to analyzing

the earth's surface using fractal analysis is considered, including the Fraunhofer diffraction fractal and Sierpinski carpet scaling. Code for Arduino is provided that allows you to collect data from sensors and send it in real time to a smartphone via Telegram. For more complex data analysis and integration with machine learning systems, the Raspberry Pi is proposed, with code for collecting data from a camera and LiDAR, as well as for recognizing crops using TensorFlow. The focus is on the ability to transmit data in real time, which allows you to quickly respond to changes and analyze large volumes of data on more powerful equipment or a server.

Key words: *fractal, unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, mathematical modeling, differential equation, agriculture.*

Список использованных источников

1. Доненко, И. Л. Учет фрактальности поверхности земли для нанесения точных бомбовых ударов / И. Л. Доненко, К. Н. Алексеев // Устойчивое развитие науки и образования. – 2018. – № 10. – С. 209-211. – EDN YNRKBN.
2. Кириллов, А. А. Повесть о двух фракталах. [Электронный ресурс] // Летняя школа «Современная математика». - Электрон. журн. - 2007. - №1. - Режим доступа: <http://www.fractal.ru>.
3. Хлыстун В.В. Павел Грачёв: «Меня назначили ответственным за войну» // Труд, № 048, 15 марта 2001.
4. Доненко А.В. Математическое моделирование для решения краевой задачи эволюции фрактальных отображений световых полей / А.В. Доненко, В.А. Лукьяненко, И.Л. Доненко. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн 2018. С. 436-442.
5. Лукьяненко В.А., Доненко А.В. Нелинейные параболические уравнения и их приложения. Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского, 2017.
6. Корнута А. А., Лукьяненко В. А. Функционально-дифференциальные уравнения параболического типа с оператором инволюции, Динамические системы, 37, 4, 390-409 (2019).

References

1. Donenko, I. L. Úchet fraktalnosti poverhnosti zemli dlia naneseniia tochnyh bombovyh údarov / I. L. Donenko, K. N. Alekseev // Ýstoichivoe razvitie nauky i obrazovaniia. – 2018. – № 10. – S. 209-211. – EDN YNRKBN.
2. Kirillov, A. A. Povest o dvýkh fraktalah. [Elektronnyy resýrs] // Letniiaia shkola «Sovremennaiia matematika». - Elektron. jýrn. - 2007. - №1. - Rejim dostýpa: <http://www.fractal.ru>.
3. Hlystýn V.V. Pavel Grachëv: «Menia naznachili otvetstvennym za voíný» // Trýd, № 048, 15 marta 2001.
4. Donenko A.V. Matematicheskoe modelirovanie dlia resheniia kraevoi zadachi evolýtsii fraktalnyh otobrajenií svetovyh polei / A.V. Donenko, V.A. Lýkianenko, I.L. Donenko. Virtýalnoe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlenniy dizain 2018. S. 436-442.

5. Lúkianenko V.A., Donenko A.V. Nelineınye parabolicheskie úravnennıa i ih prilozhenıa. Simferopol: KFÚ im. V.I. Vernadskogo, 2017.

6. Kornýta A. A., Lúkianenko V. A. Fúnktsionalno-differentsialnye úravnennıa parabolicheskogo tipa s operatorom involútsıı, Dınamicheskie sistemy, 37, 4, 390-409 (2019).

Акылбекова Гулайым Акылбековна	Студент Кыргызского Авиационного Института, г. Бишкек, Кыргызстан, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com
Акылбекова Гулайым Акылбековна	Қырғыз авиация институтының студенті, Бішкек, Қырғызстан, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com
Akylbekova Gulayim Akylbekovna	Student of the Kyrgyz Aviation Institute, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com

Доненко Иван Леонидович	Кандидат физико-математических наук, г. Бишкек, Кыргызстан, E-mail: work@idonenko.ru
Доненко Иван Леонидович	Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Бішкек, Қырғызстан, E-mail: work@idonenko.ru
Donenko Ivan Leonidovich	Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: work@idonenko.ru

ЛОГИСТИКА, ТАСЫМАЛДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ, КӨЛІКТЕГІ ҚАУІПСІЗДІК
ЛОГИСТИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ
LOGISTICS, TRANSPORTATION ORGANIZATION, TRANSPORT SECURITY

MPHTI 73.37.21

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_6](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_6)

¹И. М. Сайдумаров, ¹И. Ж. Бойманов*

¹Ташкентский государственный транспортный университет,
г. Ташкент, Узбекистан

*E-mail: saidilh@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АЭРОПОРТОВ В УСЛОВИЯХ СЕЗОННОГО РОСТА ПАССАЖИРОПОТОКОВ

Аннотация: В работе создан метод повышения пропускной способности скоростных рулежных дорожек в целях повышения эффективности взлетно-посадочной полосы с учетом условий сезонного роста потока воздушных судов и разработано инструментальное средство в виде алгоритма и программного комплекса.

Ключевые слова: Аэродром, взлетно-посадочная полоса, эффективность, авиация, аэропорт, самолет, пропускная способность.

В связи с тем, что спрос на авиационную отрасль в мире растет с каждым днем, а также в результате увеличения количества авиаперелетов в аэропортах, особое внимание уделяется вопросам повышения пропускной способности взлетно-посадочных полос. Воздушные суда могут тратить чрезмерное количество времени в процессе движения по взлетно-посадочным полосам, что может привести к задержкам рейсов. Эта проблема также наблюдается в аэропортах развитых стран, в том числе в таких странах, как Турция, Англия, Южная Корея, Германия, Испания, Италия, США, Китай, Япония, Сингапур, Австралия, ОАЭ, Франция, где особое внимание уделяется вопросам увеличения пропускной способности взлетно-посадочных полос [1-3]. Поэтому одной из насущных проблем является, прежде всего, повышение эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы для обеспечения качественного обслуживания пассажиров.

В условиях сезонного роста потока воздушных судов в мире большое внимание уделяется научно-исследовательским работам по повышению и улучшению пропускной способности взлетно-посадочных полос аэродрома. Особое значение приобретает проведение научно-исследовательских работ по повышению эффективности пропускной способности взлетно-посадочных полос за счет сокращения времени руления воздушных судов, в том числе в процессе взлетов-посадок на аэродромах, с соблюдением всех законодательных норм, относящихся к авиационной отрасли. В этой связи актуальными задачами являются внедрение и разработка методов оценки и повышения пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома в условиях сезонного роста потока воздушных судов.

В настоящее время в международных аэропортах мира, где много авиаперелетов, ведутся активные работы по повышению пропускной способности взлетно-посадочных полос аэродрома. Проанализированы взлетно-посадочные полосы аэродромов международных аэропортов с наибольшим в мире пассажиропотоком и движением воздушных судов, а также грузоперевозками по итогам 2021 года.

В работе проанализированы методы обеспечения работоспособности и бесперебойной работы взлетно-посадочной полосы аэродрома аэропортов с высоким потоком воздушных судов, а также оценка пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома.

Было проведено анализ работы взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома аэропорта с большим потоком воздушных судов (ВС). Анализ данных о самых загруженных аэропортах мира по пассажиропотоку и грузопотоку, а также авиаперевозкам выявил, что существует ряд факторов, которые сокращают время обслуживания воздушных судов в аэропорту и повышают эффективность пропускной способности.

Проведен анализ параметров работы взлетно-посадочных полос аэродрома и рулежных дорожек аэропортов Республики Узбекистан в условиях сезонного роста потока воздушных судов.

Проанализирован ряд методов повышения пропускной способности взлетно-посадочной полосы и обеспечения ее бесперебойной работы.

1-метод. Налаживание эффективного обмена информацией внутри аэропорта.

2-метод. Использование имеющихся возможностей.

3-метод. Адаптация к спросу.

4-метод. Обеспечение правильной последовательности взлетов и посадок.

5-метод. Обеспечение последовательного обслуживания.

В большинстве случаев после этих мер эффективность пропускной способности увеличивается на 10...25 %. Вышеуказанные методы служат для повышения эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома даже в условиях сезонного роста потока воздушного судна.

Для оптимизация пропускной способности аэропортов в условиях сезонного роста пассажиропотоков описан скоростной РД, и увеличения ее пропускной способности, а также способы обеспечения бесперебойной работы ВПП.

Угол пересечения скоростной рулежной дорожки с взлетно-посадочной полосой должен быть не более 45 градусов и не менее 25 градусов, в идеальном случае – более 30 градусов. Скоростные рулежные дорожки положительно влияют на увеличение пропускной способности взлетно-посадочной полосы по мере увеличения интенсивности движения воздушных судов, составляя один из аспектов пропускной способности аэропорта.

Под пропускной способностью взлетно-посадочной полосы аэропорта понимается количество самолетов, взлетающих и приземляющихся на взлетно-посадочную полосу. Чем больше самолетов используют взлетно-посадочную полосу для посадки и взлета, тем больше пропускная способность взлетно-посадочной полосы.

Процессы, происходящие при математическом моделировании повышения эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома, представляют собой описание явлений, представленных математическими операциями, также является мощным методом процесса оценки, прогнозирования и контроля, а анализ дает возможность адекватно определить природу изучаемого явления.

На основе методологии IDEF0 подробно рассмотрим модель «Повышение пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома» (рис. 1) [4-5].

Стрелки ввода ($L_{ВПП}$, $L_{старт}$, ... $L_{срд}$) в левой части данной модели представляют переменные, необходимые для запуска процесса моделирования. Стрелка ввода, вставленная в верхнюю часть модели, представляет правила и ограничения, которые необходимо соблюдать в процессе моделирования, то есть в данном случае рекомендуемые методы и стандарты, разработанные Международной организацией гражданской авиации (ICAO). Стрелка снизу представляет собой стрелку-колокольчик, которая указывает на дополнительный ресурс, необходимый для выполнения данной задачи, а в данном случае – на специальный программный инструмент, разработанный для моделирования. Стрелка с правой стороны модели представляет параметры, полученные в конце моделирования, то есть результирующие значения. Именно эти параметры в конечном итоге анализируются и оцениваются.



Рисунок 1. Структурная схема математической модели повышения эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома на основе методологии IDEF0

На основе «Математической модели увеличения пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэропорта» создан «Алгоритм увеличения пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэропорта» (Рис.2).

Для увеличения потока воздушных судов разработан алгоритм повышения эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома с учетом условий сезонного роста потоков воздушных судов. Так как не имеется возможность введения всех выражений в блоки алгоритма, мы ввели только полученные величины.

Framework.net использовался при разработке программы ЭВМ «BOYMAN-AIR», позволяющей повысить пропускную способность взлетно-посадочной полосы аэропорта в условиях сезонного роста потока воздушных судов, за счет версии .net 6.0 языка программирования C#. «Программа ЭВМ «BOYMAN-AIR», позволяющая повысить пропускную эффективность взлетно-посадочной полосы аэропорта, позволяет повысить пропускную способность как взлетно-посадочных полос, так и скоростных взлетно-посадочных полос на основе разработанных нами методов. Данная программа сравнивает разницу количества самолетов при использовании обычных рулежных дорожек и рулежных дорожек, и представляет в графической и процентной форме. Для работы программы ЭВМ «BOYMAN-AIR» вводятся параметры аэропорта и самолета. Программа ЭВМ «BOYMAN-AIR» подготовлена в соответствии со всеми нормативными документами, применяемыми в сфере авиации.

На рисунке 3 в главном окне программы ЭВМ «BOYMAN-AIR», показана эффективность ВПП в процентах и количестве ВС для случая использования и не использования скоростных рулежных дорожек. На рисунке 4 представлено графическое представление эффективности пропускной способности ВПП для случая использования и не использования скоростных рулежных дорожек, в

разреze количества воздушных судов, для операции посадка за посадкой, и попеременной (смешанной) операции.

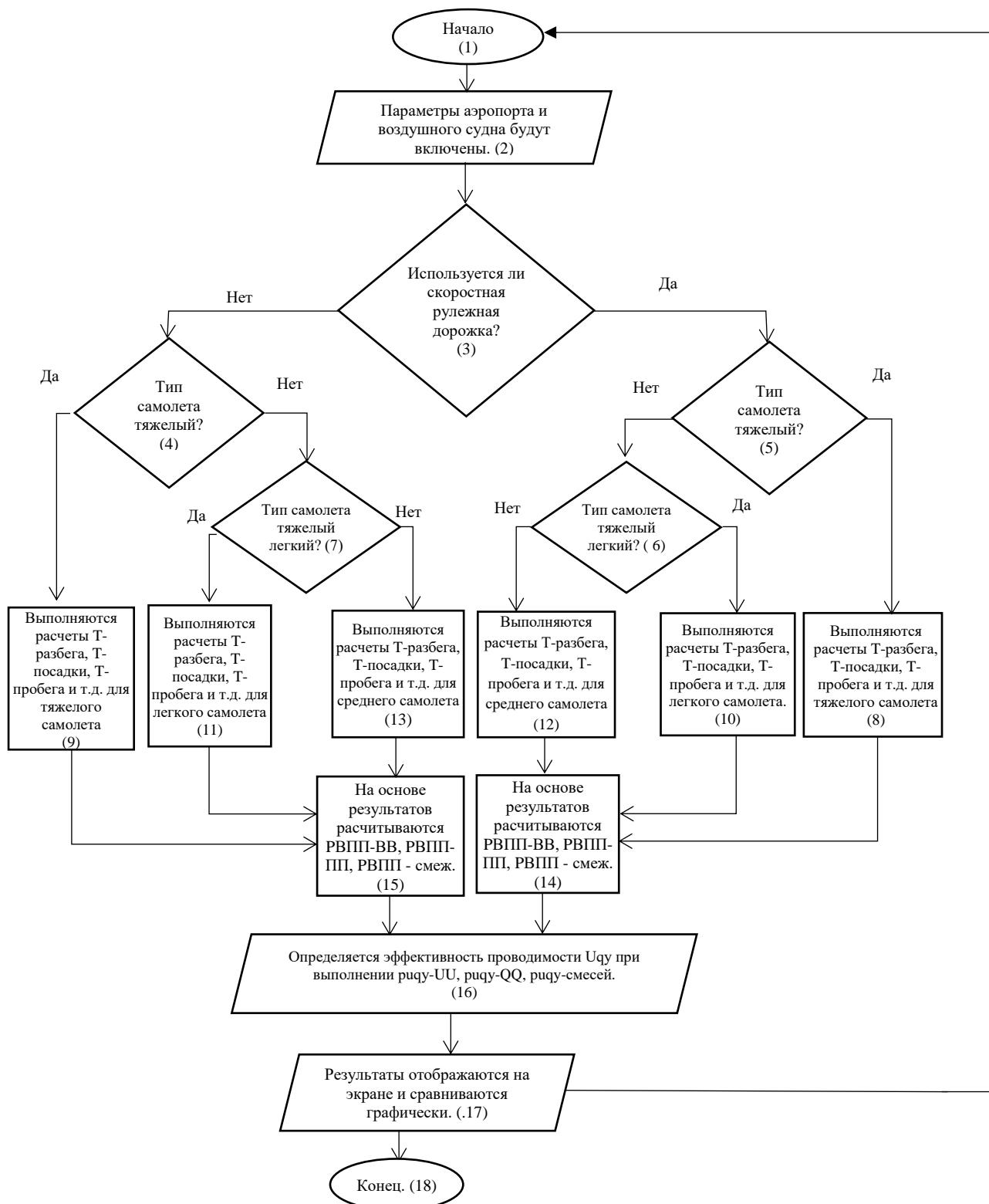


Рисунок 2. Алгоритм повышения пропускной способности взлетно-посадочной полосы аэродрома

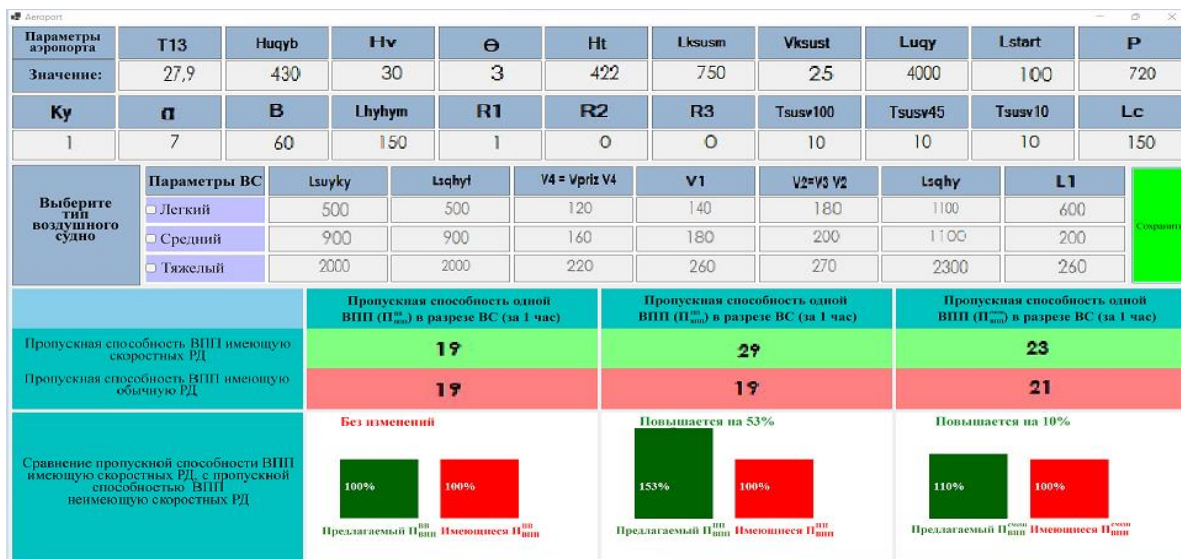


Рисунок 3. Главное окно программы экспозиции «BOYMAN-AIR»

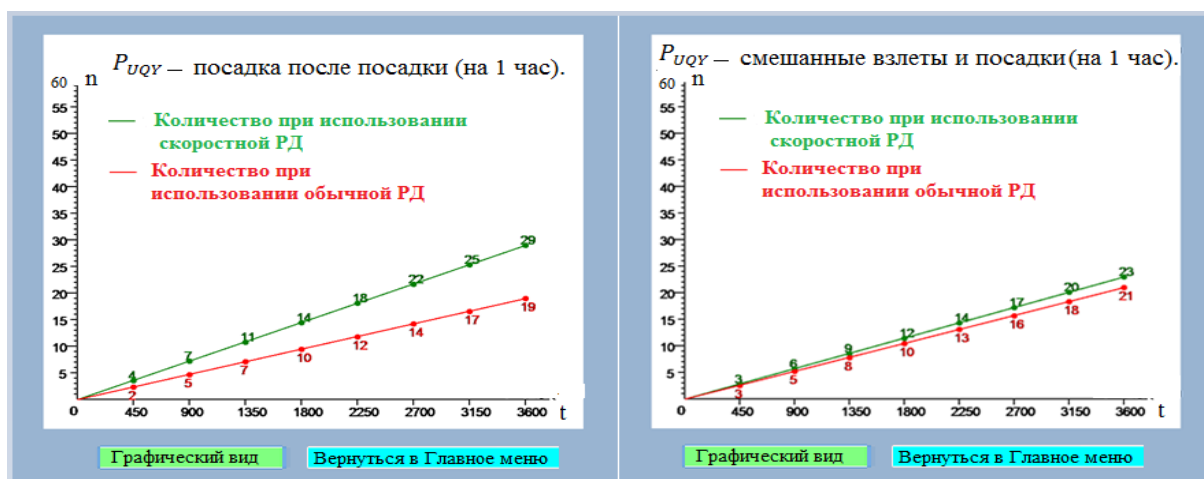


Рисунок 4. Графическое окно программы «BOYMAN-AIR»

Заключение. Создан метод повышения пропускной способности скоростных рулежных дорожек в целях повышения эффективности взлетно-посадочной полосы с учетом условий сезонного роста потока воздушных судов. В результате, было достигнуто повышение эффективности взлетно-посадочной полосы за счет эффективного использования скоростной рулежной дорожки в условиях сезонного роста потока воздушных судов.

Разработана математическая модель повышения эффективности пропускной способности взлетно-посадочной полосы с учетом последовательности выполнения полетов для уменьшения задержек воздушных судов на взлетно-посадочной полосе. В результате было достигнуто снижение задержек ВС на взлетно-посадочной полосе.

И. М. Сайдумаров, И. Ж. Бойманов

ЖОЛАУШЫЛАР АҒЫНЫНЫҢ МАУСЫМДЫҚ ӨСУІ ЖАҒДАЙЫНДА ӘУЕЖАЙЛАРДЫҢ ӨТКІЗУ ҚАБІЛЕТІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Жұмыста әуе кемелері ағынының маусымдық өсу жағдайларын ескере отырып, ұшу-қону жолағының тиімділігін арттыру мақсатында жоғары жылдамдықты таксомоторлық жолдардың өткізу қабілетін арттыру әдістемесі жасалды және алгоритм мен бағдарламалық қамтамасыз ету түріндегі құрал әзірленді.

Түйін сөздер: Аэродром, ұшу-қону жолағы, тиімділік, авиация, әуежай, ұшақ, өткізу қабілеті.

I.M.Saidumarov, I.Zh.Boatswain

MODELING AND OPTIMIZATION OF AIRPORT CAPACITY IN CONDITIONS OF SEASONAL PASSENGER TRAFFIC GROWTH

Abstract. The paper creates a method for increasing the capacity of high-speed taxiways in order to increase the efficiency of the runway, taking into account the conditions of seasonal growth in the flow of aircraft, and develops a tool in the form of an algorithm and a software package.

Keywords: Airfield, runway, efficiency, aviation, airport, aircraft, throughput.

Перечень использованной литературы

1. Статистика международного аэропорта Атланты Хартсфилд-Джексон. Проверено 15 февраля 2022 г.
2. Дж. Риссман, Сараванан Аруначалам, М. Вуди, Джейсон Уэст. Комплексный подход к характеристике воздействия авиационных выбросов на качество воздуха в международном аэропорту Атланты Хартсфилд–Джексон // Химия атмосферы и физические исследования. Проверено 15 февраля 2023 г. DOI:10.5194/acp-13-9285-2013.
3. Грегори Яблонски, Ричард Стекель, Денис Консталес, Джон Фарнан, Статистика задержек рейсов в международном аэропорту Атланты Хартсфилд-Джексон // Журнал управления авиакомпаниями и аэропортами. Проверено 12 марта 2022 г. DOI:10.3926/jairm.22.
4. Шамсиев 3.3. Цифровизация учебно-методического обеспечения подготовки авиационных диспетчеров. Международный журнал авиации, воздухоплавания и аэрокосмической промышленности (США). Международный журнал авиации, воздухоплавания и аэрокосмической промышленности. 2021, стр. 1-15.

5. Шамсиев З.З. Методология сближения программы обучения с профессиональной деятельностью авиационных специалистов. Международный журнал авиации, воздухоплавания и аэрокосмической промышленности (США). Международный журнал авиации, воздухоплавания и аэрокосмической промышленности. 2021, стр. 1-18.

References

1. Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport Statistics. Retrieved February 15, 2022.

2. J. Rissman, Saravanan Arunachalam, M. Woody, Jason West. A plume-in-grid approach to characterize air quality impacts of aircraft emissions at the Hartsfield–Jackson Atlanta International Airport// Atmospheric Chemistry and Physics. Retrieved February 15, 2023 DOI:[10.5194/acp-13-9285-2013](https://doi.org/10.5194/acp-13-9285-2013).

3. Gregory Yablonsky, Richard Steckel, Denis Constales, John Farnan, Flight delay performance at Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport // Journal of Airline and Airport Management. Retrieved March 12, 2022. DOI:[10.3926/jairm.22](https://doi.org/10.3926/jairm.22).

4. Z.Z. Shamsiyev. Digitalization of Educational and Methodological Support for the Training of Aviation Dispatchers. International Journal of Aviation, Aeronautics and Aerospace (USA). International Journal of Aviation, Aeronautics and Aerospace. 2021, PP. 1-15.

5. Z.Z. Shamsiyev. Methodology for Convergence of the Training Program with the Professional Activities of Aviation Specialists. International Journal of Aviation, Aeronautics and Aerospace (USA). International Journal of Aviation, Aeronautics and Aerospace. 2021, PP. 1-18.

Сайдумаров Илхомжан Миралимович	к.ф.-м. н., доцент кафедры «Системы аэронавигации» Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: saidilh@mail.ru
Бойманов Жураевич	Ислом PhD, ст.преп. кафедры «Системы аэронавигации» Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: juraevich.islom@mail.com

Сайдумаров Илхомжан Миралимович	ф.-м. ф. к., "Аэронавигация жүйесі" кафедрасының доценті Ташкент мемлекеттік көлік университеті E-mail: saidilh@mail.ru
Бойманов Жураевич	Ислом PhD, "Аэронавигация жүйелері" кафедрасының аға оқытушысы Ташкент мемлекеттік көлік университеті E-mail: juraevich.islom@mail.com

Saydumarov Ikhomzhan Miralimovich	Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of "Air Navigation Systems" Tashkent State Transport University E-mail: saidilh@mail.ru
Boymanov Islam Juraevich	PhD, Senior Lecturer at the Department of "Air Navigation Systems" Tashkent State Transport University E-mail: juraevich.islom@mail.com

=====

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР, АСПАП ЖАСАУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
COMPUTER SCIENCE, INSTRUMENTATION AND AUTOMATION

=====

IRSTI 73.37.17

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_7](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_7)

¹ R. Anayatova*, ¹ K. Koshekov

¹Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: r.anayatova@agakaz.kz

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE DEVELOPED METHOD FOR CLASSIFYING EMOTIONAL STATES THROUGH SPEECH SIGNALS

Abstract. *This study presents an innovative method for classifying emotional states through speech signals, leveraging advanced signal processing and machine learning techniques. The proposed method incorporates a multi-step approach, including feature extraction, selection, and classification. Initially, key acoustic features such as pitch, intensity, formants, and Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) are extracted from the speech signals. Subsequently, feature selection techniques are applied to identify the most relevant features for distinguishing different emotional states. The classification is performed using a combination of supervised learning algorithms, including support vector machines (SVM), random forests, and neural networks.*

To evaluate the effectiveness of the developed method, a comprehensive dataset comprising various emotional speech recordings was utilized. The dataset included diverse emotional states such as happiness, sadness, anger, fear, and neutrality. The performance of the classification models was assessed using standard metrics such as accuracy, precision, recall.

Experimental results demonstrated that the proposed method achieved a high accuracy rate, outperforming existing state-of-the-art techniques. The neural network model, in particular, showed superior performance in capturing the nuances of emotional expressions in speech. Additionally, the feature selection process significantly enhanced the model's efficiency by reducing computational complexity while maintaining high classification accuracy.

In conclusion, the developed method provides a robust and effective solution for classifying emotional states from speech signals, with potential applications in fields such as human-computer interaction, mental health monitoring, and affective

computing. Future work will focus on further refining the model by incorporating more diverse datasets and exploring real-time implementation possibilities.

Keywords: *emotional state classification, speech signal, feature extraction, machine learning, neural networks, human-computer interaction, affective computing, AI.*

Introduction. The ability to accurately classify emotional states from speech signals holds significant promise for a variety of applications, including human-computer interaction, mental health monitoring, and affective computing. Emotions play a crucial role in human communication, influencing both verbal and non-verbal behaviors. Understanding and interpreting these emotional cues can enhance the responsiveness and adaptability of systems interacting with humans.

Speech, as a primary mode of communication, carries rich emotional information through various acoustic features such as pitch, intensity, and rhythm. These features can be systematically analyzed to identify underlying emotional states. Traditional methods for emotion recognition have relied heavily on manual feature extraction and simplistic classification techniques, often resulting in limited accuracy and generalizability [1].

This research aims to develop and evaluate a comprehensive method for classifying emotional states from speech signals using advanced signal processing and machine learning techniques. By integrating robust feature extraction methods with state-of-the-art machine learning algorithms, this study seeks to improve the accuracy and efficiency of emotion classification systems.

The proposed method involves a multi-step process, beginning with the extraction of key acoustic features from speech signals. These features are then processed and selected for their relevance in distinguishing different emotional states. Various machine learning algorithms, including support vector machines (SVM), random forests, and neural networks, are employed to classify the emotions based on the selected features.

The effectiveness of the developed method is assessed using a diverse dataset of emotional speech recordings, encompassing a wide range of emotional expressions. The evaluation metrics include accuracy, precision, recall, and F1-score, providing a comprehensive assessment of the model's performance.

This introduction sets the stage for a detailed analysis of the proposed method, highlighting its potential to significantly advance the field of emotion recognition from speech. The subsequent sections will delve into the methodology, experimental results, and implications of the findings, paving the way for future research and practical applications.

Main part. 1. Comparison of the developed classification method with other machine learning algorithms

For a comparative assessment of the proposed classification method based on the use of two DCNNs, let us consider the performance of other CAL methods that have

proven themselves well in practice. For this, the following algorithms were investigated in the work:

- fully connected neural network [2, p. 117];
- logistic regression [3, p. 234];
- random forest [4];
- gradient boosting [5].

For these models, a vector of informative features *MFCC*, *melspec*, *delta*, *chroma* was used as input data. However, the values of the feature coefficients were averaged over the number of frames in the audio sample. As a result, the vector of features of objects becomes one-dimensional and contains 218 elements in its composition (39 coefficients of *MFCC*, 128 *melspec*, 39 *delta*, 12 *chroma*).

In the process of searching for the optimal parameters of these models, the following configurations of the CAL algorithms were found.

The structure of a fully connected neural network consists of four fully connected layers: an input layer with 218 neurons in accordance with the dimension of the input vector, 2 hidden by 512 neurons in each, and an output layer with seven neurons according to the number of classes. The output layer is a softmax classifier. Regularization layers are located between fully connected layers: in the first, every fourth block of input data is discarded, in the second and third, every second block. The nonlinearity ReLU (2) is used as the activation function of neurons. As an optimization method Adam algorithm is used. The categorical cross-entropy acts as an error function. The proportion of correct answers *acc* is taken as a quality metric when training a network on a training subset.

In the process of selecting the hyperparameters of algorithms for logistic regression, the degree of regularization was taken to be $L_2 = 10$. For the random forest model, the number of trees is set equal to $n_estimators = 300$. When implementing the gradient boosting algorithm, the number of trees was chosen equal to $n_estimators = 200$.

For fully connected neural network and logistic regression models, a standardized estimate is applied to the training data:

$$z_x = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}, \quad (1)$$

where x – the element of vector of informative features;

μ_x – the average of this element over all objects in the subsample;

σ_x – standard deviation of a given element for all objects in the subsample.

The described models were implemented and trained in Python 3.7 using the machine learning libraries Scikit-learn 0.23.1 [6] and Keras 2.3.1.

Table 3.5 shows the results of comparison of the proposed classifier model, based on DCNN, with other types of considered CAL models.

Table 1. Results of comparison of the proposed method of the classification of PES by speech signal with other types of CAL models

Metric type	Fully connected neural network	Logistic regression	Random forest	Gradient boosting	The proposed model of the classifier	The number of samples in the test subsample
Multi-class <i>acc</i>	0,8124	0,7494	0,8223	0,8377	0,9007	906
Average for classes <i>pre</i>	0,8223	0,7495	0,8272	0,8388	0,9017	906
Weighted average <i>pre</i>	0,8224	0,7515	0,8291	0,8402	0,9023	906
Average for classes <i>rec</i>	0,8105	0,7468	0,8199	0,8370	0,8996	906
Weighted average <i>rec</i>	0,8124	0,7494	0,8223	0,8377	0,9007	906
Average for classes <i>F1</i>	0,8106	0,7469	0,8207	0,8367	0,9001	906
Weighted average <i>F1</i>	0,8117	0,7492	0,8230	0,8378	0,9009	906

Figure 1. Presents the data from table 1 in the form of histograms.

As follows from the data obtained from the results of comparing the classifier models (table 1, figure 1), the proposed method for predicting the class of the speaker's emotional state by voice is superior to the rest of the considered CAL algorithms in all accepted types of metrics. The use of two DCNNs in the classifier model makes it possible to achieve 90% of accuracy on the test sample. The small scatter of parameters by types of metrics for the proposed classifier indicates the adequate operation of the model on seven accepted types of PES of a person. The developed classification method outperforms such effective CAL algorithms as gradient boosting and random forest in terms of performance [7].

The obtained results indicate a correctly chosen approach in the design and selection of informative features. The proposed method for detecting PES from a speech signal avoids the need to recognize said phrases in the analysis process, which greatly simplifies the classification procedure. The model uses only acoustic data for prediction. At the output of the model, the probabilities of the sample belonging to each

of the seven classes are generated. On the basis of this, it is possible to build a fuzzy logic of the operation of automatic systems for monitoring the state of a person [8].

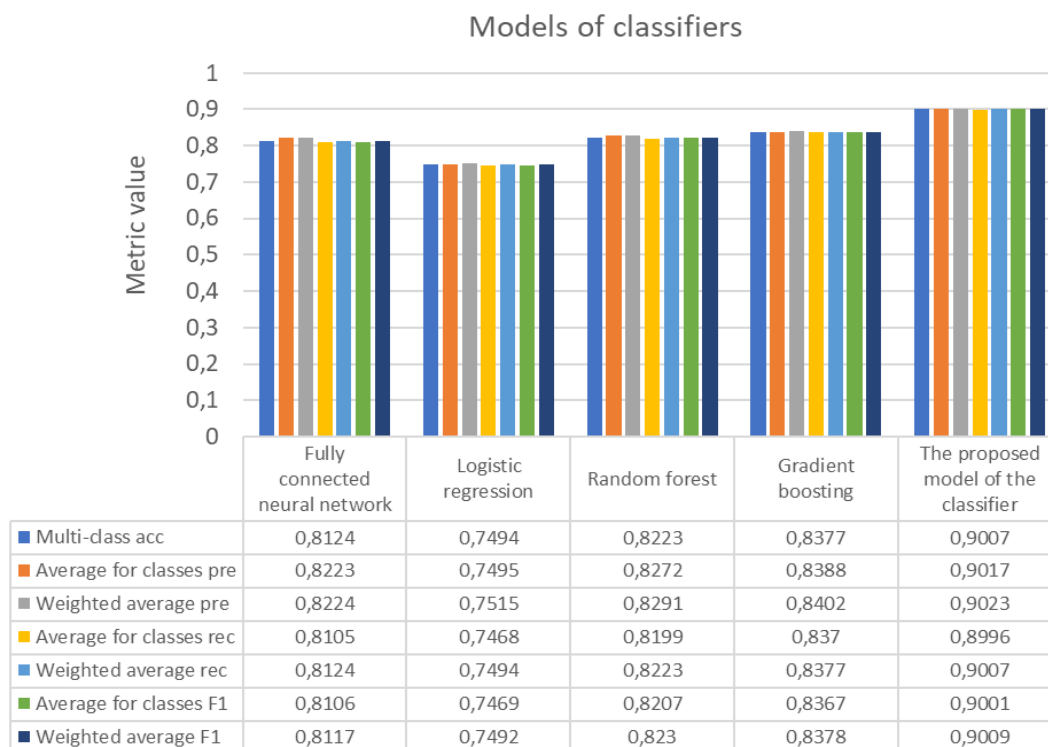


Figure 1. Results of comparison of the proposed model of the classifier of the emotional state by the speech signal with other algorithms of the CAL

2. Comparison of the proposed classification model with other studies in the field

To compare the proposed method of the recognition of PES by speech signal with the research results obtained by other authors, the available sources of information in this area were analyzed. First of all, it was found that a large number of works are devoted to solving the problem of recognition of PES based on complex information about acoustic and linguistic speech data. This approach requires the existence of a special effective language model [9], which in turn significantly complicates the classification process. Moreover, it can be expected that when using aviation English with specific phraseology of radio communication, the existing language models will be ineffective. In this regard, in order to compare the research results, the classification quality metrics obtained only from the acoustic data of the speech signal were analyzed.

In addition, significant difficulties in comparing research results arise due to the use by the authors of different databases in different languages and with a different number of types of allocated PES [10].

In accordance with this, table 2 presents the results of the analysis performed comparing the quality of the classification obtained in this work, and in studies with the closest characteristics of the data used and the requirements for the results.

Table 2. The comparative analysis of the quality of the classification of the emotional state by the speech signal, obtained in this work and the similar studies

A source	Classification methods	Database	Quality metrics in %
B. Schuller et al	Gaussian Mix Model (GMM), k-Means, Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP)	B. Schuller et al.	Share of correct answers $acc = 74,2\%$
C. Lee, S. Narayanan	Evaluation of the emotional weight	Private database	Classification error $err = 1 - acc.$ $err = 17,85\% - 25,45\%$ for men; $err = 12,04\% - 24,25\%$ for women.
H. Goetal	Wavelet analysis, linear discriminant analysis	Private database	Accuracy $pre = 57\% - 93,3\%$ for men; $pre = 68\% - 93,3\%$ for women.
M.M.H. El Ayadi et al	Gaussian mixture of vector autoregressive model (GMVAR)	F. Burkhardt et al	$acc = 76\%$
B. Schuller et al	Hidden Markov Model (HMM)	Private database	$acc = 86,8\%$
Javier Getal	MLP, decision trees	O. Martin et al	$acc = 96,97\%$
This work	DCNN	RAVDESS; SAVEE; TESS	$acc = 90,07\%$, $pre = 90.17\%$
Note – Compiled from sources [8-15]			

The data in Table 2 shows that the method of proposed classification outperforms most of the known models of detection the PES from a speech signal. Moreover, in [11, 12], the share of correct answers is 96.97%, which is 6.9% higher than the results of this study. However, it should be noted that the classification by the base [13, p. 1 - 8] in the work [14, p. 20-27] was produced only for 6 types of PES without determining the neutral state. Also, in the work [14, p. 21], 264 samples of audio signals extracted from video recordings were used for the study, with one utterance for each emotion. For these reasons, it can be assumed that there is insufficient generalizing ability of those proposed in the study [14, p. 20-27] of classification algorithms.

In turn, the developed classifier based on DCNN was trained immediately on data from three different emotional corpuses (table 2), which significantly increases the generalizing ability of the final model.

Thus, based on the comparative analysis of the developed model of the speaker-independent classifier of the emotional state of a person based on his speech signal with other intelligent algorithms of CAL and proposed methods in the works of other researchers, it can be argued that the use of two DCNNs trained on the signs of mel-frequency cepstral coefficients and mel-spectrograms, is an effective solution. Moreover, the proposed classification method makes it possible to obtain a high quality of automatic detection of PES only from the acoustic data of the speech signal [12, 15].

Conclusions. Modern technologies of data mining make it possible to achieve high quality results in the tasks of automatically extracting useful information from various kinds of features of the objects under study. The use of deep learning technologies in the form of artificial convolutional neural networks opens up new possibilities for analyzing data of a two-dimensional structure. In particular, informative features of a speech signal have such a dimension when performing its short-term analysis to obtain mel-spectrograms, mel-frequency cepstral coefficients, and differential parameters of chalk-frequency cepstral coefficients and pitch classes.

The proposed DCNN architecture and the algorithm for its training on the selected informative features allow one to obtain high results in the classification of the emotional state of a person for seven classes of objects only on the basis of the acoustic data of the studied samples. The classifier model based on DCNN of the proposed architecture allows obtaining the best results of classification when training it on informative features in the form of mel-frequency cepstral coefficients. In this case, the result of the classification is considered as independent of the speaker, since data from three different emotional corpuses are used to train the neural network [15].

To improve the parameters of classification of PES, a method is proposed that combines the classification results from two DCNNs trained on different types of informative features: mel-spectrograms and mel-frequency cepstral coefficients. As a result, the result of classification of PES is formed in the form of the average value of the probabilities of belonging of the studied sample to each of the seven classes of PES predicted by each neural network. With this approach to solving the problem of classification of PES, it is possible to achieve a multiclass fraction of correct answers equal to 0.9007 on a deferred test subsample.

During the analysis of the results obtained, it was found that the calculated indicators of the classification quality according to the proposed method are superior to the results for other effective CAL algorithms, such as a random forest, a fully connected neural network, gradient boosting, etc. An analysis of sources based on similar studies also shows that when using only acoustic information of a speech signal to recognize seven types of PES, the proposed method surpasses the existing models in terms of quality metrics.

Р.К.Анаятова, К.Т.Кошеков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПО РЕЧЕВЫМ СИГНАЛАМ

Аннотация. В данном исследовании представлен инновационный метод классификации эмоциональных состояний по речевым сигналам, использующий передовые технологии обработки сигналов и машинного обучения. Предлагаемый метод включает в себя многоступенчатый подход, включающий извлечение, выбор и классификацию признаков. Сначала из речевых сигналов извлекаются ключевые акустические признаки, такие как высота тона, интенсивность, форманты и частотно-мелодические кепстральные коэффициенты (MFCC). Затем применяются методы отбора признаков, чтобы определить наиболее значимые признаки для различения различных эмоциональных состояний. Классификация осуществляется с помощью комбинации алгоритмов контролируемого обучения, включая машины опорных векторов (SVM), искусственного интеллекта и нейронные сети.

Для оценки эффективности разработанного метода был использован обширный набор данных, включающий различные записи эмоциональной речи. Набор данных включал в себя различные эмоциональные состояния, такие как счастье, печаль, гнев, страх и нейтралитет. Производительность моделей классификации оценивалась с помощью стандартных показателей, таких как точность.

В заключение следует отметить, что разработанный метод представляет собой надежное и эффективное решение для классификации эмоциональных состояний по речевым сигналам, имеющее потенциальное применение в таких областях, как взаимодействие человека и компьютера, мониторинг психического здоровья и аффективные вычисления. Будущая работа будет направлена на дальнейшее совершенствование модели путем включения более разнообразных наборов данных и изучения возможностей реализации в реальном времени.

Ключевые слова: классификация эмоционального состояния, речевой сигнал, извлечение признаков, машинное обучение, нейронные сети, человеко-компьютерное взаимодействие, эмоциональное вычисления, ИИ.

Р.К.Анаятова, К.Т.Кошеков

СӨЙЛЕУ СИГНАЛДАРЫ БОЙЫНША ЭМОЦИОНАЛДЫ КҮЙЛЕРДІ ЖІКТЕУДІҢ ӘЗІРЛЕНГЕН ӘДІСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде эмоционалды күйлерді сөйлеу сигналдары бойынша жіктеудің инновациялық әдісі ұсынылған, ол сигналдарды өңдеу мен машиналық оқытудың озық технологияларын қолданады. Ұсынылған әдіс белгілерді алуды, таңдауды және жіктеуді қамтитын көп сатылы тәсілді қамтиды. Алдымен сөйлеу сигналдарынан биіктік, қарқындылық, форманттар және жиілік-әуезді кепстральды коэффициенттер (MFCC) сияқты негізгі акустикалық белгілер алынады. Содан кейін әртүрлі эмоционалды күйлерді ажырату үшін ең маңызды белгілерді анықтау үшін белгілерді таңдау әдістері қолданылады. Жіктеу бақыланатын оқыту алгоритмдерінің, соның ішінде тірек векторлық машиналардың (SVM), жасанды интеллект және нейрондық желілердің тіркесімі арқылы жүзеге асырылады.

Әзірленген әдістің тиімділігін бағалау үшін эмоционалды сөйлеудің әртүрлі жазбаларын қамтитын кең деректер жиынтығы қолданылды. Деректер жиынтығы бақыт, қайғы, ашу, қорқыныш және бейтараптық сияқты әртүрлі эмоционалды күйлерді қамтыды. Жіктеу модельдерінің өнімділігі дәлдік сияқты стандартты көрсеткіштермен бағаланды.

Түйін сөздер: эмоционалды күйдің жіктелуі, сөйлеу сигналы, белгілерді шығару, машиналық оқыту, нейрондық желілер, адам-компьютерлік өзара әрекеттесу, эмоционалды есептеу, ЖИ.

References

1. Ainakulov Z, Koshekov K, Savostin A, Anayatova R, Seidakhmetov B, Kurmankulova G (2023) Development of an advanced ai-based model for human psychoemotional state analysis. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6, 4(126), 39-49.
2. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. Deep learning. – SPb.: Peter, 2018. – 480 p.
3. Flach P. Machine learning. Science and art of building algorithms that extract knowledge from data / transl. from english A.A. Slinkina. – M.: DMK Press, 2015. – 400 p.
4. Leo B. Random Forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45(1). – P. 5-32.
5. Friedman J.H. Stochastic Gradient Boosting // Computational Statistics and Data Analysis. – 1999. – Vol. 38. – P. 367-378.
6. Scikit-learn // <https://scikit-learn.org/stable/>. 21.09.2020.

7. Ayadi E, Kamel M, Karray F (2007) Speech emotion recognition using Gaussian mixture vector autoregressive models. In: Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference, 4, 957–960.

8. Schuller B, Rigoll G, Lang M (2004) Speech emotion recognition combining acoustic features and linguistic information in a hybrid support vector machine-belief network architecture. In: Proceedings of the ICASSP 2004, 1, 577–580.

9. Schuller B (2002) Towards intuitive speech interaction by the integration of emotional aspects. In: 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 6.

10. Lee C, Narayanan S (2005) Toward detecting emotions in spoken dialogues. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 13(2), 293-303.

11. Go H, Kwak K, Lee D, Chun M (2003) Emotion recognition from the facial image and speech signal. In: Proceedings of the IEEE SICE 2003, 3, 2890–2895.

12. Koshekov K, Savostin A, Seidakhmetov B, Anayatova R, Fedorov I (2021). Aviation Profiling Method Based on Deep Learning Technology for Emotion Recognition by Speech Signal. Transport and Telecommunication, 22(4), 471-481.

13. Burkhardt F, Paeschke A, Rolfes M, Sendlmeier W, Weiss B (2005) A database of German emotional speech. In: Eurospeech, 9th European Conference on Speech Communication and Technology, 1517–1520. 14. Javier G., Sundgren D. et al. Speech emotion recognition in emotional feedback for Human-Robot Interaction // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 4, №2. – P. 20-27.

15. Martin O, Kotsia I, Macq B, Pitas I (2006) The eNTERFACE'05 Audio-Visual Emotion Database. In: Data Engineering Workshops, Proceedings. 22nd International Conference.

Анаятова Разиям Курванжановна	Доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор кафедры «Авиационная техника и технологии» Академия Гражданской Авиации, г. Алматы, 050039, РК, e-mail: r.anayatova@agakaz.kz
Анаятова Разиям Курванжановна	Философия докторы (Ph.D), Авиациялық техника және технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Азаматтық Авиация Академиясы, Алматы қаласы, 050039, ҚР, e-mail: r.anayatova@agakaz.kz
Raziyam Anayatova	Ph. D, Associate professor of Aviation Engineering and Technology Department, Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, e-mail: r.anayatova@agakaz.kz
Кошеков Кайрат Темирбаевич	д.т.н., профессор кафедры «Авиационная техника и технологии» Академия Гражданской Авиации, г. Алматы, 050039, РК, e-mail: k.koshekov@agakaz.kz
Кошеков Кайрат Темирбаевич	т.ғ.д., Авиациялық техника және технологиялар кафедрасының профессоры, Азаматтық Авиация Академиясы, Алматы қаласы, 050039, ҚР, e-mail: k.koshekov@agakaz.kz
Kairat Koshekov	Doctor of engineering, Professor of Aviation Engineering and Technology Department, Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, e-mail: k.koshekov@agakaz.kz

GTAXP 28.15.19

[https://doi.org 10.53364/24138614_2024_33_2_8](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_33_2_8)¹Ш.Қ. Әкімбай*

Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан

*E-mail: akimbay.sh@gmail.com

АВТОМОБИЛЬДІ НЕЙТРАЛИЗАТОРДА ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРДЫ ТАЗАЛАУ КЕЗІНДЕ ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСТЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Қазақстанда жыл сайын шамамен 5-7 миллион тонна ластаушы заттар түзіледі, оның шамамен үштен бірі көлікпен байланысты. Сонымен қатар, Қазақстанның қалалық су алаптарындағы атмосфералық ауаның ластануы металлургиялық, мұнай өңдеуші және химия өнеркәсібі кәсіпорындарының, көлік құралдары мен теміржол көлігінің ластаушы заттардың шығарындыларынан туындайды. Көлік құралдары шығаратын улы заттар жердің атмосферасына, су айдындарына, топырақ пен биосфераға кері әсерін тигізеді. Қазіргі уақытта автомобиль қозғалтқышы бір килограмм бензинді жағу кезінде шамамен 3 кг атмосфералық оттегін жұмсайды. Әрбір автомобиль сағатына 60 м³ газ бөлсе, жүк көлігі 120 м³ газды бөледі. Бұл заттар тірі организмдер үшін өте қауіпті және мәселенің шешімі бола алады.

Бұл жұмыстың мақсаты қазіргі заманғы бағдарламалау тілдері мен соңғы есептеу технологияларын пайдалана отырып, автомобиль бейтараптандырғыштарындағы тасымалдау процестерін математикалық және сандық модельдеу болып табылады. Мұндай мәселелерді шешу көліктердің пайдаланылған газдар мәселесін шешуге ерекше үлес қосады. Пайдаланылған газдарды тазарту міндеті автомобиль конвертерлеріндегі пайдаланылған газдардың каталитикалық тотығуын зерттеу болып табылады. Математикалық модель – дифференциалдық теңдеулер жүйесі. Бұл теңдеулер жүйесі автомобиль түрлендіргішіндегі компьютердің көмегімен шешіледі.

Түйін сөздер: қоршаған ортаны қорғау, пайдаланылған газдар, бейтараптандырғыш, жылу және масса алмасу, сандық әдіс.

Кіріспе. Автомобиль көлігі ауаны ластайтын негізгі көздердің бірі болып табылады. Автомобиль көлігі дамыған елдер арасында бірінші орында. Дегенмен, автоматтандырудың жылдамдығы мен көлемінің артуы осы процестің экологиялық және әлеуметтік осалдығына байланысты бірқатар маңызды сұрақтарды тудырады. Жыл сайын Қазақстанның ауасы шамамен 5-7 миллион

тонна зиянды заттармен ластанады, оның үштен біріне жуығы автокөліктерден келеді. Металлургия, мұнай өңдеу, химия өнеркәсібі, автомобиль және темір жол көлігінің ластануы да Қазақстан қалаларының ауа бассейнін шектен тыс лаптауда. Көлік құралдары шығаратын улы заттар жердің атмосферасына, суына, топырағы мен биосферасына кері әсерін тигізеді. Қазіргі уақытта автокөлік қозғалтқышы жанған әрбір килограмм бензинге шамамен 3 кг атмосфералық оттегін жұмсайды. Бұл заттар тірі организмдер үшін өте қауіпті. Олардың көпшілігінде органикалық және бейорганикалық заттар, хлоридтер, улы және улы емес компоненттері бар газдар, автомобильдерді пайдалану және өндіру қалдықтары, мұнай өнімдері мен шандар бар. Осылайша, қозғалыс қарқындылығының жоғарылауымен қоршаған ортаға зиянды компоненттер үнемі жиналып, олардың әсерін арттырады. Мотор майының жану өнімдері жер бетінде жиналып, бүкіл аймаққа таралып, адамның тыныс алу жолдарына түседі. Пайдаланылған газдардың төмен уыттылығын қамтамасыз ету өте күрделі міндет болып табылады. Ол үшін өнеркәсіптік кәсіпорындар мен жол қозғалысын бақылау қызметтерінің бірлескен күшін жұмылдыру қажет.

Ластануды азайтудың бастапқы нүктесі қозғалтқыштың техникалық жағдайы болып табылады. Сенімді қозғалтқыштар отынды аз тұтынады және ауаның ластануын азайтады. Дегенмен, жанармай мен қосылу жүйелерінің тұрақтылығына да назар аудару керек.

Қазіргі уақытта жану жүйесін жетілдіру, қозғалтқыш цилиндріндегі отын айналымын өзгерту, қосымша қондырғыларды орнату және пайдаланылған газдардағы зиянды бөлшектердің мөлшерін азайту арқылы қозғалтқыштарды жетілдіру бойынша зерттеулер мен тәжірибелер жүргізілуде. Осыған байланысты жоғары тұрақтылықпен және жоғары тұтану жылдамдығымен сипатталатын электронды тұтануды пайдалану қажет.

Қозғалтқыш конструкциясында, жұмыс процестерінде, өндіріс технологиясы мен іштен жанатын қозғалтқыш жүйесінде арнайы түзетулер мен өзгертулер; отынның әртүрлі түрлерін пайдалану немесе отын материалдарының физикалық-химиялық қасиеттерінің өзгеруі; пайдаланылған газдарды зиянды компоненттерден тазарту; улылығы аз қозғалтқыштармен ауыстыру.

Жоғарыда аталған барлық құрылымдық реформалардың оң жақтарын ескерсек те, мәселені тиімді шешу мүмкін емес екенін мойындау керек. Сондықтан улы газдарды тазарту үшін әртүрлі бейтараптандырғыштарды қолдану өте маңызды.

Бейтараптандырғыштар – жанғыш материалдарды жағу және азотты, азот оксидтерін және оттегі оксидтерін бөлу арқылы пайдаланылған газдардың уыттылығын төмендетуге арналған шағын реакторлар [1]. Түрлендіргіштер термиялық, каталитикалық, сұйық, механикалық немесе аралас болуы мүмкін. Көмірқышқыл газының көмірқышқыл газына термоэлектрлік айналу процесі қанықпаған көмірсутектер мен альдегидтердің цилиндрде жануын қамтиды.

Тотығу температурасы 500-6000°C-қа жетеді, ал көмірсутектер мен көмірқышқыл газы екі-үш есе азаяды [2].

1. Негізгі бөлім. Есептің қойылымы және математикалық моделі

Автомобильдік бейтараптандырғыштағы жылу және масса алмасу процестерін сипаттайтын температура мен концентрацияның жартылай туындылардағы стационарлық емес теңдеулер жүйесі қарастырылады:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{U}{\varepsilon} \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{U}{\varepsilon} \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \rho \beta a C \end{cases} \quad (1)$$

T – температура, C – концентрация, a – жылу өткізгіштік коэффициенті, ρ – тығыздығы, ε - кеуекті орталардың сипаттамасы

$$Q = q \rho \beta a C$$

Бастапқы шарттар:

$$T|_{t=0} = 0$$

$$C|_{t=0} = 1$$

Шекаралық шарттар:

$$T|_{x=0} = 1$$

$$C|_{x=0} = 1$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}|_{x=L} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}|_{x=L} = 0$$

2. Есепті шешу әдісі және сандық модельдеу

Теңдеулер жүйесін итерациялық әдіспен сандық шешу үшін айқын схема қолданылады:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} + \frac{U}{\varepsilon} \frac{C_{i+1}^n - C_{i-1}^n}{2\Delta x} = D \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{\Delta x^2} - \rho \beta a C_i^n$$

$$C_i^{n+1} = C_i^n + \Delta t \left\{ D \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{\Delta x^2} - \rho \beta a C_i^n - \frac{U}{\varepsilon} \frac{C_{i+1}^n - C_{i-1}^n}{2\Delta x} \right\}$$

$$i = \overline{1, L-1}$$

$C_i^n = 1$ - концентрация теңдеуінің бастапқы шарты

$$C_i^n = 1$$

$C_0^{n+1} = 1$ - бірінші шекаралық шарт.

$$\frac{C_L^{n+1} - C_{L-1}^{n+1}}{\Delta x} = 0$$

$C_L^{n+1} = C_{L-1}^{n+1}$ - екінші шекаралық шарт.

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} + \frac{U}{\varepsilon} \frac{T_{i+1}^n - T_{i-1}^n}{2\Delta x} = a \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2} + q\rho\beta a C$$

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \Delta t \left\{ a \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2} + q\rho\beta a C - \frac{U}{\varepsilon} \frac{T_{i+1}^n - T_{i-1}^n}{2\Delta x} \right\}$$

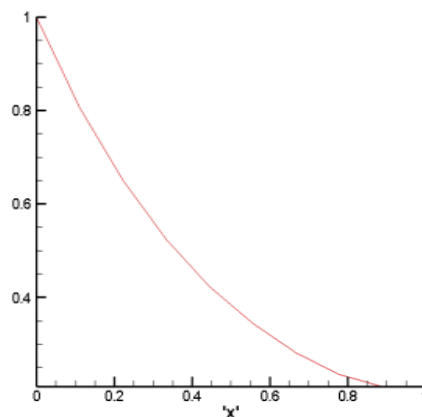
$$i = \overline{1, L-1}$$

$T_i^n = 0$ - температура теңдеуінің бастапқы шарты

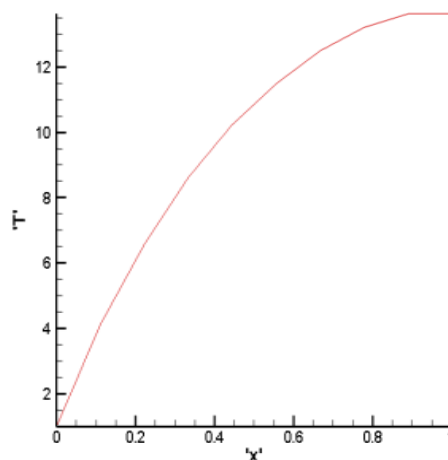
$$T_0^{n+1} = 1$$

$$\frac{T_L^{n+1} - T_{L-1}^{n+1}}{\Delta x} = 0$$

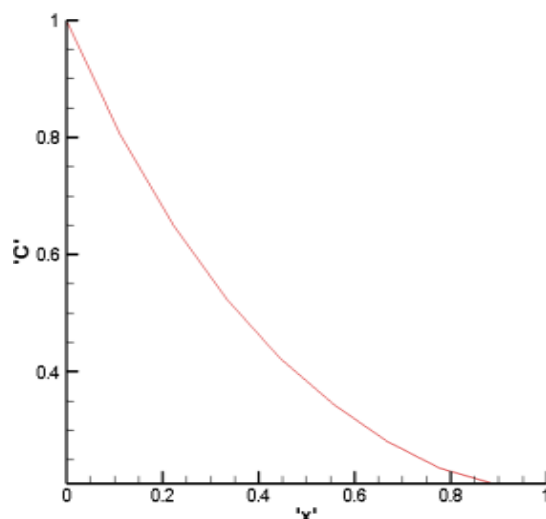
3. Сандық модельдеу нәтижелері



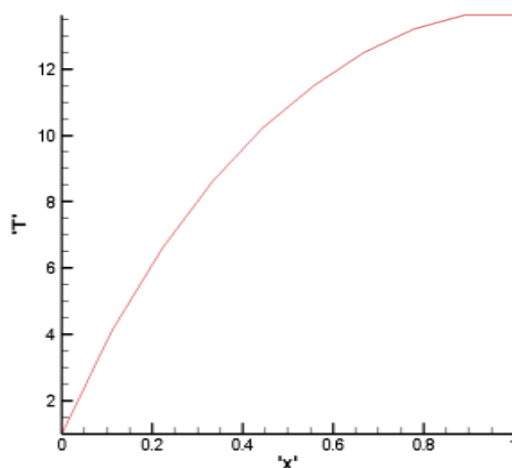
Сурет 1. Концентрация профілі (айқын схема, итерациялық әдіс)



Сурет 2. Температура профілі (айқын схема, итерациялық әдіс)



Сурет 3. Концентрация профилі (айқын емес схема, прогонка әдісі)



Сурет 4. Температура профилі (айқын емес схема, прогонка әдісі)

Қорытынды. Адамның қалыпты ортасын құру және қолайсыз антропогендік әсерлердің алдын алу үшін қоршаған орта сапасының стандарттары негізінде шешімдер қабылданатындай елде қалыпты экологиялық жағдайды қамтамасыз ету қажет.

Бұл жұмыста автомобильдердің шығарындыларын тазалау процестерін математикалық және сандық модельдеу, C++ бағдарламалау тілінде есептеу алгоритмдері мен программалық кодтарды құру және өңдеу жүзеге асырылды.

Жұмыстың нәтижесі газды тазалау процесін барынша анық сипаттайтын C++ бағдарламалау тілінде жазылған программалық код болып табылады. Барлық модульдер бір ортада түзетіледі, құрастырылады және жүзеге асырылады.

Берілген синхронды теңдеулердің сандық шешімі C++ программалау тілінде жүзеге асырылды, ал нәтижелер TECPLOT графикалық редакторында алынды [3 - 5].

Ш.К. Акимбай

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИ ОЧИСТКЕ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В АВТОМОБИЛЬНОМ НЕЙТРАЛИЗАТОРЕ

Аннотация. Ежегодно в Казахстане образуется около 5-7 миллионов тонн загрязняющих веществ, примерно одна треть которых связана с транспортом. Кроме того, загрязнение воздуха на городских водосборах Казахстана обусловлено выбросами загрязняющих веществ от металлургических, нефтеперерабатывающих и химических предприятий, автотранспорта и железнодорожного транспорта. Токсичные вещества, выбрасываемые автотранспортом, оказывают негативное воздействие на атмосферу, водоемы, почву и биосферу Земли. В настоящее время автомобильный двигатель при сгорании одного килолитра бензина потребляет около 3 кг атмосферного кислорода. Каждый автомобиль выбрасывает 60 м³ газа в час, а каждый грузовой транспорт - 120 м³. Эти вещества очень опасны для живых организмов и могут стать решением проблемы.

Целью данной работы является математическое и численное моделирование процессов переноса в автомобильных нейтрализаторах с использованием современных языков программирования и новейших вычислительных технологий. Решение подобных задач вносит особый вклад в решение проблемы выхлопных газов автомобилей. Задача очистки выхлопных газов заключается в исследовании каталитического окисления выхлопных газов в автомобильных нейтрализаторах. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений. Эта система уравнений решается с помощью компьютера в автомобильном нейтрализаторе.

Ключевые слова: нейтрализатор, каталитический нейтрализатор, итерационный метод, метод прогонки.

Sh.K.Akimbay

MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELING OF TRANSFER PROCESSES IN THE CLEANING OF EXHAUST GASES IN AN AUTOMOBILE NEUTRALIZER

Abstract. Annually, Kazakhstan generates about 5-7 million tons of pollutants, about one third of which are related to transport. In addition, air pollution in urban catchments of Kazakhstan is caused by pollutant emissions from metallurgical, oil refining and chemical enterprises, motor vehicles and railway transport. Toxic substances emitted by motor vehicles have a negative impact on the atmosphere, water bodies, soil and the Earth's biosphere. Currently, a car engine consumes about 3 kg of

atmospheric oxygen when burning one kiloliter of gasoline. Each car emits 60 m³ of gas per hour, and each truck - 120 m³. These substances are very dangerous for living organisms and can be a solution to the problem.

The purpose of this work is mathematical and numerical modeling of transfer processes in automobile neutralizers using modern programming languages and the latest computational technologies. The solution of such problems makes a special contribution to the problem of automobile exhaust gases. The task of exhaust gas treatment is to study the catalytic oxidation of exhaust gases in automobile neutralizers. The mathematical model is a system of differential equations. This system of equations is solved using a computer in an automotive neutralizer.

Key words: *protection of the environment, exhaust gases, neutralizer, heat and mass transfer, numerical method.*

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Ершин Ш.А., Балакаева Г.Т., Жапбасбаев У.К. Теория и расчет аппаратов каталитической очистки. – Алматы: КазГУ, 1997. – 227 с.
2. Попова Н.М. Катализаторы очистки выхлопных газов автотранспорта. – Алма-Ата: Наука, 1987. - 224 с.
3. Балакаева Г.Т. и др. Прикладная информатика – Алматы, «Қазақ университеті», 2006, - 298 стр.
4. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1986. – 288 с
5. P.A. Lee, C. Phillips The Apprentice C++ Programmer. Tomson Computer Press, 1999
6. Tecplot руководство // Tecplot Focus [Электронный ресурс]. URL: <http://jamesettsherman.blogas.lt/tecplot-руководство-61.html>

References

1. Ershin Sh.A., Balakaeva G.T., Japbasbaev U.K. Teoriya i raschet apparatov kataliticheskoi ochistki. –Almaty: KazGU, 1997. –227 s.
2. Popova N.M. Katalizatory ochistki vyhlopyh gazov avtotransporta. –Alma-Ata: Nauka, 1987. -224 s.
3. Balakaeva G.T. i dr. Prikladnaya informatika – Almaty, «Qazaq universiteti», 2006, - 298 str.
4. Ortega Dj., Pyl U. Vvedenie v chislennye metody resheniya differentsialnyh uravneniy. – M.: Nauka, 1986. – 288 s
5. P.A. Lee, C. Phillips The Apprentice C++ Programmer. Tomson Computer Press, 1999
6. Tecplot rukovodstvo // Tecplot Focus [Elektronnyy resurs]. URL: <http://jamesettsherman.blogas.lt/tecplot-rukovodstvo-61.html>

Әкімбай Шырын Қадылқызы	Магистр естественных наук, сениор лектор, Академия Гражданской Авиации, г. Алматы, 050039, РК, E-mail: akimbay.sh@gmail.com
Әкімбай Шырын Қадылқызы	Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, сениор лектор, Азаматтық Авиация Академиясы, Алматы қаласы, 050039, ҚР, E-mail: akimbay.sh@gmail.com
Akimbay Shyryn	Master of Science, Senior Lecturer, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, E-mail: akimbay.sh@gmail.com

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alekseyev Roman - student, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk, 220096, Republic of Belarus, E-mail: alex_r84@inbox.ru;

Alekseyeva Mariya - senior lecturer, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk, 220096, Republic of Belarus, E-mail: mariaalex.2017@mail.ru;

Yunus Karimov - Lead Engineer, Master. Head of Department at National Aviation Academy, Baku "Silk Way Technics" branch of Silk Way West Airlines, Baku, E-mail: ykarimoov@gmail.com;

Islam Isgandarov - PhD, professor Head of Department at National Aviation Academy, Bak, E-mail: islam.nus@mail.ru;

Bimagambetov Mahmediyar - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.bimagambetov@agakaz.kz;

Moldabekov Aidos - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Aviation Engineering and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.moldabekov@agakaz.kz;

Zhumadilov Jandos - doctoral student of the department "Aviation equipment and technologies"; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhandos.zhumadilov@agakaz.kz;

Azelkhanova Zhanar - sir lecturer of the department "Aviation equipment and technologies"; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh.azelkhanova@agakaz.kz;

Karipbayev Saliakyn - Candidate of Technical Sciences, Doctor of PhD, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: s.karipbayev@agakaz.kz;

Makarov Vadim - Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russian Federation, E-mail: makfone@mail.ru;

Akylbekova Gulayim - Student of the Kyrgyz Aviation Institute, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: gulayimakylbekova@gmail.com;

Saydumarov Ilkhomzhan - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of "Air Navigation Systems", Tashkent State Transport University E-mail: saidilh@mail.ru;

Boymanov Islam - PhD, Senior Lecturer at the Department of "Air Navigation Systems" Tashkent State Transport University E-mail: juraevich.islom@mail.com;

Kairat Koshekov - Doctor of engineering, Professor of Aviation Engineering and Technology Department, Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, e-mail: k.koshekov@agakaz.kz;

Raziyam Anayatova - Ph. D, Associate professor of Aviation Engineering and Technology Department, Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, e-mail: r.anayatova@agakaz.kz;

Akimbay Shyryn - Master of Science, Senior Lecturer, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, E-mail: akimbay.sh@gmail.com

"АЗАМАТТЫҚ АВИАЦИЯ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ ЖАРШЫСЫ"
ғылыми журналда жарияланатын ғылыми мақалалар қабылдау үшін
АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ЕРЕЖЕЛЕР

"ААА Жаршысы" журналы төмендегі бағыттар бойынша диссертациялардың негізгі нәтижелерін жариялау үшін басылымдар тізіміне енгізілген:

- *Әуе көлігі және технологиялар*
- *Логистика, тасымалдауды ұйымдастыру, көліктегі қауіпсіздік*
- *Компьютерлік ғылымдар, аспап жасау және автоматтандыру*

МАҚАЛАНЫ РЕСІМДЕУГЕ ҚОЙЫЛАТЫН ҒЫЛЫМИ ТАЛАПТАР

Мақалада өзектілігі, ғылыми маңыздылығы, Зерттеу нәтижелері мен тұжырымдары нақты көрсетілуі керек. Басқа көздерден алынған кез-келген материалдар сілтемемен дұрыс ресімделуі керек, ал автор сілтеме жасаған дереккөздің атауы әдебиеттер тізімінде көрсетілуі керек.

Мақала ғылыми стильде жазылуы керек. Ғылыми стильдің лексикалық құрамы салыстырмалы біртектілік пен оқшауланумен сипатталады және бұл синонимдердің аз қолданылуымен көрінеді. Ғылыми стильде бағалауға тән емес сөйлеу бояуы бар лексика болмауы керек. Ғылыми еңбектердегі бағалау автордың ойын түсіндіру үшін қолданылады және ұтымды сипатқа ие. Ғылыми сөйлеу ойдың дәлдігі мен қисындылығымен, оның дәйекті ұсынылуымен және презентацияның объективтілігімен ерекшеленеді.

Ғылыми жарияланым зерттеуші қызметінің негізгі нәтижелерінің бірі болып табылады. "ААА Жаршысы" ғылыми журналында жариялау үшін ұсынылған Материал басқа баспа басылымдарында бұрын жарияланбаған түпнұсқа болуы тиіс. Мақала негізінен заманауи ғылыми әдебиеттерді қолдана отырып жазылуы керек және жаңалықты қамтуы керек. Басылымның басты мақсаты-автордың жұмысын басқа зерттеушілерге қол жетімді ету. Жариялау арқылы автор таңдалған зерттеу саласында өзінің басымдығын белгілейді.

Кіріспе бөлімде ғылыми мәселені немесе тапсырманы әзірлеудің өзектілігі мен орындылығын көрсету қажет. Мақаланың негізгі бөлігінде ақпаратты талдау және синтездеу арқылы зерттелетін мәселелерді, оларды шешу жолдарын ашу қажет. Сондай-ақ, мүмкін нәтижелерді және олардың сенімділігін негіздеу қажет. Мақалада ғылымның (практиканың), оның жекелеген қызмет түрлерінің, құбылыстардың, оқиғалардың және т. б. дамуының маңызды және перспективалық бағыттары талдануы, салыстырылуы және анықталуы керек.

Ғылыми мақала проблемалық сипатта болуы керек, ғалымдардың ғылыми (практикалық) білімді дамытуға деген әртүрлі көзқарастарын көрсетуі керек, қорытындылар, жиынтық мәліметтер болуы керек. Қорытынды бөлімде автор қорытындылап, қорытындылар, ұсыныстар тұжырымдап, әрі қарайғы зерттеулердің мүмкін бағыттарын көрсетуі керек.

МАҚАЛАНЫ РЕСІМДЕУГЕ ҚОЙЫЛАТЫН ТЕХНИКАЛЫҚ ТАЛАПТАР

Мақалаларды дайындау кезінде редакция төмендегі ережелерді және журналда жариялау үшін ұсынылатын материалдарды ресімдеуге қойылатын талаптарды басшылыққа алуды сұрайды:

1. Жариялауға ұсынылатын мақалалар жаңа, бұрын басқа баспа және Электрондық басылымдарда бірдей түрде жарияланбаған болуы тиіс. Мақаланың мазмұны журналдың тақырыптық бағыттары мен ғылыми деңгейіне сәйкес келуі, белгілі бір жаңалыққа ие болуы және авиация саласындағы ғылыми қызметкерлер, оқытушылар, мамандар үшін қызығушылық танытуы керек. Мақалалар қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде жарияланады.

Мақала көлемі 6-дан 12 бетке дейін;

• Материал WORD мәтіндік редакторында Times New Roman қаріпімен, бір аралықта 14 өлшемде терілуі керек. Схемалар, графиктер, диаграммалар, сызбалар және басқа графикалық материалдар WORD мәтіндік редакторының көмегімен немесе векторлық графикалық бағдарламаларда (Adobe Illustrator, Corel Draw) ақ-қара нұсқада жасалуы мүмкін және электронды редакциялауға мүмкіндік береді. Графикалық материалдар мен қойынды тұлғалар реттік нөмірді және тақырыпты қамтуы керек. Формулалар Math type бағдарламасында немесе MS Office қосымшасында теріледі және бүкіл стиль бойынша бір стильді ұстанады.

2. Мақаланың басында жоғарғы сол жақта FTAXP (Ғылыми-техникалық ақпараттың халықаралық рубрикаторы) көрсетілуі керек, FTAXP www.grnti.ru сайтында анықталады әрі қарай, беттің ортасында бас әріптермен – авторлардың аты – жөні, лауазымы, дәрежесі, содан кейін ортасында кіші әріптермен-жұмыс және қала орындалған ұйымның(лардың) атауы, төменде сондай – ақ, ортасында бас әріптермен (қалың қаріппен)-мақаланың атауы.

3. Аңдатпа жұмыстың мақсатын, әдісі немесе жұмысты жасау әдіснамасын, қысқаша нәтижелерді, нәтижелерді қолдану аясын, қорытындыларын айқындау керек. Аңдатпаның көлемі 1/3 беттен кем болмауы керек. Аңдатпалар міндетті түрде қазақ, орыс және ағылшын тілдерде болуы тиіс. Аңдатпадан кейін түйін сөздер аңдатпа тілінде кіші әріптермен, үтір арқылы 5 сөзден кем болмауы керек.

4. Мақала мәтінінің тараулары міндетті түрде стандартталған "Кіріспе", "Негізгі бөлім", "Қорытындылар және Ұсыныстар" атауларын қолдану арқылы құрылымдалуы керек. Қажет болған жағдайда тараудың қосымша арнаулы атаулары қосылады.

5. Мақаланың соңында «Пайдаланылған дереккөздердің тізімі» келтіріледі (5 тен кем емес). Мәтіндегі сілтемелер - шаршы жақшаларында. Дереккөздер мәтінде дәйексөз алу тәртібінде көрсетіледі. Мәтінде әдебиеттің тізбесінен барлық дереккөздерге сілтемелер болуы керек. Пайдаланылған дереккөздер тізбесі "Библиографиялық жазба" МЕМСТ 7.1-2003 сәйкес рәсімделеді. Әдебиеттер тізімі: библиографиялық тізім екі рет жасалады: дереккөздердің түпнұсқа тілінде (қазақ, орыс), кириллицаны қолданатын тілде латын әріптерімен транслитерациялануы тиіс.

6. Жеке файлда мақалаға авторлар туралы мәліметтер қоса беріледі: мақаланың атауы, тегі, аты және әкесінің аты (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде), ғылыми дәрежесі мен атағы, ұйымның толық атауы мен мекен-жайы – жұмыс орындары, атқаратын лауазымы, байланыс телефоны, электрондық пошта мекенжайы.

7. Ғылыми мақаланың авторы оны журналдардың шығу кестесінде белгіленген мерзімде және ғылыми мақалаларға қойылатын талаптарға сәйкес электронды түрде ұсынады.

8. Қабылданған мақалалар антиплагиаттық сараптаудан өтеді әрі қарай екі рецензентке рецензиялауға жіберіледі. Рецензенттің мақаланы қарау мерзімі 7-10 күнді құрайды. Ғылыми басылымдарда жариялау үшін ұсынылатын ғылыми мақалалар түпнұсқа мәтіннің кемінде 70% - құрауы тиіс. Екі рецензент мақұлдағаннан кейін мақала баспаға жіберіледі.

9. Мақаланың мазмұнына автор жауапты.

Мақаланың метадеректерін рәсімдеу:

• Мақала авторының аты-жөні, тегі (Times New Roman, кегль 14 қалың); 2. Жұмыс орны, ЖОО атауы; 3. Қала, ел; 4. Корреспондент авторының E-mail; 5. Ескерту: автор-корреспондентке — * (жұлдызша) белгісі беріледі.

НАЗАР АУДАРЫҢЫЗ! Ережені бұза отырып рәсімделген немесе грамматикалық және орфографиялық қателері көп, ағылшын тіліне автоматты аудармасы бар мақалалар редакциямен қабылданбайды және олардың мәні бойынша қаралмай авторларға қайтарылады.

Редакция қажет болған жағдайда авторлардан қосымша эксперименттік деректерді (мысалы, спектрлер) сұратуға құқылы.

Бастапқы шолудың нәтижелеріне қарамастан, өрескел қателер, ауқымды қарыздар немесе қате дәйексөздер анықталған кезде мақала жұмыстың кез келген сатысында қабылданбауы немесе пысықтауға қайтарылуы мүмкін.

Журнал жарияламайды:

- журнал тақырыбына сәйкес келмейтін материалдар;
- авторлар бұрын басқа басылымдарда жариялаған материалдар;
- түзетілмейтін орфографиялық, математикалық немесе басқа қателіктерден тұратын материалдар, сондай-ақ белгіленген ғылыми фактілерге тікелей қайшы келетін мәлімдемелер мен гипотезалар.

Редакциялық алқа, егер ол журналдың авторларға қойылатын талаптарына сәйкес ресімделмесе, материалды жарияланымға қараудан бас тартуға құқылы, қолжазбалар авторларға қайтарылмайды.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

приема научных статей для публикации в научном журнале «ВЕСТНИК АКАДЕМИИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

Журнал «Вестник АГА» включен в перечень изданий для публикации основных результатов диссертаций по направлениям:

- *Воздушный транспорт и технологии*
- *Логистика, организация перевозок, безопасность на транспорте*
- *Компьютерные науки, приборостроения и автоматизация*

НАУЧНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

В статье должны быть четко обозначены актуальность, научная значимость, результаты исследования и выводы. Любые заимствования материалов из других источников должны быть должным образом оформлены ссылкой, а название источника, на который ссылается автор, должен быть указан в списке литературы.

Статья должна быть написана в научном стиле. Лексический состав научного стиля характеризуется относительной однородностью и замкнутостью, и это выражается, в частности, в меньшем использовании синонимов. В научном стиле не должна присутствовать лексика с разговорной окраской, которой не свойственна оценочность. Оценка в научных работах применяется для пояснения мысли автора и имеет рациональный характер. Научная речь отличается точностью и логичностью мысли, ее последовательным представлением и объективностью изложения.

Научная публикация представляет собой один из основных результатов деятельности исследователя. Материал, представленный для публикации в научном журнале «Вестник АГА», должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях. Статья должна быть написана с использованием преимущественно современной научной литературы, и содержать новизну. Главная цель публикации – сделать работу автора доступной другим исследователям. Посредством публикации автор обозначает свой приоритет в избранной области исследований.

В вводной части необходимо обозначить актуальность и целесообразность разработки научной проблемы или задачи. В основной части статьи путем анализа и синтеза информации требуется раскрыть исследуемые проблемы, пути их решения. Также нужно обосновать возможные результаты и их достоверность. В статье должны быть проанализированы, сопоставлены и выявлены наиболее важные и перспективные направления развития науки (практики), ее отдельных видов деятельности, явлений, событий и пр.

Научная статья должна носить проблемный характер, демонстрировать различные взгляды ученых на развитие научных (практических) знаний, содержать выводы, обобщения, сводные данные. В заключительной части автору нужно подвести итог, сформулировать выводы, рекомендации, указать возможные направления дальнейших исследований.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

При подготовке статей редакция просит руководствоваться приведенными ниже правилами и требованиями к оформлению материалов, представляемых для публикации в журнале:

1. Предлагаемые для публикации статьи должны быть новыми, не опубликованными ранее в том же виде в других печатных и электронных изданиях. Содержание статьи должно соответствовать тематическим направлениям и научному уровню журнала, обладать определенной новизной и представлять интерес для научных работников, преподавателей,

специалистов в области авиации. Статьи публикуются на казахском, русском, английском языках.

Объем статьи от 6 до 12 страниц;

Материал должен быть набран в текстовом редакторе WORD с использованием шрифта Times New Roman, 14 размера через один интервал. Схемы, графики, диаграммы, рисунки и иные графические материалы могут быть выполнены в черно-белом варианте средствами текстового редактора WORD или в программах векторной графики (Adobe Illustrator, Corel Draw) и обязательно допускать электронное редактирование. Графические материалы и таблицы должны содержать порядковый номер и название. Формулы набираются в программе Math Type или в приложении MS Office и придерживаются одного стиля на протяжении всей статьи.

2. В начале статьи вверху слева следует указать МРНТИ (международный рубрикатор научно-технической информации), МРНТИ определяется на сайте www.grnti.ru Далее по середине страницы прописными буквами – инициалы и фамилии авторов, должность, степень, затем по середине строчными буквами – название организации(ий), в которой выполнена работа и город, ниже также посередине заглавными буквами (полужирным шрифтом) – название статьи.

3. Аннотация должна отражать цель работы, метод или методологию проведения работы, краткие результаты, область применения результатов, выводы. Размер аннотации должен быть не менее 1/3 стр. Независимо от языка статьи обязательны аннотации на казахском, русском и английском языках. После аннотации должны быть указаны ключевые слова на языке аннотации, не менее 5 слов, строчными буквами, через запятую.

4. Текст статьи должен быть структурирован с применением стандартных названий разделов «Введение», «Основная часть», «Выводы и Предложение». При необходимости допускаются дополнительные специальные названия разделов.

5. В конце статьи приводится «Список использованных источников» (не менее 5). Ссылки в тексте – в квадратных скобках. Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте. Список использованных источников оформляются в соответствии с СТСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись». Список литературы: библиографический список составляется дважды: на языке оригинала источников (казахский, русский), на языке, использующем кириллицу, должны быть транслитерированы латинскими буквами

6. В отдельном файле к статье прилагаются сведения об авторах: название статьи, фамилия, имя и отчество (на казахском, русском, английском языках), ученая степень и звание, полное название и адрес организации – места работы, занимаемая должность, контактный телефон, адрес электронной почты.

7. Автор научной статьи предоставляет ее в электронном виде в сроки, установленные графиками выхода журналов и в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным статьям.

8. Принятые статьи проходят антиплагиат далее направляется на рецензирование двум рецензентам. Срок рассмотрения рецензентом статьи составляет 7-10 дней. Научные статьи, представляемые для публикации в научных изданиях, должны составлять не менее 70% оригинального текста. После одобрения двух рецензентов статья направляется на печать.

9. Ответственность за содержание статьи несут авторы.

Оформление метаданных статьи:

1. ФИО автора статьи; инициалы и фамилии авторов (Times New Roman, кегль 14 выделять жирным); 2. Место работы: название вуза; 3. Город, страна; 4. E-mail автора корреспондента; 5. Примечание: автору корреспонденту присваивается знак - * (звездочка).

Внимание! Статьи, оформленные с нарушением, правил или содержащие большое количество грамматических и орфографических ошибок, автоматический перевод на английский язык, редакцией не принимаются и будут возвращаться авторам без их рассмотрения по существу.

Редакция имеет право при необходимости запросить от авторов дополнительные экспериментальные данные (например, спектры).

Независимо от результатов первоначальной рецензии, статья может быть отклонена или возвращена на доработку на любой стадии работы при обнаружении грубых ошибок, обширных заимствований или ошибочных цитирований.

Журнал не публикует:

- материалы, не соответствующие тематике журнала;
- материалы, опубликованные авторами ранее в других изданиях;
- материалы, содержащие орфографические, математические или другие ошибки, которые не могут быть исправлены, а также утверждения и гипотезы, прямо противоречащие установленным научным фактам.

Редколлегия вправе отказать в рассмотрении материала к публикации, если он не оформлен в соответствии с требованиями журнала к авторам, рукописи авторам не возвращаются.

RULES FOR AUTHORS
on accepting scientific articles for publication in a scientific journal
"BULLETIN OF THE CIVIL AVIATION ACADEMY"

The journal “Bulletin of the CAA” is included in the publications listing for the issuance of the main results of dissertations in the following areas:

- *Air Transport and Technologies*
- *Logistics, Organization of Transportation, Transport safety*
- *Computer Science, Instrumentation Engineering and Automation*

SCIENTIFIC REQUIREMENTS FOR ARTICLE COMPOSITION

The article must clearly indicate its relevance, scientific significance, research results and conclusions. Any borrowing of materials from other sources must be properly documented with a reference, and the name of the source referred to by the author must be indicated in the list of references.

The article must be written in a scientific style. The lexical composition of the scientific style is characterized by relative uniformity and restraint, and this is expressed, in particular, in the lesser use of synonyms. The scientific style should not contain vocabulary with a colloquial tone, which is not characterized by evaluativeness. Evaluation in scientific works is used to explain the author’s thoughts and is rational in nature. Scientific speech is distinguished by the accuracy and logic of thought, its consistent presentation and objectivity of presentation.

A scientific publication is one of the main results of a researcher’s activities. Material submitted for publication in the scientific journal “Bulletin of the CAA” must be original and not previously published in other print media. The article should be written using predominantly modern scientific literature and contain novelty. The main purpose of the publication is to make the author’s work accessible to other researchers. Through publication, the author indicates his priority in the chosen field of research.

In the introductory part, it is necessary to indicate the relevance and worthwhileness of developing a scientific problem or task. In the main part of the article, through analysis and synthesis of information, it is required to reveal the problems under study and ways to solve them. You also need to justify the possible results and their reliability. The article should analyze, compare and identify the most important and promising directions in the development of science (practice), its individual types of activities, phenomena, events, etc.

A scientific article should be problematic in nature, demonstrate different views of scientists on the development of scientific (practical) knowledge, and contain conclusions, generalizations, and summary data. In the final part, the author needs to summarize, formulate conclusions, recommendations, and indicate possible directions for further research.

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE ARTICLE COMPOSITION

When preparing articles, the editors ask you to be guided by the following rules and requirements for the design of materials submitted for publication in the journal:

1. Articles proposed for publication must be new, not previously published in the same form in other printed or electronic media. The content of the article must correspond to the thematic areas and scientific level of the journal, have a certain novelty and be of interest to researchers, teachers, and specialists in the field of aviation. Articles are published in Kazakh, Russian, and English languages.

The volume of the article should be from 6 to 12 pages;

The material must be typed in a WORD text editor using Times New Roman font, size 14, single spaced. Schemes, graphs, diagrams, drawings and other graphic materials can be made in black and white using a WORD text editor or in vector graphics programs (Adobe Illustrator, Corel Draw) and must be electronically editable. Graphic materials and tables must contain a serial number and a title. Formulas are typed in the Math Type program or in the MS Office application and adhere to the same style throughout the entire article.

2. At the beginning of the article at the top left you should indicate IRSTI (international rubricator of scientific and technical information), IRSTI is determined on the website www.grnti.ru. Further in the middle of the page in capital letters (italics) there should be the initials and surnames of the authors, position, degree, then in the middle in lowercase letters - the name of the organization(s) in which the work was performed and the city, below also in the middle in capital letters (bold) - the title of the article.

3. The abstract should reflect the purpose of the work, the method or methodology for carrying out the work, brief results, the scope of application of the results, and conclusions. The abstract size must be at least 1/3 page. Regardless of the language of the article, annotations in Kazakh, Russian and English are required. After the annotation, key words in the language of the annotation must be indicated, at least 5 words, in lowercase letters, separated by commas.

4. The text of the article should be structured using standard section titles “Introduction”, “Main Part”, “Conclusions and Proposal”. Additional special section names are allowed if necessary.

5. At the end of the article there is a “List of used sources” (at least 7). References in the text are in square brackets. Sources are indicated in the order they are cited in the text. All sources from the bibliography must be referenced in the text. The list of used sources is drawn up in accordance with SAUS 7.1-2003 “Bibliographic record”. References: the bibliographic list is compiled twice: in the original language of the sources (Kazakh, Russian), in a language using the Cyrillic alphabet, must be transliterated in Latin letters.

6. In a separate file, information about the authors is attached to the article: title of the article, last name, first name and patronymic (in Kazakh, Russian, English), academic degree and title, full name and address of the organization - place of work, position held, contact phone number, email address.

7. The author of a scientific article provides it in electronic form within the deadlines established by the journals' publication schedules and in accordance with the requirements for scientific articles.

8. Accepted articles undergo anti-plagiarism and are then sent for review to two reviewers. The review period for the article is 7-10 days. Scientific articles submitted for publication in scientific journals must comprise at least 70% of the original text. After the approval of two reviewers, the article is sent for publication.

9. The authors bear responsibility for the content of the article.

Formatting article metadata:

1. Full name of the author of the article; initials and surnames of the authors (Times New Roman, font 14 in bold); 2. Place of work: name of the university; 3. City, country; 4. E-mail of the corresponding author; 5. Note: the corresponding author is assigned the sign - * (asterisk).

Attention! Articles written in violation of the rules or containing a large number of grammatical and spelling errors, automatic translation into English, will not be accepted by the editors and will be returned to the authors without consideration of their articles in a substantial manner.

The editors have the right, if necessary, to request additional experimental data (for example, spectra) from the authors.

Regardless of the results of the initial review, the article may be rejected or returned for revision at any stage of the work if gross errors, extensive borrowings or erroneous citations are detected.

The journal does not publish:

- materials that do not correspond to the subject of the journal;
- materials previously published by the authors in other publications;
- materials containing spelling, mathematical or other errors that cannot be corrected, as well as statements and hypotheses that directly contradict established scientific facts.

The editorial board has the right to refuse to consider material for publication if it is not prepared in accordance with the journal's requirements for authors; manuscripts are not returned to the authors.

*"Азаматтық авиация академиясының Жаршысы" ғылыми журналы
редакциялық-баспа бөлімшесінің баспаханасында жарық көрді
Жауапты редактор: А. Т. Макеева*

*Басылымға 21.06.2024 ж. қол қойылды. Формат 205*290. Өлшемі - баспа
табақшасы. Таралымы 250 дана 050039, Алматы қ., Закарпатская, 44.*

*Научный журнал «Вестник Академии гражданской авиации» издано в
типографии редакционно-издательского отделения
Ответственный редактор: А.Т. Макеева*

*Издание подписано 21.06. 2024 г. Формат 205*290. Размер –печатная
пластина. Тираж 250 экз. 050039, г. Алматы, Закарпатская, 44.*

*The scientific journal "Bulletin of the Academy of Civil Aviation" is published in the
printing house of the editorial and publishing department
Responsible editor: A.T. Makeeva*

*The publication was signed on, June 21, 2024. The format is 205*290. The size is a
printed plate. Edition of 250 copies 050039, Almaty, Zakarpatskaya, 44.*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ИНВЕСТИЦИЯЛАР ЖӘНЕ ДАМУ МИНИСТРЛІГІ

БАЙЛАНЫС, АҚПАРАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ АҚПАРАТ КОМИТЕТІ

МЕРЗІМДІ БАСПАСӨЗ БАСЫЛЫМЫН ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ АГЕНТТІКТІ
ЕСЕПКЕ ҚОЮ ТУРАЛЫ

КУӘЛІК

№ 15452-Ж

Астана қаласы «01» 07 2015 ж.

МББ аты: «Азаматтық авиация академиясының жаршысы» журналы

МББ тілі: қазақша, орысша, ағылшынша

Шығу жиілігі: жылына 4 рет

Меншік иесі: «Азаматтық авиация академиясы» АҚ (Алматы қаласы)

Негізгі тақырыптық бағыты: ғылыми-көпшілік

Тарату аумағы: Қазақстан Республикасы

Торғаның орынбасары Т. Қазанғап

МИНИСТЕРСТВО ПО ИНВЕСТИЦИЯМ И РАЗВИТИЮ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О ПОСТАНОВКЕ НА УЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ И
ИНФОРМАЦИОННОГО АГЕНТСТВА

№ 15452-Ж

город Астана «01» 07 2015 г.

Название ППИ: Журнал «Вестник Академии гражданской авиации»

Язык ППИ: казахский, русский, английский

Периодичность: 4 раза в год

Собственник: АО «Академия гражданской авиации» (город Алматы)

Основная тематическая направленность: научно-популярная

Территория распространения: Республика Казахстан

Заместитель председателя Т. Қазанғап

<p>НАЦИОНАЛЬНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ КНИЖНАЯ ПАЛАТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН</p> <p>НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ISSN</p> <h2 style="margin: 0;">СЕРТИФИКАТ</h2> <p>Журнал «Вестник Академии гражданской авиации»</p> <p>АО «Академия гражданской авиации» (город Алматы)</p> <p>Зарегистрирован в Международном центре по регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция) и его дупликационный номер</p> <p>ISSN 2413 – 8614</p> <p><small>(серийный стандарт ИСО 3297-88 "Информация и документация. Международный стандартный номер периодического издания ISSN", международный стандарт ГОСТ 7.56-2002 "Международная стандартная идентификация серийных изданий")</small></p> <p>Директор Ж. Сейдуманов</p> <p>«29» июля 2015 год</p>	<p>ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК ҚҰРАЛДАТАСЫ</p> <p>ISSN ҰЛТТЫҚ ОРГАНЫ</p> <h2 style="margin: 0;">СЕРТИФИКАТ</h2> <p>«Азаматтық авиация академиясының жаршысы» журналы</p> <p>«Азаматтық авиация академиясы» АҚ (Алматы қаласы)</p> <p>(ЮНЕСКО, Франция, Париж к.і. сериялық басылмаларды тіркеуші ISSN Халықаралық орталығымен тіркелген және халықаралық номер берілген)</p> <p>ISSN 2413 8614</p> <p><small>(серийный стандарт ИСО 3297-88 "Актуальная информация и документация. Международный стандартный номер периодического издания ISSN", международный стандарт ГОСТ 7.56-2002 "Стандартная идентификация серийных изданий")</small></p> <p>Директор Ж. Сейдуманов</p> <p>«29» июля 2015 года</p>
---	---