

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1
2026**

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

1 (357)

JANUARY – MARCH 2026

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаіл Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген **№ KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛЯРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТЧИК Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VPY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Akhmetova S.T., Yunussova A.A., Alisheva S.S., Olzhataeva B.T., Mussirepova E.B. Social network data mining for automated offensive language detection.....	13
Amanov A.N., Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Abibullayeva A.A., Aben A.B. Artificial intelligence-based intrusion detection for DDOS attacks in Software Defined Networking.....	30
Amanzholova S.T., Ussatova O.A., Mutanov G.M., Mukhanov S.B., Aitmukash D. Backend architecture of a hybrid blockchain-based academic credential verification system.....	52
Amirkhanova G.A., Nurgazy T.N., Amirkhanov B.S., Tokhtassyn M.M., Nurgazy N.N. Developing a predictive digital twin for a food product based on Edge ML and IoT sensors.....	73
Bekarystankyzy A., Ussen D., Kassenkhan A., Chinibayev Y. Cold-start in educational recommender systems: classical and LLM-Era strategies.....	91
Bimoldina Zh., Mussiraliyeva Sh., Bagitova K., Tereikovska L. Detection of cyber-propaganda content using machine learning and semantic models....	106
Chezhimbayeva K.S. Forecasting key 5G network KPIs using MLP and LSTM neural network models.....	129
Dauitbayeva A.O., Konyrbaev N.B., Abildayeva Zh.T., Yessirkepova A.U., Karim N.A. Development of an application to optimize the process of employment of graduates.....	148
Dzhsupbekova G., Othman M., Ordabayeva G. Comparative analysis of artificial intelligence algorithms to detect network attacks.....	167
Issakhov A., Orazmoldayev N., Zharkynbek Y., Abylkassymova A. Numerical modeling of the spread of viral infection by airborne droplets in confined spaces.....	182
Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B. Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings.....	202
Khusain B., Telmanov M., Khusain A.B., Brodskiy A.R., Sass A.S. Digital twin of an integrated emission purification and decarbonization system for thermal units.....	218
Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A. Algorithm for determining the initial orbital parameters of KazeEOSat-1 for deorbiting.....	236

Mimenbayeva A.B., Turebayeva R.D., Ospanova T.T., Aruova A.B., Naizagarayeva A.A. Development and comparative analysis of machine learning models for urban traffic prediction.....	253
Naumenko V.V., Mukanova Zh.A., Kiseleva O.V., Maintser D.A., Nerezov A.K. The use of real-time polling to improve student academic performance.....	271
Nazyrova A.E., Kaderkeyeva Z.K., Bekmanova G.T., Milosz M., Lamasheva Zh. Transformation of education through digital technologies: advancing student academic performance across learning stages.....	287
Oralbekova D., Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kassymova D., Alibiyeva Z. Development of a multi-level model for text summarization based on pretrained models.....	316
Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbanalieva N.B., Yessirkessinov R.Zh., Orazbayeva K.N. Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process.....	337
Sarsenbayeva A.K., Rakhimova D.R., Shormakova A.N., Mansurova M.E., Adali E. Application of semantic methods in the field of legislation: an intellectual system for analysis of agglutinative texts.....	354
Serek A., Shoiynbek A., Sharipov K., Kuanyshbay D., Mukhametzhanov A. Analysis and classification of telephone fraud based on lexical features of speech transcriptions.....	373
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T. Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models.....	393
Tokhayeva A.O., Alzhanov A.K., Nezih Önal, Ziyatbekova G.Z., Begalieva K.B. Formation of students virtualization competencies in higher education based on Proxmox VE.....	412
Tukenova L.M., Auyelbekov O.A., Sapakova S.Z., Sametova A.A., Bostanov E.L. Modelling and optimisation of hybrid power plant operating modes for unmanned aerial vehicles.....	430
Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Sambetbayeva M. Sign language recognition using temporal convolutional network and MediaPipe.....	443
Zhukabayeva T.K., Benkhelifa E., Mardenov Y.M., Baumuratova D., Karabayev N. Decision support for responding to attacks in cyber-physical industrial internet-of-things systems.....	461

МАЗМҰНЫ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Әлеуметтік желідегі бейәдеп пікірлерді автоматты анықтауда деректерді интеллектуалды талдау.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Бағдарламалық жасақтамамен анықталған желідегі DDOS шабуылдары үшін жасанды интеллектке негізделген шабуылдарды анықтау.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Гибридтік блокчейнге негізделген академиялық сенімдік деректерді тексеру жүйесінің бекендік архитектурасы.....	52
Амирханова Г.А., Нұрғазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нұрғазы Н. Н. EDGE ML және ИОТ сенсорлары негізінде азық-түлік өнімінің предиктивті цифрлық егізін әзірлеу.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Білім беру саласындағы ұсынымдық жүйелеріндегі «Cold-start» мәселесі: классикалық әдістер және LLM дәуірінің стратегиялары.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.З Кибернасихаттық контентті анықтау үшін машиналық оқыту және семантикалық модельдер қолдану.....	106
Чечимбаева К.С. MLP және LSTM нейрондық желі модельдерін қолдана отырып, 5G желісінің негізгі KPI-лерін болжау.....	129
Дәуітбаева А.О., Қоңырбаев Н.Б., Әбілдаева Ж.Т., Есіркепова А.У., Кәрім Н.Ә. Бітіруші түлектердің жұмысқа орналастыру процесін оңтайландыру үшін қосымша әзірлеу.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Жасанды интеллект алгоритмдерін желілік шабуылдарды анықтау үшін салыстырмалы талдау.....	167
Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Ауа тамшылары арқылы вирустық инфекцияның шектеулі кеңістікте таралуын сандық модельдеу.....	182
Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Түлебаев Е.Б. Биік ғимараттардағы адамдарды эвакуациялау процестерін болжау және оңтайландыруда машиналық оқыту әдістерін қолдану.....	202

Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Жылу қондырғыларының шығарындыларын кешенді тазалау және декарбонизациялау жүйесінің цифрлық егізі.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылғара А.Е. KAZEOSAT-1 ғарыш аппаратының деорбитациясын жүзеге асыру үшін бастапқы орбиталық параметрлерін анықтау алгоритмі.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзағарасва А.А. Қалалық көлік ағынын болжауға арналған машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және салыстырмалы талдау.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселева О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Білім алушылардың үлгерімін арттыру үшін real-time сауалнамаларын қолдану.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Қасымова Д.З, Алибиева Ж., Алдын ала оқытылған модельдер негізінде мәтінді резюмелеуге арналған көпдеңгейлі модельді әзірлеу.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбанғалиева Н.Б., Оразбаева К.Н. Күкірт сапасын бағалаудың лингвистикалық модельдерін синтездеу және күкіртті өндіру процесін бұлыңғыр модельдеу.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Семантикалық әдістерді заңнама саласында қолдану: агглютинативті мәтіндерді талдауға арналған интеллектуалды жүйе.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Қуанышбай Д., Мухаметжанов А. Сөйлеу транскрипцияларының лексикалық белгілеріне негізделген телефон алаяқтықтарын талдау және жіктеу.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Кірпіш өнімдерін сату көлемдерін машиналық оқытуда талдау және болжамдау.....	393
Тохаева А.О., Альжанов А.К., Neziĥ Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б. PROXMOX VE негізінде жоғары оқу орындарында білім алушыларды виртуалдандыру құзыреттерін қалыптастыру.....	412

Төкенова Л.М., Әуелбеков О.А., Сапақова С., Саметова А.А., Бостанов Е.Л. Пилотсыз ұшу аппараттарына арналған гибриді электр станцияларының жұмыс режимдерін модельдеу және оңтайландыру.....	430
Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Самбетбаева М.А. Уақытша конволюциялық желі мен mediapipe көмегімен ым тілін тану.....	443
Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н. Киберфизикалық өнеркәсіптік интернет заттары жүйелеріндегі шабуылдарға әрекет ету кезінде шешім қабылдауды қолдау.....	461

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Интеллектуальный анализ данных для автоматического выявления языка ненависти в социальных сетях.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Обнаружение вторжений на основе искусственного интеллекта для DDoS-атак в программно-определяемых сетях.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Бэкэнд-архитектура гибридной системы проверки академических достижений на основе блокчейна.....	52
Амирханова Г.А., Нургазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нургазы Н.Н. Разработка предиктивного цифрового двойника пищевого продукта на основе Edge ML и IoT-сенсоров.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Холодный старт в системах рекомендаций в области образования: классические подходы и стратегии эпохи LLM.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л. Использование машинного обучения и семантических моделей для обнаружения киберпропагандистского контента.....	106
Чежимбаева К.С. Прогнозирование ключевых KPI сетей 5G на основе нейросетевых моделей MLP и LSTM.....	129
Даутбаева А.О., Конырбаев Н.Б., Абильдаева Ж.Т., Есиркепова А.У., Карим Н.А. Разработка приложения для оптимизации процесса трудоустройства выпускников.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Сравнительный анализ алгоритмов искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак.....	167
Исатов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Численное моделирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путём в замкнутых помещениях.....	182

Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Тулебаев Е.Б. Использование методов машинного обучения для прогнозирования и оптимизации процессов эвакуации людей в высотных зданиях.....	202
Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Цифровой двойник комплексной системы очистки и декарбонизации выбросов тепловых установок.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылгара А.Е. Алгоритм определения начальных орбитальных параметров KazEOSat-1 для деорбитации.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзагараева А.А. Разработка и сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования городского трафика.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселёва О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Применение опросов в режиме реального времени для повышения успеваемости обучающихся.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифровое образование и академическая успеваемость учащихся: межуровневый анализ.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Касымова Д., Алибиева Ж. Разработка многоуровневой модели для абстрактного резюмирования текста на основе предварительно обученных моделей.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбангалиева Н.Б., Есиркесинов Р.Ж., Оразбаева К.Н. Синтез лингвистических моделей оценки качества серы и нечёткое моделирование процесса её производства.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Применение семантических методов в юридическом анализе: интеллектуальная система для обработки агглютинативных текстов.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Куанышбай Д., Мухаметжанов А. Анализ и классификация телефонного мошенничества на основе лексических признаков речевых транскрипций.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Анализ и прогнозирование объёмов продаж кирпичной продукции с использованием машинного обучения.....	393

Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezih Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б. Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....	412
Тукунова Л.М., Ауелбеков О.А., Сапакова С.З., Саметова А.А., Бостанов Е.Л. Моделирование и оптимизация режимов работы гибридных силовых установок для беспилотных летательных аппаратов.....	430
Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сакенов Б.Е., Самбетбаева М.А. Распознавание языка жестов с использованием временных свёрточных сетей и MediaPipe4.....	43
Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н. Поддержка принятия решений при реагировании на атаки в киберфизических промышленных системах интернета вещей.....	461

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

ISSN 1991-346X

Volume 1.

Number 357 (2026). 236–252

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.411>

IRSTI 89.25

UDC 629.78

© Kulakayeva A.^{1*}, Ashurov A.², Zhumazhanov B.^{2,3}, Daineko Ye.^{1,4},
Zylgara A.⁵, 2026.

¹JSC «International Information Technology University», Almaty, Kazakhstan;

²NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan; ³

LLP «Ghalam», Astana, Kazakhstan;

⁴NPJSC «Satbayev University», Almaty, Kazakhstan;

⁵JSC «Kazakhstan Gharysh Sapary», Astana, Kazakhstan.

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

ALGORITHM FOR DETERMINING THE INITIAL ORBITAL PARAMETERS OF KAZEOSAT-1 FOR DEORBETING

Kulakayeva Aigul — PhD, Associate Professor of International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Ashurov Abdikul — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan,

E-mail: ashurov_ae@enu.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6044-5579>;

Zhumazhanov Berik — Head of the Payload and R&D Department, LLP “Ghalam”; PhD student of Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan,

E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Daineko Yevgeniya — PhD, Director of the Institute of Automation and Information Technology, Satbayev University; Associate Professor of International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: y.daineko@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6581-2622>;

Zylgara Aigerim — Engineer, JSC “Kazakhstan Gharysh Sapary”, Astana, Kazakhstan,

E-mail: zylgara@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9916-8685>.

Abstract. The growing number of objects in low-Earth orbits increases the risk of collisions and the formation of space debris, which requires the development of controlled and technically feasible methods for deorbiting existing spacecraft. For the Republic of Kazakhstan, the creation of its own KazEOSat-1 mission completion algorithm is a prerequisite for compliance with international requirements (ISO 24113:2023E) and ensuring the safety of the national orbital infrastructure, especially given that the KazEOSat series satellites have already exceeded their estimated service life. The aim of the work is to develop an effective algorithm for controlled deorbitation of the KazEOSat–1 spacecraft, taking into account its

actual technical characteristics, orbit parameters and remaining fuel. The research is based on numerical modeling methods in Matlab using current ephemeris (TLE data). The mathematical apparatus includes the conversion of Keplerian elements into Cartesian coordinates and the calculation of multi-stage braking pulses of a low-thrust propulsion system. The simulation takes into account both active maneuvers and the effect of the aerodynamic drag of the upper atmosphere. A deorbitation algorithm has been developed and verified to ensure a controlled descent of the spacecraft from an initial altitude of 758 km. It has been established that the optimal scheme is a stepwise descent using two-pulse maneuvers lasting 600 seconds at diametrically opposite points of the orbit. The simulation confirmed that the available fuel reserve (67 kg) is sufficient to transfer the vehicle to the passive braking phase followed by combustion in dense layers of the atmosphere. The results allow us to plan the completion of satellite operations in low orbits in accordance with international standards.

Keywords: deorbitation, space debris, KazEOSat-1, satellite, spacecraft, orbit, orbital parameters

Financing. *This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan Grant No. AP26103099, titled “Development of deorbiting methods for Kazakhstan satellites using virtual reality technology”*

For citations: Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A. Algorithm for determining the initial orbital parameters of kazeosat-1 for deorbiting. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. — P. 236–252. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.411>

© Кулакаева А.Е.^{1*}, Ашуrow А.Е.², Жумажанов Б.Р.^{2,3}, Дайнеко Е.А.^{1,4},
Зылгара А.Е.⁵, 2026.

¹ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ,
Алматы, Қазақстан;

² «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ,
Астана, Қазақстан;

³ «Ghalam» ЖШС, Астана, Қазақстан;

⁴ «Satbayev University» КеАҚ, Алматы, Қазақстан;

⁵ «Қазақстан Ғарыш Сапары» АҚ, Астана, Қазақстан.

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

KAZEOSAT-1 ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ ДЕОРБИТАЦИЯСЫН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ ҮШІН БАСТАПҚЫ ОРБИТАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ АЛГОРИТМІ

Кулакаева Айгуль — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Ашуров Абдикул — Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: ashurov_ae@enu.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6044-5579>;

Жумажанов Берик — «Ghalam» ЖШС, Пайдалы жүктеме және ғылыми әзірлемелер бөлімінің жетекшісі; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің PhD докторанты, Астана, Қазақстан,

E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Дайнеко Евгения — PhD, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институтының директоры, Satbayev University; Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан,

E-mail: y.daineko@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6581-2622>;

Зылгара Айгерим — «Қазақстан Ғарыш Сапары» АҚ инженері, Астана, Қазақстан,

E-mail: zylgara@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9916-8685>.

Аннотация. Төмен Жер орбитасындағы объектілер санының артуы соқтығысу қаупін және ғарыштық қоқыстың түзілуін күшейтеді, бұл жұмыс атқарып тұрған ғарыш аппараттарын басқарылатын әрі техникалық тұрғыдан іске асырылатын деорбитациялау әдістерін әзірлеуді талап етеді. Қазақстан Республикасы үшін KazEOSat-1 жерсерігінің миссиясын аяқтаудың жеке алгоритмін әзірлеу халықаралық талаптарды (ISO 24113:2023E) сақтау және ұлттық орбиталық инфрақұрылымның қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажетті шарт болып табылады. Бұл, әсіресе, KazEOSat сериясындағы жерсеріктердің есептік пайдалану мерзімінен асып кеткенін ескергенде маңызды. Жұмыстың мақсаты – нақты техникалық сипаттамаларын, орбита параметрлерін және қалған отын қорын ескере отырып, KazEOSat-1 ғарыш аппаратын басқарылатын деорбитациялау үшін тиімді алгоритм әзірлеу. Зерттеу Matlab ортасында өзекті эфемеридтерді (TLE деректері) пайдалана отырып сандық модельдеу әдістеріне негізделген. Математикалық аппарат Кеплер элементтерін декарт координаттарына түрлендіруді және аз тартылысты қозғалтқыш қондырғысының көпсатылы тежеу импульстерін есептеуді қамтиды. Модельдеу барысында белсенді маневрлермен қатар атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы аэродинамикалық кедергінің әсері де ескерілді. Бастапқы биіктігі 758 км болатын ғарыш аппаратының басқарылатын төмендеуін қамтамасыз ететін деорбитация алгоритмі әзірленіп, верификациядан өтті. Орбитаның диаметрлік қарама-қарсы нүктелерінде ұзақтығы 600 секунд болатын екіимпульсті маневрлерді қолдана отырып, сатылы төмендету сұлбасы оңтайлы екені анықталды. Модельдеу нәтижелері қолда бар отын қорының (67 кг) аппаратты пассивті тежеу фазасына көшіруге және атмосфераның тығыз қабаттарында жанып кетуін қамтамасыз етуге жеткілікті екенін растады. Алынған нәтижелер төмен орбитадағы спутниктердің пайдалануын халықаралық стандарттарға сәйкес аяқтауды жоспарлауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: деорбитация, ғарыштық қоқыс, KazEOSat-1, жерсерік, ғарыш аппараты, орбита, орбиталық параметрлер

© Кулакаева А.Е.^{1*}, Ашуров А.Е.², Жумажанов Б.Р.^{2,3}, Дайнеко Е.А.^{1,4},
Зылгара А.Е.⁵, 2026.

¹ АО «Международный университет информационных технологий»,
Алматы, Казахстан;

² НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»,
Астана, Казахстан;

³ ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан;

⁴ НАО «Satbayev University», Алматы, Казахстан;

⁵ АО «Қазақстан Ғарыш Сапары», Астана, Казахстан.

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ KAZEOSAT-1 ДЛЯ ДЕОРБИТАЦИИ

Кулакаева Айгуль — PhD, Ассоциированный профессор Международного университета информационных технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Ашуров Абдикул — кандидат физико-математических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: ashurov_ae@enu.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6044-5579>;

Жумажанов Берик — руководитель отдела полезной нагрузки и научных разработок, ТОО «Ghalam», PhD докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Дайнеко Евгения — PhD, Директор Института автоматики и информационных технологий, Satbayev University, Ассоциированный профессор Международного университета информационных технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: y.daineko@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6581-2622>;

Зылгара Айгерим — инженер АО «Қазақстан Ғарыш Сапары», Астана, Казахстан,

E-mail: zylgara@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9916-8685>.

Аннотация. Рост числа объектов на низких околоземных орбитах увеличивает риск столкновений и образования космического мусора, что обуславливает необходимость разработки управляемых и технически реализуемых методов деорбитации космических аппаратов. Для Республики Казахстан разработка собственного алгоритма завершения миссии спутника KazEOSat-1 является важным условием соблюдения международных стандартов (ISO 24113:2023) и обеспечения безопасности национальной орбитальной инфраструктуры, особенно с учётом превышения расчётного срока эксплуатации спутников данной серии. Целью работы является разработка эффективного алгоритма управляемой деорбитации космического аппарата KazEOSat-1 с учётом его технических характеристик, параметров орбиты и остатка топлива. Исследование основано на методах численного моделирования в среде MATLAB с использованием актуальных эфемерид (TLE-данных). Математический аппарат включает преобразование кеплеровых элементов орбиты в декартовы координаты и расчёт многоступенчатых

тормозных импульсов двигательной установки малой тяги. Моделирование учитывает как активные манёвры, так и влияние аэродинамического сопротивления верхних слоёв атмосферы. В результате разработан и верифицирован алгоритм деорбитации, обеспечивающий контролируемый спуск космического аппарата с начальной высоты 758 км. Установлено, что оптимальной является схема ступенчатого снижения с использованием двухимпульсных манёвров длительностью 600 секунд, выполняемых в диаметрально противоположных точках орбиты. Результаты моделирования показывают, что имеющегося запаса топлива (67 кг) достаточно для перевода аппарата в режим пассивного торможения с последующим сгоранием в плотных слоях атмосферы. Полученные результаты могут быть использованы для планирования завершения миссий космических аппаратов на низких орбитах в соответствии с международными требованиями.

Ключевые слова: деорбитация, космический мусор, KazEOSat-1, спутник, космический аппарат, орбита, орбитальные параметры

Введение. В настоящее время Республика Казахстан (РК) активно развивает свои космические технологии и к 2030 году планирует значительно расширить свое присутствие на мировом рынке космических услуг (Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1200002050>). Первый казахстанский спутник дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого разрешения KazEOSat-1 был запущен 30 апреля 2014 года, а 20 июня 2014 года, за ним последовал спутник среднего разрешения KazEOSat-2. Несмотря на то, что оба спутника уже превысили свой расчетный срок службы, они продолжают работать до сих пор. Однако в ближайшем будущем возникнет необходимость их утилизации в соответствии с международными стандартами по сокращению космического мусора (Space systems – Space debris mitigation requirements (ISO 24113:2023E)). Это связано не только с выполнением глобальных обязательств в сфере космической деятельности, но и с необходимостью обеспечения безопасности работы других космических аппаратов (КА) и минимизации образования новых фрагментов на орбите.

Для РК разработка собственного метода деорбитации КА является стратегически важной задачей. Это позволит не только соответствовать международным требованиям, но и обеспечит устойчивое развитие национальной космической программы, а также минимизирует риски для отечественной и мировой орбитальной инфраструктуры.

Литературный обзор. Рост числа искусственных объектов на орбите Земли увеличивает вероятность столкновений и образования нового космического мусора. Это представляет угрозу безопасности и устойчивости будущих космических миссий. Поэтому вопросам эффективной деорбитации завершивших свою работу КА уделяется особое внимание. В последние годы

акцент был сделан на аэродинамические методы деорбитации, в частности, на использование устройств, увеличивающих аэродинамическое сопротивление, таких как мембранные паруса. Такие устройства способствуют ускоренному снижению высоты орбиты за счет взаимодействия с атмосферой. Однако остаются нерешенные проблемы, связанные с обеспечением стабильности ориентации таких систем под воздействием солнечной радиации, гравитационных возмущений и других факторов космической среды (Zhang et al., 2024; Fang et al., 2025).

Современные исследования включают методы Монте-Карло и численные термодинамические модели. Тем не менее, остаются нерешенные вопросы относительно выбора устойчивых материалов и точности моделирования взаимодействия замедлителей с атмосферой на околоземных высотах (Olave et al., 2023; Saqueo et al., 2024). Инновационным решением являются надувные замедлители, которые выделяются своей простотой, малым весом и низкими энергетическими требованиями (Xu et al., 2024; Jiao et al., 2023). Однако такие устройства подвержены риску повреждений от микрометеоритов и космического мусора, а также могут сталкиваться с проблемами надежности раскрытия при низкой плотности атмосферы.

Использование квадратных парусов с контролируемым вращением повышает предсказуемость процесса деорбитации, особенно для КА с высокой площадью поверхности относительно их массы. Однако такие решения требуют сложных и дорогостоящих систем управления ориентацией (Niccolai and Mengali, 2024; Chen et al., 2024). Пирамидальные конфигурации парусов показывают улучшенную устойчивость, но влияние внешних космических факторов остается недостаточно изученным из-за ограниченного наземного моделирования и небольшого количества реальных орбитальных экспериментов (Zhang et al., 2022; Black and Spencer, 2020).

Электродинамические тросы (ЭДТ) представляют собой безтопливный метод снижения высоты орбиты с использованием силы Лоренца. Они значительно ускоряют процесс деорбитации КА, однако создают новые проблемы, связанные с устойчивостью системы в условиях ионосферы, управляемостью троса и его уязвимостью к фрагментам космического мусора. Несмотря на эффективность данного метода, остаются нерешенными вопросы оптимизации параметров троса, выбора материалов и подтверждения его надежности на реальных орбитах (Xiao et al., 2024; Sarego et al., 2021).

В настоящее время в РК нет собственного метода деорбитации КА, который учитывал бы реальные технические характеристики и эксплуатационное состояние наших КА ДЗЗ.

Основная задача данного исследования заключается в разработке эффективного алгоритма деорбитации для КА ДЗЗ KazEOSat-1 с учетом его остаточного запаса топлива, параметров орбиты и требований по снижению рисков для орбитальной инфраструктуры.

Целью данной работы является разработка эффективного алгоритма

деорбитации КА ДЗЗ KazEOSat-1 с учетом его технических характеристик и остаточного ресурса. Это позволит минимизировать риски для орбитальной инфраструктуры и обеспечить соблюдение международных стандартов.

Материалы и основные методы. Исходные орбитальные параметры КА ДЗЗ KazEOSat-1 (элементы TLE) были получены из открытого ресурса CelesTrak. Также, использовалась информация из открытых источников о характеристиках КА, включая массу, остаток, параметры двигателя, орбитальные данные.

Объектом исследования стал казахстанский КА ДЗЗ KazEOSat-1. Для проведения моделирования и расчета деорбитации были использованы следующие исходные параметры КА (таблица 1):

Таблица 1 — Характеристики КА ДЗЗ KazEOSat-1.

Характеристика	Описание
Сухая масса КА	747 кг
Масса КА с топливом, изначальная	830 кг
Масса топлива, изначальная	83 кг
Масса КА с топливом на момент расчетов	814 кг
Масса топлива КА на момент расчета	67 кг
Срок активного существования	7 лет
Платформа	Leostar-500-XO
Размеры КА	2.10×3.70 м
Мощность	1200 Вт
Двигатель на борту	1N, однокомпонентный, гидразин.

КА ДЗЗ KazEOSat-1 находится на солнечно-синхронной низкой околоземной орбите. Основные орбитальные характеристики представлены в таблице 2:

Таблица 2 — Характеристики орбиты КА ДЗЗ KazEOSat-1

Характеристика	Описание
Позиция КА	738×742 км
Большая полуось орбиты	750 км
Наклонение орбиты	98.5 град
Классификация орбиты	Низкая околоземная
Тип орбиты	солнечно - синхронный

Для моделирования работы двигательной установки малой тяги (ДМТ) использовались технические характеристики двигателя 1N (таблица 3):

Таблица 3 — Характеристики двигателя 1N

Характеристика	Величина
Номинальная тяга	1 Н
Диапазон используемой тяги	0.320–1.1 Н
Номинальный удельный импульс	220 сек
Диапазон используемого удельного импульса	200–223 сек

Номинальный массовый расход топлива	0.44 г/с
Диапазон используемого массового расхода топлива	0.142–0.447 г/с
Минимальный порционный импульс	0.01–0.043 Н
Масса двигателя с сопловой частью	290 г
Топливо	Гидразин (N4H4)
Количество на борту КА	4 штуки
Угол между тягой и направлением движения	30 град

Все указанные параметры были использованы в качестве исходных данных для построения численной модели деорбитации. Моделирование орбитального движения и процессов деорбитации проводилось на основе законов небесной механики и динамики полета искусственных спутников Земли. Для расчета высоты орбиты, координат и скоростей КА использовались Кеплеровы элементы, которые преобразовывались в декартовы координаты.

Вся процедура моделирования и расчетов была реализована с использованием Matlab. Разработанные скрипты обеспечивали автоматизированный ввод исходных данных, расчет орбитальных параметров, определение последовательности маневров и визуализацию траекторий.

Результаты. На первом этапе расчетов был осуществлен сбор исходных орбитальных данных КА ДЗЗ KazEOSat-1, необходимых для дальнейшего моделирования траектории деорбитации. В качестве базовых данных использовались элементы TLE (two-line element set), которые регулярно обновляются в базе CelesTrak.

КА ДЗЗ KazEOSat-1 проходит над зоной радиовидимости наземных станций в среднем не менее 5–6 раз в сутки. Такая частота пролетов обеспечивает регулярные возможности для проведения сеансов связи и получения информации от КА, которая показана на рисунке 1.

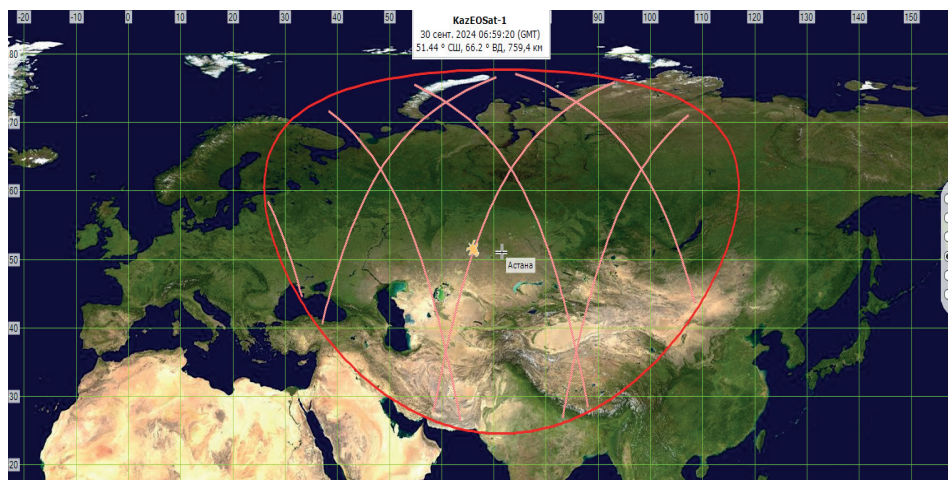


Рисунок 1 — Зона радиовидимости КА KazEOSat-1 над территорией РК

Исходные орбитальные параметры KazEOSat-1 были получены с сайта CelesTrak, где актуальные TLE для КА доступны по названию или номеру из базы данных NORAD. Для расчетов использовались элементы TLE, актуальные на 30 сентября 2024 года, 21:23:07 UTC.

KAZEOSAT 1:

1 39731U 14024A 24274.89106327 .00000983 00000+0 31265-3 0 9998.

2 39731 98.3873 349.5671 0001084 91.4249 268.7065 14.42027901548584.

На основе выбранных TLE для KazEOSat-1 была определена фактическая орбитальная позиция КА на момент начала расчетов по деорбитации. Для анализа использовалось Matlab. Рабочий процесс включал следующие этапы:

1. Поиск актуальных данных TLE.
2. Запуск Matlab и открытие скрипта для обработки орбитальных данных.
3. Загрузка файла с TLE в программу и автоматическое извлечение параметров орбиты.
4. Получение координат и скорости KazEOSat-1, необходимых для последующего моделирования.

В результате была сформирована исходная орбитальная база для проведения дальнейших численных экспериментов по моделированию деорбитации KazEOSat-1.

После ввода TLE-элементов KazEOSat-1 в скрипт Matlab были получены орбитальные параметры, соответствующие состоянию спутника на 30 сентября 2024 года, 21:23:07 UTC. В результате обработки данных были определены основные Кеплеровы элементы орбиты, которые легли в основу последующих расчетов. На основе этих элементов были вычислены пространственные координаты КА (x , y , z) и высота орбиты на выбранный момент времени.

Вычисленные параметры орбиты использовались в первом скрипте для определения текущей высоты KazEOSat-1 в момент начала моделирования. Данная величина задает исходную точку для последующего расчета этапов активной фазы деорбитации КА. Для определения высоты орбиты применялась следующая формула (1):

$$h = \sqrt{(x)^2 + (y)^2 + (z)^2} - R \quad (1)$$

где x , y , z – координаты КА относительно центра Земли; R – радиус Земли.

В результате вычислений с использованием первого скрипта и формулы (1) установлено, что начальная высота рабочей орбиты KazEOSat-1 на момент моделирования составляет 758 км. Данный параметр был принят за отправную точку для дальнейшего расчета траектории деорбитации КА.

На рисунке 2 (а) показана пространственная траектория движения КА за один полный виток, с отмеченным фактическим положением KazEOSat-1 в момент начала расчетов. Для лучшего понимания геометрии орбиты, без учета поверхности Земли визуализация приведена отдельно на рисунке 2 (б).

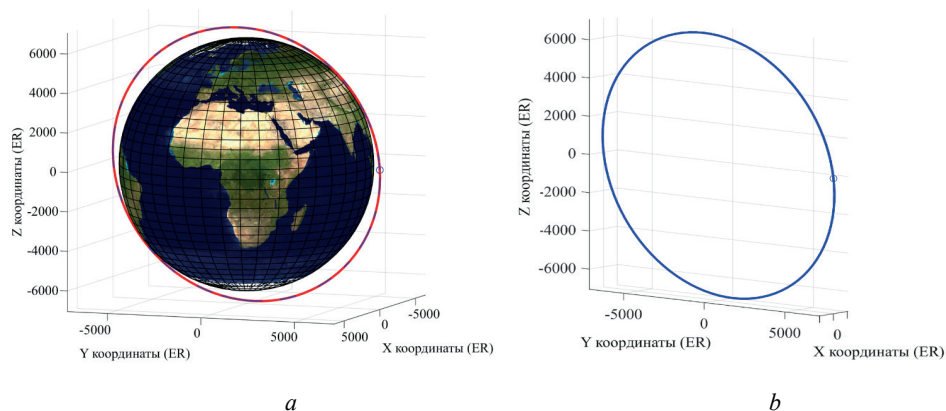


Рисунок 2 — Рабочая орбита КА и местоположение к началу расчета: *a* – с изображением Земли; *б* – без изображения Земли

На рисунке 2 (б) показана траектория KazEOSat-1 за один орбитальный виток, основанная на результатах моделирования. Синяя линия обозначает путь КА вокруг Земли, а маленький синий круг указывает на его начальное положение КА на 30 сентября 2024 года, 21:23:07 UTC, которое выбрано в качестве отправной точки для всех последующих расчетов. В процессе моделирования были учтены основные орбитальные параметры и соблюдены масштабные соотношения, что обеспечивает корректность визуализации. Расчетная траектория показывает движение спутника за один оборот, начиная с указанного положения. Важно отметить, что незначительные внешние воздействия, такие как гравитационные возмущения или атмосферное сопротивление на рассматриваемой высоте, в данном анализе не учитывались из-за их минимального влияния на параметры орбиты за короткий временной промежуток.

Полученная модель орбиты KazEOSat-1 за один полный виток, основанная на актуальных исходных данных, позволяет с высокой точностью определить пространственное положение и высоту КА на начальном этапе расчетов. Данный результат является отправной точкой для следующего этапа моделирования траектории деорбитации, поскольку правильная фиксация начальных параметров критически важна для выбора и реализации оптимальной последовательности маневров по снижению орбиты КА.

Для повышения эффективности и упрощения расчетов на следующем этапе моделирования было принято допущение о постоянстве наклонения орбиты KazEOSat-1 ($\Delta i=0$). Это означает отсутствие изменения этого параметра во время маневра. Предполагается компланарный переход, при котором изменение высоты орбиты происходит без изменения наклонения. В этом случае орбиту КА удобно представлять в двумерной системе координат (x, y), что значительно облегчает расчет параметров переходных маневров. Такой подход применим в тех ситуациях, когда исходная и целевая орбиты

имеют одинаковое наклонение, что подтверждает его актуальность для рассматриваемой задачи.

Разработанный скрипт позволил рассчитать активную деорбитацию KazEOSat-1 с использованием ДМТ, установленной на борту КА. Для моделирования были использованы параметры КА, представленные в таблице 1. KazEOSat-1 работает на солнечно-синхронной низкой околоземной орбите, что является характерным для КА ДЗЗ. Основные параметры его орбиты указаны в таблице 2.

Для расчета параметров деорбитационного маневра использовалась информация из таблицы 3. На основе этих данных были определены необходимые значения импульсов и расхода топлива на различных этапах моделирования.

Для расчета последовательных этапов активной деорбитации использовались формулы (2)–(9). Поскольку KazEOSat-1 оснащен ДМТ, одномоментный перевод КА с рабочей орбиты на орбиту, где начнется пассивная фаза деорбитации невозможен. Снижение высоты происходило ступенчато, с последовательным уменьшением. В связи с этим расчетные выражения были адаптированы для многократного применения малых импульсов, что отражено в следующих формулах:

$$\Delta V_{1n} = V_{an} - V_{kp1n}, \quad (2)$$

где ΔV_{1n} – величина первого импульса скорости для торможения, определяемая разностью скоростей в апогее переходной траектории и на исходной околокруговой орбите порядка n , м/с.

Величина второго импульса, необходимого для перевода КА с переходной траектории на финальную орбиту, определяется следующим выражением:

$$\Delta V_{2n} = V_{kp2n} - V_{pn}, \quad (3)$$

где ΔV_{2n} – второй импульс торможения, который рассчитывается как разность скоростей в перигее переходной траектории и на конечной околокруговой орбите порядка n , м/с.

Суммарный импульс, необходимый для выполнения всей последовательности деорбитационных маневров, определялся как сумма всех применяемых скоростных импульсов:

$$\sum_0^n \Delta V_n = \Delta V_{1n} + \Delta V_{2n}, \quad (4)$$

Масса топлива, необходимая для перевода КА на орбиту утилизации, определялся на основе характеристик ДМТ и требуемого значения скоростного импульса. Для расчета массы топлива, затрачиваемого на выполнение первого импульса, использовалась следующая формула:

$$m_T = m_{KA} * \left[1 - e^{\frac{\Delta V}{I_{уд}}} \right], \quad (5)$$

где m_{KA} – масса КА, e – число Эйлера равное 2,7182818284, $I_{уд}$ – удельный импульс КА в м/с, ΔV – импульс скорости маневра.

В расчетах использовалось фиксированное время работы ДМТ, поэтому масса израсходованного топлива определялся с учетом данного параметра. Соответствующее выражение является модифицированным вариантом формулы (5):

$$m_T = m * \Delta t, \quad (6)$$

где m_T – масса топлива, кг, m – масса расхода топлива за 1 секунду работы ДМТ, Δt – время работы двигателя.

В этом случае величина скоростного импульса определяется следующим образом:

$$\Delta V = \frac{F}{m_{\pi}} * \Delta t,$$

где ΔV – импульс изменения скорости, м/с; F – тяга, производимая двигателем при работе, Н; m_{π} – масса КА с учетом топлива, кг; Δt – рабочее время двигателя, с.

При этом необходимо учитывать, что на борту КА ДЗЗ KazEOSat-1 установлены 4 сопла ДМТ, расположенные по бокам корпуса. Угол α между вектором тяги и направлением движения КА не равен 0. Поэтому результирующая тяга определяется следующим образом:

$$F = 4 * F_H * \cos \alpha, \quad (7)$$

где F_H – номинальная тяга одного двигателя, α – угол между направлением тяги и движением КА.

При моделировании также учитывается влияние атмосферы Земли как одного из факторов, воздействующих на траекторию деорбитации КА. В связи с этим в расчеты включена сила аэродинамического сопротивления, которая оказывает тормозящее действие на КА:

$$F_A = C_{xa} S_M \frac{\rho V^2}{2}, \quad (8)$$

где C_{xa} – коэффициент аэродинамического сопротивления корпуса КА; S_M – эффективная площадь лобовой поверхности при снижении; ρ – плотность

атмосферы на соответствующей высоте; g – ускорение свободного падения равное $9,81 \text{ м/с}^2$; V – текущая скорость движения КА.

Обсуждение. Таким образом, для определения величины тормозного импульса используется следующее выражение:

$$\Delta V = \frac{F + F_A}{m_{\pi}} * \Delta t, \quad (9)$$

где ΔV – изменение скорости КА, м/с; F – тяга, создаваемая ДМТ, F_A – сила торможения КА об атмосферу, Н; m_{π} – масса КА с учетом топлива, кг; Δt – рабочее время двигателя, с.

В рассматриваемом процессе снижение орбиты KazEOSat-1 достигается как за счет тормозных импульсов, создаваемых ДМТ, так и под воздействием аэродинамического сопротивления верхних слоев атмосферы Земли.

Процесс деорбитации KazEOSat-1 наглядно представлен на рисунке 3. Красная линия на графике отображает исходную орбиту спутника, соответствующую траектории, показанной ранее на рисунке 2 (б), но в двумерной проекции – для удобства анализа компланарных переходов. Активные этапы снижения высоты, осуществляемые с помощью включения ДМТ и расхода топлива, обозначены черной линией. Длина данного участка остается постоянной, так как время подачи импульса фиксировано. Пассивные фазы снижения, когда деорбитация КА происходит исключительно под действием аэродинамического сопротивления, выделены зеленой линией. Для визуального ориентирования на графике также отмечен радиус Земли, обозначенный синей линией.

Процесс деорбитации КА KazEOSat-1 с использованием импульсных тормозных маневров, выполняемых ДМТ, представлен на рисунке 3.

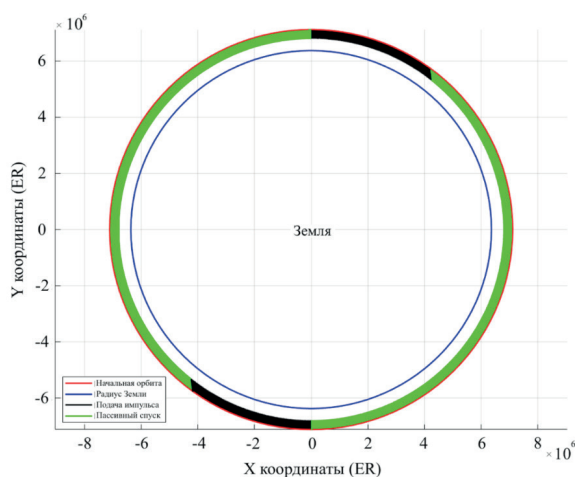


Рисунок 3 — График деорбитации КА при импульсивном торможении ДМТ

Существенное снижение высоты орбиты КА KazEOSat-1 достигнуто благодаря последовательному выполнению тормозных маневров ДМТ. Для плавного перехода на более низкую круговую орбиту были осуществлены два импульса торможения, каждый из которых длился 600 секунд. Эти импульсы использовались в диаметрально противоположных точках орбиты (с углом разделения 180°), что связано как с необходимостью восстановления работоспособности двигателя между включениями, так и с оптимизацией режима работы ДМТ в условиях заданной динамики КА.

Оба импульсных маневра выполняются за один орбитальный виток, что эффективно снижает высоту орбиты КА KazEOSat-1 в этот период. Для наглядности основные результаты моделирования представлены в компактной форме. Динамика изменения высоты орбиты отображена с интервалом в 50 км. Такой шаг позволяет акцентировать внимание на важных этапах процесса деорбитации и упрощает восприятие общей картины изменений орбитальных параметров.

В рамках работы был реализован алгоритм расчета и моделирования начальных орбитальных параметров КА KazEOSat-1 для последующей деорбитации. Основная особенность разработанного подхода заключается в адаптации традиционных методов коррекции орбит к специфике задач по снижению КА с орбиты, с учетом актуальных технических параметров, характеристик орбиты, внешних условий и доступных запасов топлива.

На рисунке 4 показана схема алгоритма, показывающая основные этапы расчета и моделирования исходных орбитальных параметров КА KazEOSat-1.

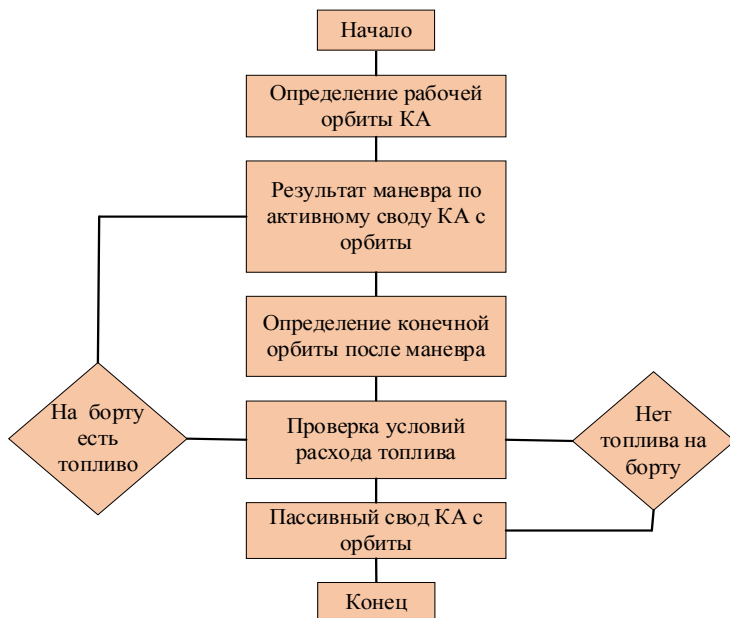


Рисунок 4 — Алгоритм расчета и моделирования начальных орбитальных параметров

Алгоритм деорбитации КА KazEOSat-1 включает несколько последовательных этапов, начиная с построения орбитальной модели на основе данных TLE. После преобразования TLE в эфемериды (координаты x , y , z и компоненты скорости v_x , v_y , v_z) рассчитывается траектория КА на один виток.

Далее начинается активная фаза: определяется рабочая орбита, рассчитываются моменты и параметры подачи импульсов ДМТ. Первый импульс изменяет форму орбиты, а второй, приложенный в диаметрально противоположной точке, корректирует ее для поддержания околокруговой траектории. Этот цикл повторяется на каждом витке до исчерпания запасов топлива, что обеспечивает ступенчатое снижение высоты орбиты. На данном этапе влияние других космических объектов не учитывается, так как расчеты сосредоточены на динамике КА KazEOSat-1.

После завершения активной фазы снижения начинается пассивная фаза деорбитации, в ходе которой КА постепенно теряет высоту исключительно за счет аэродинамического сопротивления. Когда высота орбиты достигает критического значения, КА входит в плотные слои атмосферы, где происходит его торможение, разрушение и сгорание. Алгоритм охватывает полный жизненный цикл деорбитации – от расчета исходных параметров до безопасного завершения миссии и деорбитации КА с орбиты.

Данное моделирование подтвердило эффективность предложенного алгоритма для управляемой деорбитации КА KazEOSat-1. Ступенчатое снижение орбиты с использованием ДМТ и актуальных TLE обеспечивает точность расчетов и контроль параметров траектории. Основное ограничение метода связано с упрощенными допущениями и недостаточным учетом сложных внешних возмущений. Тем не менее, такой подход оправдан для практических задач с аналогичными условиями. Полученные результаты могут быть использованы для планирования деорбитации.

Закключение. В результате проведенного исследования был разработан алгоритм расчета и моделирования процесса деорбитации КА ДЗЗ KazEOSat-1, который учитывает актуальные орбитальные параметры, особенности конструкции и ограничения по остаточному запасу топлива. На основе обновленных TLE и технических характеристик КА реализована поэтапная схема деорбитации. Она включает последовательные импульсные маневры ДМТ, а также переход к пассивной фазе, когда на КА начинает действовать аэродинамическое сопротивление. Проведенный анализ показал, что предложенный подход обеспечивает эффективное и контролируемое снижение высоты орбиты, снижая вероятность образования нового космического мусора и минимизируя риски для других космических объектов. Кроме того, он соответствует международным стандартам по утилизации КА.

Уникальность предложенного алгоритма заключается в адаптации методов коррекции орбиты к задачам деорбитации КА с учетом реальных технических ограничений и внешних факторов. Полученные результаты могут быть

использованы для планирования завершения эксплуатации аналогичных КА на низких околоземных орбитах. В будущем целесообразно расширить алгоритм, интегрировав модели многоспутниковых сценариев и анализируя влияние долгосрочных возмущающих факторов на процесс деорбитации.

Важно подчеркнуть, что разработка и внедрение эффективных алгоритмов деорбитации КА имеют стратегическое значение для РК. Это связано с возрастающей ролью национальных космических программ и необходимостью соблюдения международных обязательств по снижению уровня космического мусора. Реализация предложенного подхода повысит технологическую независимость страны в управлении завершением жизненного цикла отечественных спутников и минимизирует потенциальные риски для национальной и мировой орбитальной инфраструктуры.

References

- Black A., & Spencer D.A. (2020) DragSail systems for satellite deorbit and targeted reentry. *Journal of Space Safety Engineering*, 7(3). — P. 397-403 (in Eng.).
- Caqueo N., et al. (2024) Inflatable aerodynamic decelerators for CubeSat reentry and recovery: Surface properties. *Aerospace Science and Technology*, 149. — P. 109151 (in Eng.).
- Chen J., Chen S., Qin Y., Zhu Z., & Zhang J. (2024) Aerodynamic analysis of deorbit drag sail for CubeSat using DSMC method. *Aerospace*, 11(4). — P. 315 (in Eng.).
- Fang G., Yun W., Liu L., Chen W., Cai J., Yan B., ... & Meng G. (2025) Advances in large-area membrane drag sail technology for standardized application on launch vehicle upper stages. *Aerospace Science and Technology*, 110617 (in Eng.).
- International Organization for Standardization (2023) Space systems—Space debris mitigation requirements (ISO 24113:2023E) (4th ed.) (in Eng.).
- Jiao N., Yang K., & Zhang J. (2023). Research on folding and inflation process of the drag balloon deorbit device. In *AOPC 2023: Laser Technology and Applications; and Optoelectronic Devices and Integration*, vol. 12959. — P. 194-204 (in Eng.).
- Niccolai L., & Mengali G. (2024). Performance estimate of a spin-stabilized drag sail for spacecraft deorbiting. *Applied Sciences*, 14(2). — P. 612. DOI:10.3390/app14020612 (in Eng.).
- Olave D.R., Jara N.C., Palharini R.C., Palharini R.S.A., Gaglio E., & Savino R. (2023) Inflatable aerodynamic decelerator for CubeSat reentry and recovery: Altitude effects on the flowfield structure. *Aerospace Science and Technology*, 138, 108358. (in Eng.).
- Sarego G., Olivieri L., Valmorbidia A., Brunello A., Lorenzini E. C., Tarabini Castellani L., ... & Sánchez-Arriaga G. (2021) Deployment requirements for deorbiting electrodynamic tether technology. *CEAS Space Journal*, 13, 567–581. DOI:10.1007/s12567-021-00349-5 (in Eng.).
- Strategy “Kazakhstan-2050”: a new political course of the established state, the Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan “Adilet”, as of 05/10/2025 [Strategiya «Kazakhstan-2050»: novyi politicheskii kurs sostoyavshegosya gosudarstva, Informatsionno-pravovaya sistema normativnykh pravovykh aktov Respubliki Kazakhstan «Adilet»]. [Online]. Access: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1200002050> (Available: 04.09.2025) (in Rus.).
- Wei J., Zhang Y., Hou Y., & Tan H. (2023) Design and performance analysis of an inflatable film balloon for drag deorbiting. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 63(3). — P. 302-310 (in Eng.).
- Xiao H., Huang J., Liu G., & Lv Y. (2020) Space environment modeling and deorbiting efficiency analysis for electro-dynamic tether system. In *Proceedings of the 2020 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. — P. 5063–5067. IEEE. DOI:10.1109/CCDC49329.2020.9164373 (in Eng.).
- Xu Y., et al. (2024) Numerical simulation of rigid-flexible coupled dynamics for an inflatable sphere deorbiting device. *Advances in Space Research*, 74(1). — P. 373–383 (in Eng.).

Zhang J., Zhang R., & Yang K. (2022) Attitude stability analysis and configuration design of pyramid drag sail for deorbit missions. *Journal of Aerospace Engineering*, 35(6). — 04022084 p. (in Eng.).

Zhang R., Yang K., Zhang J., & Bi S. (2024) Overview and key technology of the membrane drag sail for low Earth orbit satellite deorbit. *Space Science and Technology*, 4, 0115. DOI:10.34133/space.0115 (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x881/8.

20,0 п.л. Заказ 1.