

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№2
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

3 (359)

JULY – SEPTEMBER 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 Мақсат 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 Галимканр 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>

СМОЛАРЖ 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>

ОТМАН 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 Александр 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

Akhmetova A.Zh., Kantureyeva M.A., Serimbetov B.A., Zhasuzakova M.Zh., Mustafayeva N.T. Identification of communities and active users in social networks.....	11
Akzhigitov D., Mukhtarkhanov M., Zhetpisbayeva A., Kulakayeva A., Zhetpisbayev K. Analysis of the mechanical structure of a 12U CubeSat nanosatellite and assessment of its mechanical stability.....	29
Alibekov A., Nurimanov A., Mukhametkali A., Kassym D., Varol H.A. Qolda-Math: a small vision-language model for mathematical reasoning in Kazakh.....	50
Alisheva S.S., Ospanova A.O., Shaimerdenova G.S., Shaimerdenova L., Zhidebayeva A.N. Detecting Kazakh language offensive comments in online content using deep learning algorithms.....	68
Askar G., Mutaikhan A., Aitkozhasyeva M., Nauryzbaikyzy G., Makhataeva Z. Retrieval beats fine-tuning: adapting a Kazakh small language model for historical question answering.....	86
Beissenova G.I., Shynzhigit B.B., Beisebayeva A.Zh., Kaldarova B.S., Lesbayev A.U. Deep neural network-based speaker authentication for secure access control systems.....	106
Bekenuly B., Baimakhanova A., Baiturganova V., Bolatbekova D. Comparison of CNN architectures for automated ACL injury classification from knee MRI.....	123
Bekbolat A., Razak A., Alimbayeva Z., Ozhikenova A. Multi-task deep learning for knee MRI pathology classification.....	139
Issakhov A., Akylbekkyzy A., Abylkassymova A. Predicting the spread of airborne viral infections in enclosed spaces.....	158
Kisseleva O., Abdramanov K., Naumenko V., Mukanova Z., Maintser D. Evaluation of serverless cold start optimization techniques.....	177
Koshkarov Ye.Zh., Amirgaliyev B.Ye., Mulesa O. Physics-aware masked pretraining for cross-basin well log foundation models.....	197
Kurmetkan T., Turysbek Zh., Mukhitova A., Nauryzbaeva A. Research on methods for reducing knowledge conflicts in large language models in Kazakh question-and-answer systems.....	214
Makatov Ye.K., Abdul Razaque, Ismukanova A.N., Salykova A.K., Glock E.S. Machine learning-based model for phishing URL detection in online social networks.....	233
Mimenbayeva A.B., Naizagarayeva A.A., Ospanova T.T., Koikelova D.K., Kudabayeva R.N. Spatial and climate data analysis for machine learning-based crop yield prediction in Northern Kazakhstan.....	255
Mukhamediev R.I., Abdoldina F.N., Gertsen Y.A. Economic opportunities and constraints of artificial intelligence adoption in Kazakhstan's resource-oriented economy.....	274

Mutanov G.M., Karyukin V.I., Ussatova O.A., Begimbayeva Y.Y., Baispay G.B. The assessment of blockchain readiness for academic document verification.....	289
Mussiraliyeva Sh., Bolatbek M., Baisylbayeva K. Classification of cyber-extremist ideologies in the Kazakh language considering multi-annotator disagreement.....	306
Omarov B.S., Sultan D.R., Rakhymberdiev D.S., Abibullayeva A.A., Toktarova A.B. Deformable attention-guided Transformer for brain tumor segmentation.....	326
Oralbekova D., Bekarystankyzy A., Yerimbetova A., Berzhanova U. Development of a streaming Kazakh speech recognition system using end-to-end models.....	346
Serek A., Shoiynbek A., Zheludkov M., Kuanyshbay D., Meraliyev B. Comparative analysis of machine learning methods for detecting fraud in text messages.....	365
Smakhanova A.K., Uskenbayeva R.K., Kassymova A.B., Kalpeyeva Zh.B., Konyrbaev N.B. Experimental research using models and methods of the university digital ecosystem.....	384
Sultanali A.E., Kazbekova G.N. Machine learning-based detection of AI-generated content in students' written works.....	401
Tashenova Zh., Yergazin A., Nurlybaeva E., Abdugulova Zh., Amanzholova Sh. Experimental evaluation of a hybrid IDPS with adaptive learning for low-latency 5G networks using edge computing.....	418
Telman D., Yerimbetova A., Daiyrbayeva E. Leakage-resistant fake news detection for Kazakh: temporal evaluation of lexical, Transformer and hybrid models.....	441
Zhanegizov A., Mamyrbayev O., Abdigappar M. Application of YOLO12 for road defect detection in GPR images.....	457

МАЗМҰНЫ

Ахметова А.Ж., Кантуреева М.А., Серимбетов Б.А., Жасұзақова М.Ж., Мұстафаева Н.Т. Әлеуметтік желілердегі қауымдастықтар мен белсенді қолданушыларды анықтау.....	11
Ақжігітов Д.Ж., Мұхтарханов М.О., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жетписбаев К.У. 12U CubeSat үлгісіндегі наноспутниктің механикалық құрылымын талдау және оның механикалық орнықтылығын бағалау.....	29
Алибеков А., Нуриманов А., Мұхаметқали А., Қасым Д., Варол Х.А. Qolda-Math: қазақ тіліндегі математикалық пайымдауға арналған кіші көру-тілдік модель.....	50
Алишева С.С., Оспанова А.О., Шаймерденова Г.С., Шаймерденова Л., Жидебаева А.Н. Онлайн-контенттегі қазақ тіліндегі бейәдеп пікірлерді терең оқыту алгоритмдері арқылы анықтау.....	68
Асқар Ғ., Мұтайхан А., Айтқожаева М., Наурызбайқызы Г., Махатаева Ж. Retrieval fine-tuning-тен басым: тарихи сұрақтарға жауап беру үшін қазақша шағын тілдік модельді бейімдеу.....	86
Бейсенова Г.И., Шынжігіт Б.Б., Бейсебаева А.Ж., Қалдарова Б.С., Лесбаев А.У. Терең нейрондық желіге негізделген қауіпсіз басқару жүйелерінде сөйлеушіні аутентификациялау.....	106
Бекенұлы Б., Баймаханова А., Байтурганова В., Болатбекова Д. Алдыңғы крест тәрізді байлам жарақатын анықтауға арналған CNN архитектураларын салыстыру.....	123
Бекболат А., Разак А., Алимбаева Ж., Ожикенова А. Tize MPT патологиясын жіктеуге арналған көп тапсырмалы терең оқыту.....	139
Исahов А.А., Ақылбекқызы А., Абылкасымова А. Шектеулі кеңістіктерде әуе тамшыларымен вирустық инфекцияның таралуын сандық модельдеу.....	158
Киселева О., Абдраманов Қ., Науменко В., Мұқанова Ж., Майнцер Д. Serverless жүйелеріндегі суық іске қосуды оңтайландыру әдістерін эксперименттік бағалау.....	177
Кошкарров Е.Ж., Амиргалиев Б.Е., Мүлеса О. Бассейнаралық ұңғымалық диаграммалардың іргелі модельдерін физикалық тұрғыдан негізделген масқаланған алдын ала оқыту.....	197
Құрметқан Т., Тұрысбек Ж., Мұхитова А., Наурызбаева А. Қазақ тіліндегі сұрақ-жауап жүйелерінде үлкен тілдік модельдердегі білім қайшылықтарын азайту әдістерін зерттеу.....	214
Мақатов Е.К., Abdul Razaque, Исмуканова А.Н., Салыкова А.К., Глюк Е.С. Онлайн әлеуметтік желілердегі фишингтік URL-дарды анықтауға арналған машиналық оқыту негізіндегі модель.....	233

Мименбаева А.Б., Найзағараева А.А., Оспанова Т.Т., Қойкелова Д.К., Қудабаева Р.Н. Солтүстік Қазақстандағы дақылдар өнімділігін машиналық оқыту арқылы болжауда кеңістіктік және климаттық деректерді талдау.....	255
Мухамедиев Р.И., Абдолдина Ф.Н., Герцен Е.А. Қазақстанның ресурстық бағытталған экономикасына жасанды интеллектті енгізудің экономикалық мүмкіндіктері мен шектеулері.....	274
Мутанов Г.М., Карюкин В.И., Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Байспай Г.Б. Білім беру құжаттарының түпнұсқалығын тексеруге блокчейн технологиясының дайындығын бағалау.....	289
Мусиралиева Ш., Болатбек М., Байсылбаева К. Көпанныаторлы келіспеушілікті ескере отырып қазақ тіліндегі киберэкстремистік идеологияларды жіктеу.....	306
Омаров Б.С., Сұлтан Д.Р., Рахымбердиев Д.С., Абибуллаева А.А., Тоқтарова А.Б. Ми ісіктерін сегменттеуде деформацияланатын зейін механизміне негізделген мультимодальды трансформер.....	326
Оралбекова Д.О., Бекарыстанқызы А., Еримбетова А.С., Бержанова У.Г. Интегралды модельдерді қолдану арқылы қазақ тіліндегі ағындық сөйлеуді тану жүйесін әзірлеу.....	346
Серек А., Шойынбек А., Желудков М., Қуанышбай Д., Мералиев Б. Мәтіндік хабарламалардағы алаяқтықты анықтауға арналған машиналық оқыту әдістерінің салыстырмалы талдауы.....	365
Смаханова А.К., Ускенбаева Р.К., Касымова А.Б., Кальпеева Ж.Б., Қоңырбаев Н.Б. Университеттің цифрлық экожүйесінің модельдері мен әдістерін қолдана отырып жүргізілген эксперименттік зерттеу.....	384
Сұлтанәлі А.Е., Казбекова Г.Н. Білім алушылардың жазбаша жұмыстарындағы AI-контентті машиналық оқыту арқылы анықтау.....	401
Ташенова Ж.М., Ергазин Ә., Нұрлыбаева Ә.Н., Абдуғулова Ж.К., Аманжолова Ш.А. Edge Computing көмегімен төмен кідірісті 5G желілеріне арналған бейімделгіш оқытуы бар гибриді IDPS-ті эксперименттік бағалау.....	418
Тельман Д., Еримбетова А., Дайырбаева Ә. Қазақ тіліндегі жалған жаңалықтарды анықтау: лексикалық, трансформерлік және гибридті модельдерді уақыт бойынша бағалау.....	441
Жанегизов А.С., Мамырбаев Ә.Ж., Абдіғаппар М.Д. YOLO12 моделін георадар кескіндеріне қолдану.....	457

СОДЕРЖАНИЕ

Ахметова А.Ж., Кантуреева М.А., Серимбетов Б.А., Жасузакова М.Ж., Мустафаева Н.Т. Выявление сообществ и активных пользователей в социальных сетях.....	11
Акжигитов Д.Ж., Мухтарханов М.О., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жетписбаев К.У. Анализ механической конструкции наноспутника модели 12U CubeSat и оценка его механической устойчивости.....	29
Алибеков А., Нуриманов А., Мухаметкали А., Касым Д., Варол Х.А. Qolda-Math: маленькая мультимодальная модель зрения и языка для математических рассуждений на казахском языке.....	50
Алишева С.С., Оспанова А.О., Шаймерденова Г.С., Шаймерденова Л., Жидебаева А.Н. Выявление оскорбительных комментариев на казахском языке в онлайн-контенте с помощью алгоритмов глубокого обучения.....	68
Аскар Г., Мутайхан А., Айткожаева М., Наурызбайкызы Г., Махатаева Ж. Retrieval эффективнее fine-tuning: адаптация малой языковой модели казахского языка для ответов на исторические вопросы.....	86
Бейсенова Г.И., Шынжигит Б.Б., Бейсебаева А.Ж., Калдарова Б.С., Лесбаев А.У. Аутентификация личности по голосу на основе глубокой нейронной сети для систем безопасного управления доступом.....	106
Бекенулы Б., Баймаханова А., Байтурганова В., Болатбекова Д. Сравнение архитектур сверточных нейронных сетей для автоматической классификации разрыва ПКС по МРТ коленного сустава.....	123
Бекболат А., Разак А., Алимбаева Ж., Ожикенова А. Многозадачное глубокое обучение для классификации патологий колена по МРТ.....	139
Исахов А.А., Акылбеккызы А., Абылкасымова А. Прогнозирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путем в замкнутых помещениях.....	158
Киселева О., Абдраманов К., Науменко В., Муканова Ж., Майнцер Д. Экспериментальная оценка методов оптимизации холодного запуска в serverless-системах.....	177
Кошкарар Е.Ж., Амиргалиев Б.Е., Мулеса О. Физически-осознанное маскированное предобучение для межбассейновых фундаментальных моделей каротажных диаграмм.....	197
Курметкан Т., Турысбек Ж., Мухитова А., Наурызбаева А. Исследование методов снижения конфликтов знаний в больших языковых моделях казахских вопросно-ответных систем.....	214
Макатов Е.К., Abdul Razaque, Исмуканова А.Н., Салыкова А.К., Глок Е.С. Модель обнаружения фишинговых URL в онлайн-социальных сетях на основе машинного обучения.....	233

Мименбаева А.Б., Найзагараева А.А., Оспанова Т.Т., Койкелова Д.К., Кудабаяева Р.Н. Анализ климатических данных для прогнозирования урожайности пшеницы методами машинного обучения в Северном Казахстане.....	255
Мухамедиев Р.И., Абдолдина Ф.Н., Герцен Е.А. Экономические возможности и ограничения внедрения искусственного интеллекта в ресурсно-ориентированной экономике Казахстана.....	274
Мутанов Г.М., Карюкин В.И., Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Байспай Г.Б. Оценка готовности технологии блокчейн к проверке подлинности документов об образовании.....	289
Мусиралиева Ш., Болатбек М., Байсылбаева К. Классификация киберэкстремистских идеологий на казахском языке с учетом разногласий нескольких аннотаторов.....	306
Омаров Б.С., Султан Д.Р., Рахымбердиев Д.С., Абибуллаева А.А., Токтарова А.Б. Мультимодальный трансформер на основе механизма деформируемого внимания для сегментации опухолей головного мозга.....	326
Оралбекова Д.О., Бекарыстанкызы А., Еримбетова А.С., Бержанова У.Г. Распознавание казахской речи с применением интегральных моделей.....	346
Серек А., Шойынбек А., Желудков М., Куанышбай Д., Мералиев Б. Сравнительный анализ методов машинного обучения для выявления мошенничества в текстовых сообщениях.....	365
Смаханова А.К., Ускенбаева Р.К., Касымова А.Б., Кальпеева Ж.Б., Конырбаев Н.Б. Экспериментальное исследование с использованием моделей и методов цифровой экосистемы университета.....	384
Султанали А.Е., Казбекова Г.Н. Обнаружение AI-контента в письменных работах обучающихся методами машинного обучения.....	401
Ташенова Ж.М., Ергазин А., Нурлыбаева Э.Н., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А. Экспериментальная оценка гибридной системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDPS) с адаптивным обучением для сетей 5G с низкой задержкой с использованием граничных вычислений.....	418
Тельман Д., Еримбетова А., Дайырбаева Э. Обнаружение фейковых новостей на казахском языке: временная оценка лексических, трансформерных и гибридных моделей.....	441
Жанегизов А.С., Мамырбаев О.Ж., Абдигаппар М.Д. Применение модели YOLOv12 для анализа данных георадара.....	457

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 3.
Number 359 (2026). 29–49

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.450>

IRSTI 89.25

UDC 629.78

© Akzhigitov D.¹, Mukhtarkhanov M.², Zhetpisbayeva A.^{1,3*},
Kulakayeva A.^{1,4}, Zhetpisbayev K.¹, 2026.

¹LLP «Ghalam», Astana, Kazakhstan;

²Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan;

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

⁴JSC «International Information Technology University», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: aigulji@mail.ru

ANALYSIS OF THE MECHANICAL STRUCTURE OF A 12U CUBESAT NANOSATELLITE AND ASSESSMENT OF ITS MECHANICAL STABILITY

Akzhigitov Dulat — Mid Design Engineer at Ghalam LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: d.akzhigitov@ghalam.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1078-9629>;

Mukhtarkhanov Muslim — Research Assistant, Nazarbayev University, School of Engineering and Digital Sciences, Astana, Kazakhstan,

E-mail: muslim.mukhtarkhanov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0285-2963>;

Zhetpisbayeva Ainur — PhD, associate professor of the department of «Radio engineering, electronics, and telecommunications» L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan,

E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Kulakayeva Aigul — PhD, Associate Professor, «International Information Technology University» JSC, Almaty, Kazakhstan,

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

Zhetpisbayev Kairatbek — Lead Design Engineer at Ghalam LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: k.zhetpisbayev@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-8828-0075>

Abstract. This paper examines the mechanical stability of a 12U nanosatellite structure. CubeSat platforms are widely used for Earth observation, communication, and scientific missions, but their reliable operation depends not only on onboard systems. The stiffness of the frame, payload arrangement, and resistance to launch loads are also important. The aim of this work was to determine the modal and strength characteristics of a 12U CubeSat structure and assess the reliability of its main fastening elements. The study was based on finite element modelling. The satellite body was designed with dimensions of $232 \times 245 \times 363$ mm, and Al 7075 aluminium alloy was selected as the main structural material. Calculations were

performed in MSC Apex and MSC Nastran/Patran. The body panels were modelled using shell elements, while onboard subsystems were represented as concentrated masses. The analysis considered the Cal Poly specification, ECSS requirements, and NASA GEVS recommendations. Modal analysis, strength assessment under 100 g quasi-static loading, and verification of bolted joints were carried out. The first natural frequency of the structure was 365 Hz, which is well above the 100 Hz lower limit usually applied to CubeSat structures. This confirms sufficient stiffness of the frame. The minimum margin of safety was 1.36 for yield strength and 1.66 for ultimate strength. The fastening elements also showed acceptable safety margins under the considered loading conditions. Thus, the proposed 12U CubeSat structure can withstand the calculated launch loads. The results may be used for payload integration, structural refinement, and preparation for vibration testing.

Keywords: 12U CubeSat, mechanical stability, finite-element analysis (FEA), modal analysis, nanosatellites, satellite spacecraft, satellite

Financing. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education, Research Identification Registration Number (IRN) BR27198365 - Development of a short-wave infrared optoelectronic system in context of development of remote sensing space systems in Kazakhstan.*

For citations: Akzhigitov D., Mukhtarkhanov M., Zhetpisbayeva A., Kulakayeva A., Zhetpisbayev K. Analysis of the mechanical structure of a 12U cubesat nanosatellite and assessment of its mechanical stability. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.3. — P. 29–49. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.450>

© Ақжігітов Д.Ж.¹, Мухтарханов М.О.², Жетписбаева А.Т.^{1,3*},
Кулакаева А.Е.^{1,4}, Жетписбаев К.У.¹, 2026.

¹ «Ghalam» ЖШС, Астана, Қазақстан;

² Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан;

³ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

⁴ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: aigulji@mail.ru

12U CUBESAT ҮЛГІСІНДЕГІ НАНОСПУТНИКТИҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Ақжігітов Дулат — бас инженер-конструктор, «Ghalam» ЖШС, Астана, Қазақстан,
E-mail: d.akzhigitov@ghalam.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1078-9629>;

Мухтарханов Мұслим — ғылыми ассистент, Инженерия және цифрлық ғылымдар мектебі,

Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: muslim.mukhtarkhanov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0285-2963>;

Жетписбаева Айнур Тұрсынхановна — PhD, қауымдастырылған профессор, Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Кулакаева Айгүл Ерғалиқызы — PhD, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан,

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

Жетписбаев Қайратбек — жетекші инженер-конструктор, «Ghalam» ЖШС, Астана, Қазақстан,

E-mail: k.zhetpisbayev@ghalam.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8828-0075>.

Аннотация. Мақалада 12U форматындағы CubeSat наножерсерігі конструкциясының механикалық орнықтылығын бағалау мәселесі қарастырылған. CubeSat платформалары Жерді қашықтан зондтау, байланыс, ғылыми және технологиялық зерттеулер үшін кеңінен қолданылады. Алайда мұндай аппараттардың сенімді жұмысы тек борттық жүйелердің қызметіне ғана емес, сонымен қатар көтергіш конструкцияның қаттылығына, пайдалы жүктеменің дұрыс орналасуына және ұшыру кезінде туындайтын механикалық жүктемелерге төзімділігіне байланысты. Зерттеудің мақсаты 12U CubeSat конструкциясының модальдық және беріктік сипаттамаларын есептік әдіспен анықтау, сондай-ақ негізгі бекітпе элементтерінің сенімділігін бағалау болды. Зерттеуде ақырлы элементтер әдісіне негізделген сандық модельдеу қолданылды. Корпустың геометриялық өлшемдері $232 \times 245 \times 363$ мм болып қабылданды, ал негізгі конструкциялық материал ретінде Al 7075 алюминий қорытпасы таңдалды. Есептеулер MSC Apex және MSC Nastran/Patran бағдарламалық орталарында жүргізілді. Есептік модельде корпус панельдері қабықшалы элементтермен сипатталды, ал аппараттың қосалқы жүйелері шоғырланған массалар түрінде енгізілді. Талдау Cal Poly спецификациясы, ECSS талаптары және NASA GEVS ұсынымдары ескеріле отырып жүргізілді. Зерттеу шеңберінде модальдық талдау, 100 g деңгейіндегі квазистатикалық жүктемелер кезіндегі беріктік есебі, сондай-ақ бұрандалы қосылыстардың ығысуға, созылуға және саңылаудың ашылуына төзімділігі тексерілді. Есептеу нәтижелері бойынша конструкцияның бірінші меншікті тербеліс жиілігі 365 Гц құрады. Бұл көрсеткіш CubeSat аппараттары үшін қабылданатын 100 Гц төменгі шектен едәуір жоғары және конструкцияның жеткілікті қаттылығын растайды. Беріктік есебі бойынша ағу шегіне қатысты ең төменгі беріктік қоры 1,36, ал беріктік шегіне қатысты 1,66 болды. Бекітпе элементтерін талдау да олардың қарастырылған жүктемелер жағдайында жеткілікті беріктік қорына ие екенін көрсетті. Осылайша, ұсынылған 12U CubeSat конструкциясының ұшыру кезінде туындайтын есептік механикалық жүктемелерге төтеп бере алатыны анықталды. Алынған нәтижелер пайдалы жүктемені интеграциялау, конструкцияны одан әрі жетілдіру және кейінгі

вибрациялық сынақтарға дайындық барысында практикалық негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: 12U CubeSat; механикалық орнықтылық; ақырлы элементтер әдісі; модальдық талдау; наножерсеріктер; ғарыш аппараты; жерсерік

© **Акжигитов Д.Ж.¹, Мухтарханов М.О.², Жетписбаева А.Т.^{1,3*},
Кулакаева А.Е.^{1,4}, Жетписбаев К.У.¹, 2026.**

¹ ТОО «Ghalam», Астана, Қазақстан;

² Назарбаев Университет, Астана, Қазақстан;

³ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Қазақстан;

⁴ АО «Международный университет информационных технологий»,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: aigulji@mail.ru

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ НАНОСПУТНИКА МОДЕЛИ 12U CUBESAT И ОЦЕНКА ЕГО МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Акжигитов Дулат — главный инженер-конструктор, ТОО «Ghalam», Астана, Қазақстан,
E-mail: d.akzhigitov@ghalam.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1078-9629>;

Мухтарханов Муслим — научный ассистент Школы инженерии и цифровых наук, Назарбаев
Университет, Астана, Қазақстан,
E-mail: muslim.mukhtarkhanov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0285-2963>;

Жетписбаева Айну́р — PhD, ассоциированный профессор кафедры радиотехники,
электроники и телекоммуникаций, Евразийский национальный университет имени
Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан,
E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Кулакаева Айгу́ль — PhD, ассоциированный профессор, АО «Международный университет
информационных технологий», Алматы, Қазақстан,
E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Жетписбаев Кайратбек — ведущий инженер-конструктор, ТОО «Ghalam», Астана,
Қазақстан,
E-mail: k.zhetpisbayev@ghalam.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8828-0075>.

Аннотация. В статье рассматривается механическая устойчивость конструкции наноспутника формата 12U CubeSat. Платформы CubeSat широко применяются для дистанционного зондирования Земли, связи, а также проведения научных и технологических экспериментов. Надежность таких аппаратов определяется не только функционированием бортовых систем, но и жесткостью несущей конструкции, корректным размещением полезной нагрузки и способностью корпуса воспринимать механические воздействия, возникающие при запуске. Цель исследования заключалась в расчетном определении модальных и прочностных характеристик конструкции 12U CubeSat, а также в оценке надежности основных крепежных элементов. В работе использовано численное моделирование на основе метода конечных

элементов. Геометрия корпуса была сформирована с учетом габаритов $232 \times 245 \times 363$ мм, а в качестве основного конструкционного материала выбран алюминиевый сплав Al 7075. Расчеты выполнялись в программных средах MSC Apex и MSC Nastran/Patran. В расчетной модели панели корпуса были представлены оболочечными элементами, а подсистемы аппарата - в виде сосредоточенных масс. Анализ проводился с учетом спецификации Cal Poly, требований ECSS и рекомендаций NASA GEVS. В рамках исследования выполнены модальный анализ, расчет прочности при квазистатических нагрузках уровня 100 g, а также проверка болтовых соединений на сдвиг, растяжение и раскрытие зазора. По результатам расчетов первая собственная частота конструкции составила 365 Гц, что значительно превышает нижний предел 100 Гц, применяемый для аппаратов CubeSat, и подтверждает достаточную жесткость конструкции. Минимальный коэффициент запаса составил 1,36 по пределу текучести и 1,66 по пределу прочности. Анализ крепежных элементов также подтвердил наличие достаточного запаса прочности при рассматриваемых условиях нагружения. Таким образом, предложенная конструкция 12U CubeSat способна выдерживать расчетные механические нагрузки, возникающие при запуске. Полученные результаты могут быть использованы в качестве практической основы для интеграции полезной нагрузки, дальнейшего совершенствования конструкции и подготовки к последующим вибрационным испытаниям.

Ключевые слова: 12U CubeSat; механическая устойчивость; метод конечных элементов; модальный анализ; наноспутники; космический аппарат; спутник

Kіpіcne. Соңғы жылдары CubeSat санатындағы шағын ғарыш аппараттарына (ҒА) қызығушылық айтарлықтай артты. Бұл олардың шағын өлшемімен және салыстырмалы түрде төмен құнымен ғана байланысты емес. Дұрыс жобаланған жағдайда мұндай платформалар Жерді қашықтан зондтау, байланыс, ғылыми тәжірибелер және жаңа технологияларды орбитада сынау сияқты нақты міндеттерді орындай алады. Сонымен бірге CubeSat аппараттарын әзірлеу қарапайым жұмыс деп айтуға болмайды. Шағын көлемнің ішінде борттық жүйелерді, пайдалы жүктемені және бекітпе элементтерін дұрыс орналастыру қажет. Әсіресе 12U форматындағы наноспутниктер үшін бұл мәселе маңызды, себебі мұндай аппараттар күрделірек пайдалы жүктемені орнатуға мүмкіндік береді. Ұшыру кезінде ҒА-ға квазистатикалық жүктемелер, вибрациялар және резонанстық құбылыстар әсер етеді. Сондықтан конструкцияның қаттылығы мен беріктігін алдын ала бағалау қажет. Осы жұмыста 12U CubeSat конструкциясының механикалық орнықтылығы, меншікті жиіліктері және негізгі бекітпе элементтерінің сенімділігі есептік түрде қарастырылды.

Әдебиеттерге шолу. Дегенмен CubeSat миссиясының сәттілігі көбіне басқару архитектурасының қаншалықты дұрыс құрылғанына және пайдалы

жүктеменің платформаға қаншалықты сауатты біріктірілгеніне тәуелді. Осы тұрғыдан алғанда NASA әзірлеген Core Flight System (cFS) сияқты ашық бағдарламалық орта бірқатар жобаларда тиімді шешім ретінде қолданылып келеді. Оның модульдік құрылымы борттық бағдарламалық қамтамасыз етуді кезең-кезеңімен дамытуға, жаңа функцияларды қосуға және жүйені нақты миссия талаптарына бейімдеуге мүмкіндік береді (De la Vega-Martínez, 2021).

Оптикалық қосалқы жүйелерді дамыту да CubeSat бағытындағы маңызды мәселелердің бірі болып отыр. Қазіргі уақытта шағын ғарыш аппараттарында рефракторлық, рефлекторлық және катадиоптриялық телескоп сұлбалары, сондай-ақ CCD және CMOS типті детекторлар кеңінен қолданылады. Мұндай техникалық шешімдер төмен орбитадан түсірілім жүргізу кезінде шамамен 1,5–4 м деңгейіндегі кеңістіктік ажыратымдылыққа қол жеткізуге мүмкіндік береді (Şanlı, 2024). Бірақ мұнда тек оптикалық сұлбаны таңдау жеткіліксіз. Оптикалық пайдалы жүктеменің нақты жұмыс қабілеті оның механикалық бекітілуіне, температуралық өзгерістерге төзімділігіне және іске қосу кезіндегі діріл жүктемелеріне де тікелей байланысты. Мысалы, SpooQy-1 ҒА тәжірибесінде кванттық жарық көзі изостатикалық түйін арқылы бекітіліп, вибрациялық және термовакуумдық сынақтардан кейін де жұмыс қабілетін сақтаған (Lim, 2020). Бұл мысалдан оптиканы жеке қарастыру дұрыс емес екені көрінеді. Пайдалы жүктемені конструкциямен, бекіту элементтерімен және термомеханикалық сипаттамасымен бірге бағалау қажет (Badás, 2024). CubeSat ҒА-ның орбитада ұзақ әрі сенімді жұмыс істеуі сынақтардың сапасына да байланысты. Әсіресе сандық модельдеу нәтижелерін эксперименттік деректермен салыстыру маңызды. Бұл тәсіл жобалау кезінде алынған есептік нәтижелердің шынайы жүктемелерге қаншалықты жақын екенін бағалауға мүмкіндік береді. EIRSAT-1, 3Cat-4 және KITSUNE миссияларының тәжірибесінде жылулық модельдер термовакуумдық және вибрациялық сынақтар нәтижелерімен салыстырылған. Мұндай салыстырулар құрылымның іске қосу жағдайларына жақын әсерлерге төзімділігін анықтауға және модельдегі әлсіз тұстарды ерте кезеңде түзетуге мүмкіндік берген (Bhattarai, 2021; Buitrago-Leiva, 2024; Harandi, 2022). Бақылау және бейнетүсірілім міндеттеріне арналған шағын ҒА да соңғы жылдары белсенді дамып келеді. HiREV 6U жобасы шағын платформада да жоғары сапалы бейне және сурет алу мүмкін екенін көрсетті (Sidhu, 2021). Бұл жобада бағдарды бейімдеп басқару әдістері және бейнеағынды талдауға арналған машиналық оқыту алгоритмдері қолданылған. Мұндай тәсілдер CubeSat платформаларының физикалық шектеулерін біршама азайтады. Яғни бұрын тек ірі спутниктерге тән болған кейбір бақылау міндеттері қазір шағын аппараттар арқылы да орындала бастады (Houborg, 2016; Cooley, 2017).

Конструкциялық тораптарды жетілдіру де бөлек зерттеу бағыты ретінде қалыптасып келеді. Әдебиеттерде ашылатын күн панельдерінің демпферлеуі бар модульдері, механизмдердің сенімді іске қосылуын

қамтамасыз ететін ауыстырып-қосқыштар, сондай-ақ MEMS негізіндегі тартқыш қондырғыларды жобалауда қолданылатын термомеханикалық тәсілдер сипатталған. Мұндай шешімдер бір жағынан ҒА-дың механикалық орнықтылығын арттырса, екінші жағынан орбитадағы функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтеді (Cho, 2019; Kim, 2023; Song, 2022). Мұнда да ортақ мәселе байқалады: шағын платформада әрбір тораптың массасы, қаттылығы, жылулық режимі және жұмыс сенімділігі өзара байланыста қарастырылуы керек. CubeSat технологияларының келесі даму бағыты жаңа ғылыми және қолданбалы міндеттермен байланысты. Мысалы, бортта кванттық шатасуды көрсету болашақ кванттық байланыс жүйелеріне жол ашатын алғашқы тәжірибелердің бірі ретінде қарастырылады (Tamire, 2024). Сонымен қатар бағдарды басқарудың адаптивті алгоритмдері бақылау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Ал фазалық ауысу материалдарын мультиспектралды пайдалы жүктемелердің температурасын тұрақтандыру үшін қолдану шағын аппараттардағы жылулық режимді басқарудың тиімді тәсілдерінің бірі ретінде қарастырылып отыр (Sidhu, 2024; Oh, 2016). Бұл бағыттар CubeSat платформаларының тек оқу немесе демонстрациялық аппарат ретінде емес, толыққанды ғылыми-техникалық құрал ретінде дамып келе жатқанын көрсетеді. Осы жұмыста 12U CubeSat форматы негізінде наноспутник конструкциясын жобалау және оның құрылымдық сипаттамаларын бағалау қарастырылады. Есептік модель ақырлы элементтер әдісі арқылы зерттелді. Жұмыс барысында модальдық және динамикалық талдаулар жүргізілді, сондай-ақ іске қосу кезіндегі жүктемелер әсерінен конструкция мен бекітпе элементтердің беріктігі бағаланды. Алынған нәтижелер ұсынылған платформаның қажетті қаттылық пен механикалық орнықтылыққа ие екенін көрсетті. Бұл деректер оптикалық пайдалы жүктемелерді 12U CubeSat құрылымына интеграциялау кезінде конструкциялық шешімдерді нақтылауға және одан әрі жетілдіруге негіз бола алады.

Зерттеу әдістері. Бұл зерттеуде 12U форматына негізделген наноспутник конструкциясының механикалық орнықтылығын бағалау үшін біршама кешенді тәсіл қолданылды. Негізгі құрал ретінде FEM (Finite Element Method) әдісін пайдаланған сандық модельдеу таңдалды, ал есептерді қою кезінде Cal Poly стандартымен қатар ECSS және NASA GEVS құжаттарындағы талаптар ескерілді. Алдымен корпус геометриясы 232×245×363 мм көлеміндегі қаңқа, цифрлық түрде қайта жасалды. Құрылым рельстерден, бүйірлік және көлденең панельдерден, сондай-ақ пайдалы жүктеме мен электроникаға арналған бекіту тіректерінен тұрады. Барлық негізгі элементтер үшін Al 7075 қорытпасын қолданылды, себебі оның салмақ-беріктік қатынасы шағын ҒА-тар үшін өте қолайлы.

Модельдеу MSC Apex және MSC Nastran/Patran орталарында жүргізілді. Корпустың жазық панельдері қабықша элементтері түрінде сипатталды, ал ішкі жүйелердің массасы жеке тораптар арқылы енгізілді. Бұлай жасау ҒА-тың жалпы массасын және инерциялық сипаттамаларын дұрыс көрсетуге

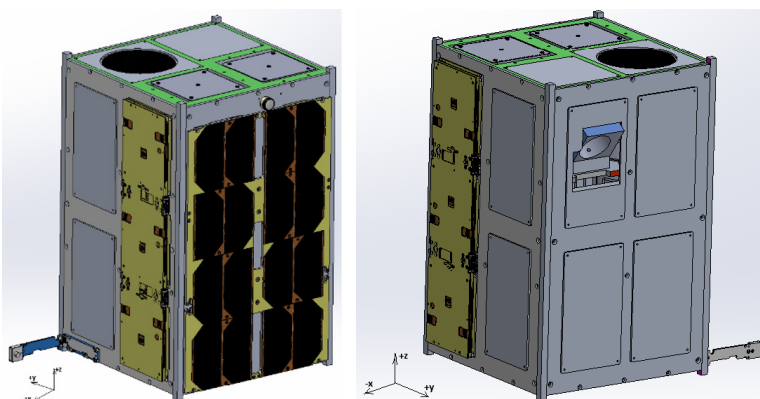
мүмкіндік берді. Сонымен бірге ұшыру контейнеріндегі орнату сұлбасына ұқсас шекаралық шарттар берілді. Рельстердің төменгі бөлігі қатты бекітіліп, жоғарғы жағында Z бағытына шектеусіз қозғалысқа мүмкіндік қалдырылды. Қосылыстардың механикалық модельдеуі Multiple Point Constraint (MPC) типіндегі RBE2 элементтері арқылы жүзеге асырылатын «қатаң» математикалық байланыстар көмегімен орындалды. Бұл тәсіл алюминий құрылымындағы болат және титан бекіткіштерінің механикасын жеткілікті дәлдікпен сипаттайды. RBE2 элементтері жанасатын денелердің түйісу аймақтарындағы кернеулерді біршама жоғарырақ бағалайды, бұл құрылымның жұмыс қабілетін бағалау кезінде консервативті болжамдар жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бірнеше түйіннен тұратын ірі денелер есептеу барысында қажетті есептеу ресурстарын азайту мақсатында нүктелік денелер ретінде ұсынылды. Бұл денелер құрылыммен RBE3 элементтері арқылы жүзеге асырылатын «икемді» математикалық байланыстар көмегімен байланыстырылды, нәтижесінде модельде конструкцияның қаттылығының жасанды түрде артуына жол берілмеді. Есеп үш негізгі кезеңнен тұрады. Бірінші кезең, ол модальдық талдау. Мұнда алғашқы он меншікті жиілік анықталды. Ең төменгі жиілік 365 Гц болып шықты, бұл CubeSat санатындағы FA-тар үшін жиі талап етілетін 100 Гц орындалатынын ғана емес, айтарлықтай үлкен қор бар екенін көрсетеді.

Екінші кезеңде беріктікке бағалау жүргізілді. Модельге барлық бағыттар бойынша 100 g квазистатикалық жүктеме берілді. Алынған деформациялар мен кернеулерді талдау қауіпсіздік коэффициентінің рұқсат етілетін 0,3 мәнінен төмен емес екенін көрсетті. Квазистатикалық жүктеменің бұл шамасы екі негізгі факторға негізделген. Біріншіден, наноспутниктерді ұшыруда кеңінен қолданылатын Falcon 9 зымыран-тасығышының жүктеме параметрлері мысал ретінде алынған. Бұл зымыранның ішінде күтілетін квазистатикалық жүктеме әрбір ось бойынша 20g-ден аспайды, сондықтан модельдеуде беріктік қоры ескерілген жүктеме қолданылды. Екіншіден, модальдық талдау нәтижесінде алынған меншікті тербеліс жиіліктері мен NASA GEVS стандартына сәйкес енгізілетін кездейсоқ діріл жүктемелері негізінде жүргізілген талдау нәтижелері бойынша, демпфирлеу коэффициенті 2% болған жағдайда құрылымның ең жауапты түйіндеріндегі үдеудің орташа квадраттық мәні (RMS) 100g-ден аспайды. Бұл көрсеткіш жоғарыда сипатталған квазистатикалық жүктеменің бұрандалы қосылыстардың беріктігін талдау үшін қолдануға жарамды екенін дәлелдейді.

Үшінші кезеңде ең қатты жүктелетін бұрандалы қосылыстардың беріктігі қосымша тексерілді. Мұнда SS A2-70 маркалы болаттан жасалған болттар қарастырылып, үйкеліс коэффициенті 0,195 мәнінде қабылданды. Есептеу кезінде тартылу, сырғу және саңылаудың ашылуы сияқты сценарийлер жеке қаралды. Барлық нәтижелер ECSS нормаларымен салыстырылып, NASA GEVS ұсынымдарымен тексерілді.

Нәтижелер және оларды талқылау. CubeSat платформасының негізгі

міндеті, ол ҒА-тың ішкі қосалқы жүйелерін және пайдалы жүктемесін қауіпсіз және тиімді орналастыру. 12U стандарты ресми түрде толық бекітілмегендіктен, бұл форматтағы конструкцияны жобалау кезінде Cal Poly ұсынған негізгі спецификацияға сүйенуге тура келді (California Polytechnic State University, 2025). Жиналған ҒА-тың жалпы пішіні 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 — 12U форм-факторындағы CubeSat-тың сыртқы көрінісі

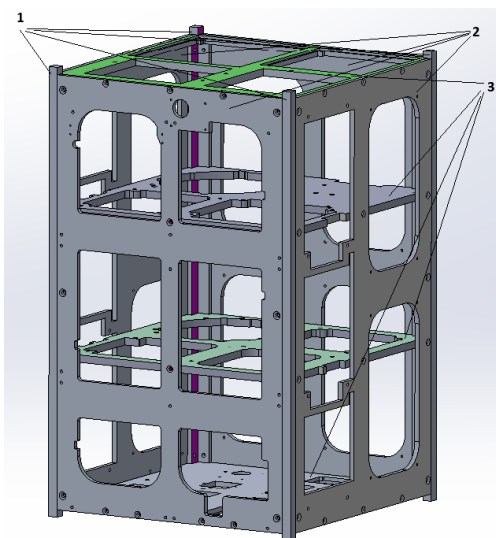
Конструкция параллелепипед түрінде орындалған, ал алдын ала есептелген габариттері X, Y және Z бағыттары бойынша $232 \times 245 \times 363$ мм құрайды. Бұл мәндер күн панельдері мен магнетометр толық жиналған күйде ескеріліп алынған, сондықтан нақты компоновкаға жақын көрсеткіштер болып саналады. CubeSat қаңқасы көтергіш және қоршаушы элементтердің жиынтығынан құралады. Кейбір бөлшектер, тәжірибеде жиі болатындай, бірден екі міндетті қатар атқарады. 2-суреттен байқалғандай, негізгі күш түсетін тораптар – бұрыштарға орналасқан 4 рельс. Ал бүйір панельдер мен аралық қабаттар осы рельстерге М2,5 және М3 типті бұрандалы қосылыстар арқылы бекітіледі. Осындай тәсіл қаңқаның барлық жазық элементтерін біртұтас қатты құрылымға біріктіруге мүмкіндік береді. Қаңқа материалы ретінде 7075 маркалы алюминий қорытпасы таңдалған. Бұл қорытпа жоғары беріктігімен қатар салмағының төмен болуымен де тиімді. Бүйір жақтарында күн панельдерін орнатуға арналған тесіктер алдын ала қарастырылған. Корпустың ішкі кеңістігі оптикалық пайдалы жүктемені, қажетті кронштейндерді және өлшемі 90×96 мм болатын РС-104 стандартына сай электрондық платаларды орналастыруға бейімделген. Бұл платалар алюминий тіректерінің көмегімен стек түрінде жиналады. Конструкцияның сыртқы қырлары ұшыру контейнерімен тікелей жанасатын рельстер қызметін атқарады. Осы себепті рельс беттеріне бөлек талап қойылады: контейнер ішінде «суық дәнекерлеу» құбылысының пайда болуын болдырмау үшін олар міндетті түрде анодталуы тиіс.

Жазық панельдердің қарапайым геометриясы конструкцияны дайындау мен құрастыру үдерісін жеңілдетеді. Ішкі қабаттар ғарыш аппаратының негізгі жүйелерін бекітуге арналған тірек алаңдары ретінде қолданылады. Ал бүйір панельдер бір жағынан аппаратты сыртқы әсерлерден қорғайды, екінші жағынан күн панельдерін орнатуға арналған негізгі бекіту аймақтары болып табылады.

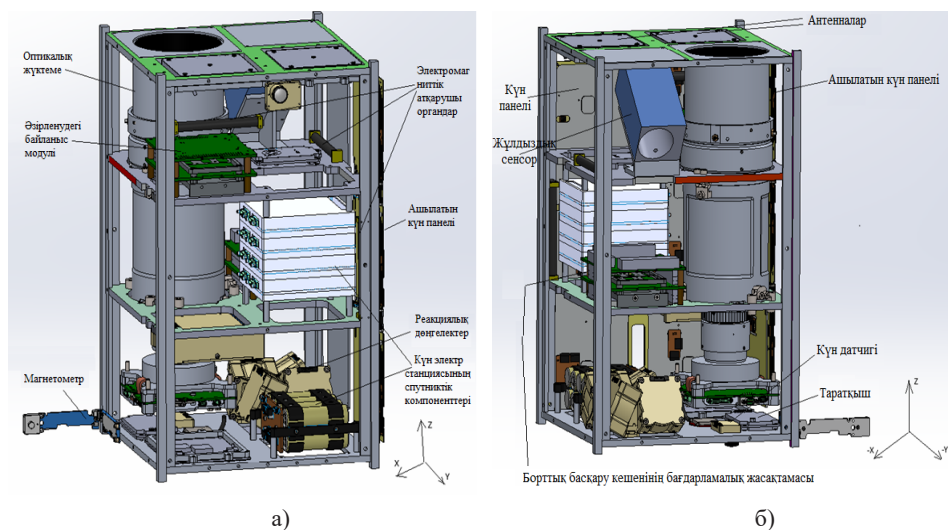
Ішкі жүйелерді орналастыру кезінде бірнеше конструкциялық және функционалдық шектеулер ескерілді:

- пайдалы жүктемемен тікелей жанасатын аймақты мүмкіндігінше азайту;
- пайдалы жүктемені ғарыш аппаратының «ыстық» жағынан алысырақ орналастыру;
- магнитометрді күн панельдерінен, магнитторкерлерден және жұлдызды бағдарлау датчигінен жеткілікті қашықтықта ұстау;
- кабельдер мен сымдарды еркін жүргізу үшін қажетті саңылаулар қалдыру;
- пайдалы жүктемені реакциялық дөңгелектерден бөлек орналастыру;
- қабылдау-тарату антенналарын +Z бағытына қараған сыртқы бетке шығару.

Мұндай орналастыру сұлбасы пайдалы жүктеменің жұмыс жағдайын жақсартуға, электромагниттік және механикалық өзара әсерлерді азайтуға, сондай-ақ құрастыру және қызмет көрсету кезінде ішкі жүйелерге қолжетімділікті сақтауға мүмкіндік береді.



Сурет 2 — CubeSat-тың көтергіш элементтері: рельстер (1), бүйір панельдер (2), көлденең панельдер (3)



Сурет 3 — Өзірленіп жатқан CubeSat-тың ішкі көрінісі

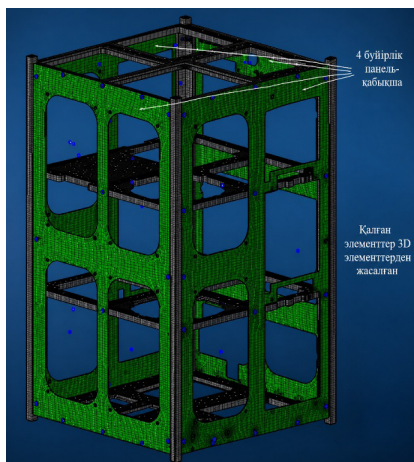
Инерция моменттері 1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1 — Инерция моменттері (ҒА-ның геометриялық центріне қатысты)

Ауырлық орталығы * (x; y; z), мм		-3,68; -1,83; -18,85	
Инерциялық сипаттамалар (гр*мм²)			
	X	Y	Z
X	Lxx = 211400971,94	Lyx = 1250722,8	Lzx = -8989998,37
Y	Lxy = 1250722,83	Lyy = 213439922,41	Lzy = -8098620,3
Z	Lxz = -8989998,37	Lyz = -8098620,3	Lzz = 136726195,82

* - CubeSat-тың геометриялық орталығына қатысты

ҒА конструкциясының механикалық қасиеттерін талдау FEM әдісі негізінде жүргізілді. CubeSat-тың ақырлы элементтік моделі 4-суретте көрсетілген, ал қолданылған элементтер торының статистикалық сипаттамасы 2-кестеде берілген. Бұл талдау құрылымның беріктігін, қаттылығын және ықтимал деформациясын алдын ала бағалауға мүмкіндік береді.



4 сурет — ҒА-ның ақырлы элементтік моделі

Кесте 2 — Тордың сипаттамалары

Элементтердің жалпы саны	950625
Олардың ішінде қабықшалы элементтер	36150

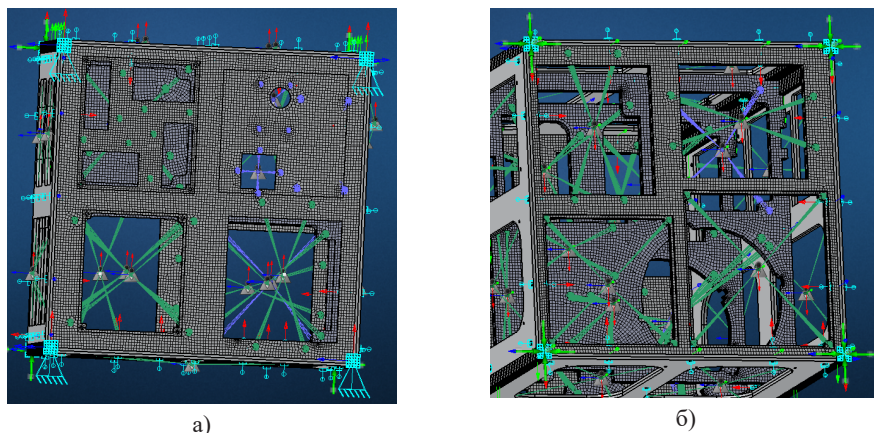
ҒА конструкциясының механикалық қасиеттерін талдау FEM әдісі негізінде жүргізілді. CubeSat-тың ақырлы элементтік моделі 4-суретте көрсетілген. Есептік модельдің MSC Nastran ортасындағы құрамы 5-суретте берілген.

Nastran Input File Import Summary		Initialise IPFStarServices - success Messages are being generated while reading the input file: D:\For Berik Rigid to Rigid_Fully Fixed_Solid Mesh\berikbdf140526.bdf		
	Imported	MODEL ENTRY NAME	SUMMARY NUMBER OF ENTRIES	BULK
Nodes	242318	BCPARA	1	
Elements	950625	CBAR	87	
Coordinate Frames	0	CONM2	36	
Material Properties	3	CQUAD4	36150	
Element Properties	6	CPYRAM	130613	
Load Sets	8	CTETRA	783530	
Subcases	0	GRID	278860	
MPC Data	209	MAT1	3	
Comment Lines	455	PBARL	3	
		PSOLID	2	
		RBE2	207	
		RBE3	2	
		SPC1	8	
		SPCADD	1	

5 сурет — 2U CubeSat ақырлы элементтік моделінің MSC Nastran ортасындағы құрамы

Есептік модель 242 318 түйіннен және 950 625 элементтен тұрады. Оның ішінде 912 580 CTETRA көлемдік элементі, 36 150 CQUAD4 қабықшалы элементі, 87 CBAR элементі, 36 CONM2 массалық элементі, 207 RBE2 және 2 RBE3 байланыс элементі қолданылды. Талдау жүргізу үшін конструкция рельстердің төменгі және жоғарғы қырлары бойынша бекітілді (6-суретте көрсетілгендей). –Z бағытында қатаң бекіту қолданылды, ал +Z жағында шарнирлі тірек орналастырылып, ол тек X және Y осьтері бойынша қозғалысты шектейді. Нақты жағдайда ҒА капсула ішіндегі бағыттаушы

элементтерге барлық сыртқы қырларымен тіреледі, алайда капсула мен ГА арасында міндетті түрде саңылаулар болады. Сол себепті жалпы тәжірибеге сәйкес $-Z$ жазықтығында тек рельстердің торцтық беттері қатты бекітіледі. $+Z$ жағындағы рельстердің торцтары Z осінен басқа барлық бағыттарда қозғалысты шектеуге мүмкіндік береді, бұл ГА-тың нақты ұшырудағы позициясын дұрыс модельдеуге мүмкіндік береді.



Сурет 6 — Модальдық талдау үшін тіректер: (а) $-z$ жағы; (б) $+z$ жағы

FEM әдісі арқылы механикалық талдау үш негізгі бөліктен тұрды:

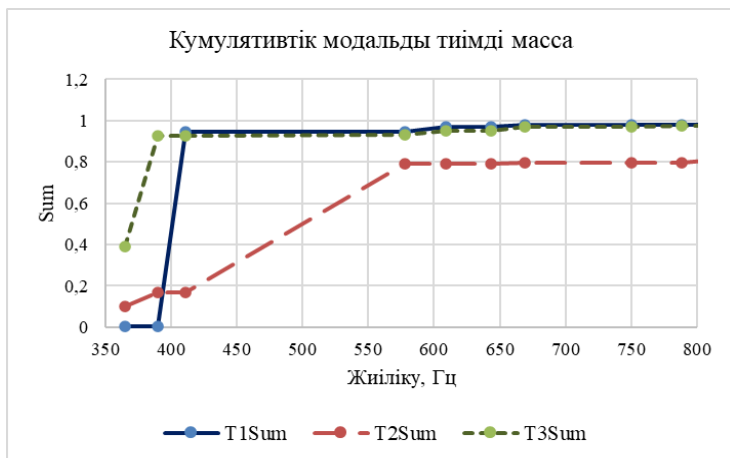
- негізгі конструкция мен қосалқы компоненттердің модальдық талдауы;
- негізгі конструкция мен қосалқы компоненттердің квазистатикалық және динамикалық талдауы;
- бекітпелердің беріктігін бағалау.

Модальдық талдау алғашқы 10 меншікті тербеліс жиілігін анықтауға мүмкіндік берді (3-кестеге көрсетілген). Кестеде көрсетілгендей, бірінші тербеліс пішінінің жиілігі 365 Гц болды. Бұл көрсеткіш CubeSat құрылымының қаттылығы салалық стандарттарға сәйкес келетінін растайды (қажетті минимум – 100 Гц).

Кесте 3 — Модальдық талдау нәтижелері

Пішін (mode)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жиілік (Гц)	365	390	411	578	609	643	669	750	788	813

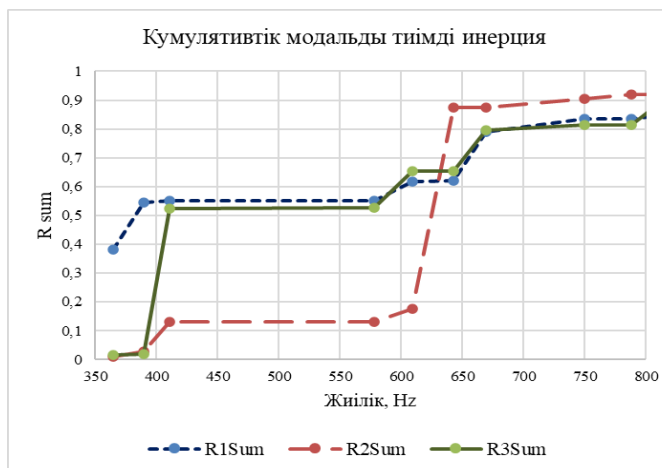
Төменде 3 ось бойынша массалық және инерциялық үлестердің графиктері ұсынылған (7 және 8-суреттер). 7-суреттен алғашқы тербеліс пішіндерінің көбіне горизонталь бағытта пайда болатыны байқалады. Мұның себебі конструкцияның вертикаль бағытта қатты бекітілуінде. Сонымен қатар, ұзынша пішінінің құрылымның иілу деформацияларын балка тәрізді сипаттайтынын көрсетеді.



Сурет 7 — Модальдық талдау бойынша жиынтық массалық үлестер (T1 – Y осі; T2 – Z осі; T3 – X осі)

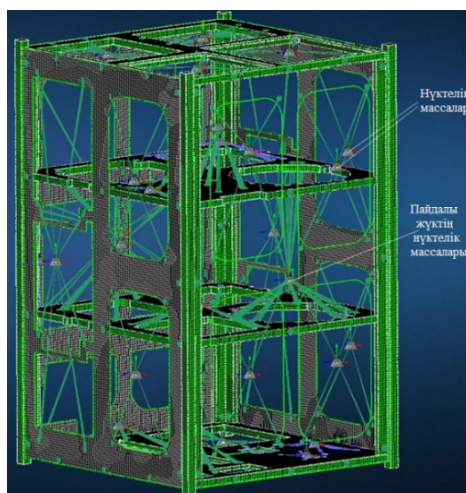
ҒА-ның ауырлық орталығы геометриялық орталыққа жақын орналасқандықтан, құрылымды Z осіне қатысты шамамен симметриялы деп қарастыруға болады. Сол себепті T1 және T3 қисықтарының ұқсастығы байқалады. Инерциялық сипаттамаларға тоқталсақ, алғашқы бес тербеліс пішіні кезінде X және Y осьтерінің үлесі басым болады. Ал алтыншы пішіннен бастап Z осіне қатысты бұралу қозғалыстары басымдыққа ие болады.

Жалпы алғанда, бастапқы тербеліс пішіндерінде конструкция біртұтас элемент ретінде әрекет етеді, бұл оның механикалық тұрақтылығына оң әсер етеді.



Сурет 8 — Модальдық талдау бойынша жиынтық инерциялық үлестер (T1 – Y осі; T2 – Z осі; T3 – X осі)

Негізгі конструкциядан бөлек, ҒА-ның қосалқы жүйелерін негізгі қаңқамен байланыстыратын көмекші элементтер де есепке алынды. Есептеу уақытын қысқарту және есептеуіш ресурстарға түсетін жүктемені азайту мақсатында қосалқы жүйелерді нүктелік массалармен алмастырылды (9-суретке қараңыз). Бұл массалар қаңқамен қатаң элементтер RBE2 арқылы байланыстырылды, себебі қосалқы жүйелер болат бекітпелер арқылы негізгі құрылымға қосылған. Ал массасы шағын кейбір қосалқы элементтер RBE3 арқылы бекітілді.



Сурет 9 — Қосалқы жүйелерді алмастыру ретінде нүктелік массалар

Модальдық талдау нәтижелері қосалқы элементтердің меншікті тербеліс жиіліктерінің жеткілікті жоғары екенін көрсетті, бұл құрылымның қаттылығы мен тұрақтылығын растайды. Құрылымдағы ең үлкен кернеулер негізінен кездейсоқ вибрациялар кезінде пайда болады. Максималды жүктемелер ретінде X, Y және Z осьтері бойынша 100 g квазистатикалық жүктемелер алынды. Бұл жүктемелер кездейсоқ вибрация кезінде туындайтын күштердің эквиваленті болып табылады. Конструкциядағы кернеу материалдың беріктік шегіне жеткенде – бұзылу пайда болады, ал ағу шегіне жеткенде – пластикалық деформация байқалады.

Беріктік қоры (MoS) келесі формула бойынша есептеледі:

$$MoS = \frac{\sigma_{allow}}{FOS \cdot \sigma_{max}} - 1 \quad (1)$$

мұндағы σ_{allow} – рұқсат етілген кернеу; FOS – қауіпсіздік қоры коэффициенті; σ_{max} – құрылымдағы ең жоғарғы кернеу.

Табыстылық критерийі ретінде MoS мәндерінің оң болуы қабылданды (>0,3). Мұнда FOS (factor of safety) – қауіпсіздік коэффициенті – NASA GEVS

ұсынымдарына сәйкес ағу шегі мен беріктік шегіне байланысты таңдалады. Ағу шегі мен беріктік шегі бойынша табылған ең төменгі MoS мәндері төмендегідей:

Ағу шегі бойынша: $MoS_Y = 1,36$;

Беріктік шегі бойынша: $MoS_U = 1,66$.

ҒА конструкциясының шекті кернеулер бойынша талдау нәтижелері оның жеткілікті беріктік қорымен жүктемелерге төтеп бере алатынын көрсетті. Ал қосалқы элементтерге қатысты ең төменгі мәндер төменде келтірілген.

$MoS_Y = 1,64$; $MoS_U = 1,62$.

Бекітпелерді талдау үшін X, Y және Z осьтері бойынша 100 g деңгейіндегі квазистатикалық жүктемелер қолданылды. Бұл мән көрсетілген жобалық жүктемеден жоғары, сондықтан консервативті тәсіл ретінде қабылданды. Сол сияқты, бұған дейінгі тәжірибеде KazStSat ҒА талдау кезінде осындай әдіс қолданылған. Айта кетерлігі, наноспутниктердің ерекшелігі – олар тасығыш зымыранымен тікелей қатты бекітулер арқылы орнатылмайды. ҒА арнайы ұшыру контейнеріне орналастырылады, ол интерфейс қызметін атқарады. Сондықтан ҒА конструкциясында аса жүктемеге ұшырайтын бекітпелер (мысалы, separation panel-мен қосылатын элементтер) жоқ. Барлық бекітпелер тек ҒА ішіндегі модульдерді қаңқаға біріктіру үшін қолданылады және контейнерге қосылмайды.

Төменде талдау нәтижелері көрсетілген. Есептеулер ең көп жүктелетін бекітпелерге арналған және тек соларға қолданылды. Бекітпелердің беріктігі созылу, сырғу және ажырап кету тұрғысынан мына формулалар бойынша бағаланды:

Созылуға арналған формула:

$$MoS = \frac{P_{allow} - P_{pre}^{max}}{P_{appl} * k_{bolt} * FOS * K_{add}} - 1 \quad (2)$$

мұндағы P_{allow} – рұқсат етілген жүктеме; P_{pre}^{max} – максималды алдын ала жүктеме; P_{appl} – қолданылған жүктеме; k_{bolt} – болттың жүктеме коэффициенті; K_{add} – қосымша коэффициент.

Болттардың сырғуына есептеу үшін:

$$MoS = \frac{(P_{pre}^{min} - P_{ax} * (1 - k_{bolt}) * FOS * K_{add} * \mu)}{P_{shear} * FOS * K_{add}} - 1 \quad (3)$$

мұндағы P_{pre}^{min} – минималды алдын ала жүктеме; P_{ax} – болтқа түсетін осьтік жүктеме; k_{bolt} – болттың жүктеме коэффициенті; FOS – қауіпсіздік қоры коэффициенті; K_{add} – қосымша коэффициент; μ – үйкеліс коэффициенті; P_{shear} – кесу күші.

Үзілуге есептеу үшін:

$$MoS = \frac{p_{pre}^{min}}{p_{appi} * (1 - K_{bolt} * FOS * K_{add})} - 1 \quad (4)$$

Барлық есептеу коэффициенттері ECSS-E-HB-32-23A және Rev.1 Guidelines ST#0086641 (European Cooperation for Space Standardization, 2023) құжаттарына сәйкес төменде келтірілген.

Кесте 4 — Механикалық құрылымды есептеу коэффициенттері

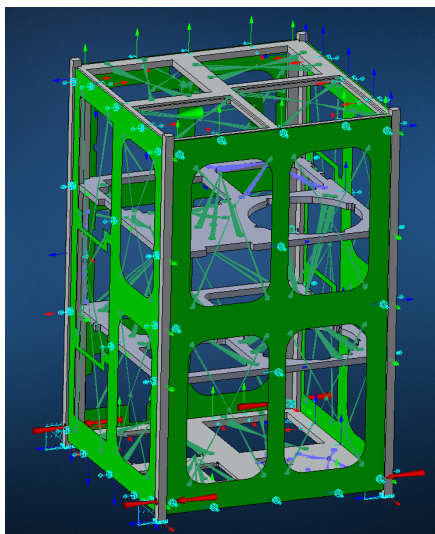
Аралық саңылау мен сырғу үшін болттың жүктеме коэффициенті	0
Созылу үшін болттың жүктеме коэффициенті	0,5
Үйкеліс коэффициенті	0,195
Осытік жүктеме мен саңылау үшін қосымша коэффициент	1,15
Кесу күші үшін қосымша коэффициент	1,15
Кесу күші (сырғу) үшін қауіпсіздік қоры коэффициенті < 3	1,25
Кесу күші (сырғу) үшін қауіпсіздік қоры коэффициенті ≥ 3	1,1
Осытік жүктеменің шекті күйі үшін қауіпсіздік қоры коэффициенті	1,5
Осытік жүктеменің ақыштық шегі үшін қауіпсіздік қоры коэффициенті	1,1
Аралық саңылау үшін қауіпсіздік қоры коэффициенті	1,1

5 кестеде механикалық платформа бекітпелерінің беріктік қоры келтірілген.

Кесте 5 — Бекітпелердің беріктік қоры

Бекіткіш нөмірі	Өлшем	Материал	Жүктеменің әрекет ету бағыты 100 g	Қауіпсіздік қоры (MoS)		
				Сырғу (slippage)	Созылу (tensile)	Аралық саңылау (gapping)
3	M3	SS A2-70	-Z	0,55	20,15	56,49
4	M3	SS A2-70		0,52	18,95	53,12
14	M3	SS A2-70		0,53	6,72	18,83
20	M3	SS A2-70		0,52	6,74	18,89
3	M3	SS A2-70	-X	0,52	9,30	26,08
4	M3	SS A2-70		0,53	7,74	21,69
13	M3	SS A2-70		0,58	9,54	26,75
14	M3	SS A2-70		0,55	11,32	31,73
8	M3	SS A2-70	+Y	1,60	32,02	89,77
9	M3	SS A2-70		1,43	3,18	8,91
19	M3	SS A2-70		1,90	45,19	126,70
20	M3	SS A2-70		2,00	84,30	236,34

Осылайша, үш түрлі талдаудың (модальдық, динамикалық және бекітпелерді талдау) нәтижелері конструкция мен қосалқы элементтердің беріктік қоры таңдалған элементтердің қажетті беріктігін қамтамасыз ететінін көрсетеді. X осі бойынша 100 g жүктемеден ең көп жүктелген бекітпелер 10 суретте көрсетілген.



Сурет 10 — X осі бойынша 100 g жүктемеден ең көп жүктелген бекітпелер (үлкен қызыл жөбелермен көрсетілген)

Модальдық, динамикалық және бекітпелерді талдау нәтижелері көрсеткендей, конструкция мен қосалқы элементтердің беріктік қорлары таңдалған элементтердің талап етілген беріктігін толық қамтамасыз етеді. Сандық модельдеу 12U форматындағы наноспутниктің корпусына жоғары қаттылық пен ұшыру кезіндегі механикалық жүктемелерге төтеп беруге қабілетті екенін көрсетті. Алғашқы меншікті жиілік 365 Гц болып анықталды. Бұл шағын ҒА арналған салалық шектен (>100 Гц) айтарлықтай жоғары және вибрациялық әсерлер кезінде резонанстық модалардың қоздырылу ықтималдығының төмен екенін білдіреді. 100 g квазистатикалық жүктемелер кезінде жүргізілген беріктік есебі барлық осьтер бойынша оң нәтижелер көрсетті ($MoS > 0,3$). Бұл көрсеткіш конструкцияның жеткілікті беріктілікке ие екенін және пластикалық деформациясыз сыни жүктемелерге төтеп бере алатынын растады. Ең төменгі мәндер: $MoS_Y = 1,36$; $MoS_U = 1,66$. Ғарыштық аппарат құрылымын кездейсоқ тербеліс жағдайында талдау үшін Falcon 9 зымыран-тасығышының қуаттылықтың спектрлік тығыздығы (PSD) сипаттамасы таңдап алынды. Тербелісті бәсеңдету коэффициенті $\zeta = 0,05$ (критикалық бәсеңдеуге қатысты) деп қабылданды. Ғарыштық аппараттың негізгі ішкі жүйелері үшін есептелген үдеудің орташа квадраттық мәндері (RMS) 6-кестеде келтірілген.

Кесте 6 — МРЕ кездейсоқ вибрациялары кезіндегі FA негізгі компоненттеріне түсетін орташа квадраттық жүктемелер

Атауы	Нүктелік элементтің ID	Салмағы, кг	Жүктеме, gRMS		
			Z осі	X осі	Y осі
Оптикалық пайдалы жүктеме	1267162	1,52	18,07	18,42	17,3
Электрмен жабдықтау жүйесі	1267164	1,49	14	12,14	14,08
Маховик	1267166	0,70	16,24	13,15	15,54
Аккумуляторлық батареялар	1267167	0,50	14,05	9,69	13,44
Қозғалтқыш	1546655	0,49	10,08	13,75	14,2
Алдыңғы күн панелі	1413641	0,45	8,69	7,532	11,32
Борттық басқару комплексі	1413638	0,45	16,4	9,95	14,59
Радиомодуль	1413640	0,40	15,49	11,37	15,78
№1 бүйірлік күн панелі	1413642	0,39	12,25	8,061	8,32
№2 бүйірлік күн панелі	1413643	0,39	12,12	8,1	9,58
Жұлдыздық датчик	1395069	0,36	24,51	11,49	26,12
Қозғалысты басқару және навигациялық жүйе	1413639	0,24	12,96	10,7	13,48

Дегенмен, зерттеудің кейбір шектеулері бар. Біріншіден, талдау тек сандық модельге сүйенген, сондықтан толық сенімділік тек эксперименттік тексерулер, вибрациялық сынақтар мен натуралық тесттер арқылы расталуы мүмкін. Екіншіден, қосалқы жүйелер мен пайдалы жүктемелер RBE2/RBE3 элементтері арқылы шоғырланған массалар ретінде модельденді, бұл нақты жинақталу мен конструкцияның динамикалық жауаптарына әсер етуі ықтимал. Қолданылған әдістеме жобалаудың ерте кезеңінде конструкцияның механикалық сенімділігін салалық критерийлерге сәйкес тексеруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, есептік нәтижелер GEVS/ECSS нормативтерімен салыстырылды, бұл кейінгі кезеңдерде жобаны қайта өңдеу қажеттілігін азайтады. Қорытындылай келе, 12U форматының конструкциясы (таңдалған компоновка мен материалдарды ескере отырып) жеткілікті механикалық орнықтылыққа ие деген бастапқы гипотеза модальдық және беріктік талдаулар арқылы расталды. Құрылым берілген жүктемелерге қажетті беріктік қорымен сенімді түрде төтеп береді.

Қорытынды. Зерттеуде 12U форматындағы наноспутник конструкциясының механикалық орнықтылығы жан-жақты бағаланды. Құрылым Cal Poly спецификациясына сәйкес әзірленіп, талдау ECSS талаптары мен NASA GEVS ұсынымдары негізінде жүргізілді. Сандық модельдеу арқылы конструкцияның модальдық сипаттамалары, іске қосу кезінде әсер ететін квазистатикалық жүктемелерге төзімділігі және негізгі бекітпе элементтерінің беріктік қоры анықталды. Есептеу нәтижелері бойынша конструкцияның бірінші меншікті тербеліс жиілігі 365 Гц болды. Бұл мән CubeSat аппараттары үшін қабылданатын ең төменгі талаптан, яғни 100 Гц-тен едәуір жоғары. Осы нәтиже корпустың жеткілікті қаттылыққа ие екенін және ұшыру кезеңіндегі төмен жиілікті динамикалық әсерлерге

сезімталдығы аз екенін көрсетеді. 100 g деңгейіндегі квазистатикалық жүктемелер кезінде жүргізілген беріктік талдауы бұрандалы қосылыстардың сырғу, созылу және саңылау ашылуы бойынша рұқсат етілетін шектен шықпайтынын көрсетті. Есептелген MoS мәндері 0,3-тен жоғары болып, конструкцияның қарастырылған механикалық жүктемелерге пластикалық деформациясыз төтеп бере алатынын растады.

Қорытындылай келе, ұсынылған 12U CubeSat конструкциясы есептік деңгейде беріктік пен вибрациялық орнықтылық талаптарына сәйкес келеді деп айтуға болады. Бұл нәтиже пайдалы жүктемені орналастыру және аппараттың ішкі компоновкасын нақтылау үшін маңызды. Сонымен бірге, мұнда бір нюанс бар: сандық модель нақты аппараттың барлық өндірістік және монтаждық ерекшеліктерін толық қамти алмайды. Материалдардың партиялық айырмашылықтары, құрастыру дәлдігі, бұрандалы қосылыстардың тартылу моменті және пайдалы жүктеменің нақты бекітілуі конструкцияның динамикалық сипаттамасына әсер етуі мүмкін. Сондықтан модельдің дұрыстығын күшейту үшін қосымша эксперименттік тексерістер қажет. Атап айтқанда, вибрациялық сынақтар, меншікті жиіліктерді өлшеу, резонанстық іздеу және жерүсті функционалдық тесттері жүргізілуі тиіс. Мұндай тексерістер есептік нәтижелерді нақты сынақ деректерімен салыстыруға, конструкциядағы әлсіз аймақтарды ерте анықтауға және қажет болған жағдайда модель параметрлерін нақтылауға мүмкіндік береді. Осы тұрғыдан алғанда, алынған нәтижелер 12U наноспутнигін әрі қарай жетілдіру және ұшыру алдындағы сынақтарға дайындау үшін практикалық негіз бола алады.

References

De la Vega-Martínez M., Velázquez-García M.C., Zavala-López M.F., Hernández E., Gutiérrez-Esparza R.A., Arcos-Bravo D.G., McComas D. Implementation of the cFS framework for the development of software in aerospace missions: first application in an undergraduate program in Mexico. IFAC-PapersOnLine, 2021. — Vol. 54, No. 12. — P. 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.11.014> (in Eng.)

Şanlı A., Erkeç T.Y. Design and Analysis of Optical Telescope Subsystem. Journal of Aeronautics and Space Technologies, 2024. — Vol. 17 (Special Issue). — P. 92–101. (in Eng.)

Lim H. Y., Vergoossen T., Bedington R., Bai X., Villar A., Lohrmann A., Ling A. Thermo-mechanical design for a miniaturized quantum light source on board the SpooQy-1 CubeSat. arXiv preprint arXiv:2006.14442, 2020. (in Eng.)

Badás M., Piron P., Bouwmeester J., Loicq J., Kuiper H., Gill E. Opto-thermo-mechanical phenomena in satellite free-space optical communications: survey and challenges. Optical Engineering, 2024. — Vol. 63, No. 4. — P. 041206. (in Eng.)

Bhattarai S., Go J.S., Oh H.U. Experimental CanSat platform for functional verification of burn wire triggering-based holding and release mechanisms. Aerospace, 2021. — Vol. 8, No. 7. — P. 192. <https://doi.org/10.3390/aerospace8070192>. (in Eng.)

Buitrago-Leiva J. N., Terraza-Palanca I., Contreras-Benito L., Fernandez L., Gracia-Sola G., del Castillo Sancho C., Camps A. The 3Cat-4 spacecraft thermal analysis and thermal vacuum test campaign results, Aerospace, 2024. — Vol. 11, No. 10. — P. 805. <https://doi.org/10.3390/aerospace11100805>. (in Eng.)

Harandi B., Ng S., Liddell L. C., Gentry D. M., Santa Maria S. R. Fluidic-based instruments for space biology research in CubeSats. *Frontiers in Space Technologies*, 2022. — Vol. 3. — P. 853980. (in Eng.)

Sidhu J.S., Joshi S.K., Gündoğan M., Brougham T., Lowndes D., Mazzarella L., Oi D.K. Advances in space quantum communications. *IET Quantum Communication*, 2021. — Vol. 2, No. 4. — P. 182–217. <https://doi.org/10.1049/qtc2.12015>. (in Eng.)

Houborg R., McCabe M. F. High-resolution NDVI from Planet's constellation of Earth observing nano-satellites: A new data source for precision agriculture. *Remote Sensing*, 2016. — Vol. 8, No. 9. — P. 768. <https://doi.org/10.3390/rs8090768>. (in Eng.)

Cooley S.W., Smith L.C., Stepan L., Mascaro J. Tracking dynamic northern surface water changes with high-frequency Planet CubeSat imagery. *Remote Sensing*, 2017. — Vol. 9, No. 12. — P. 1306. <https://doi.org/10.3390/rs9121306>. (in Eng.)

Cho D.H., Choi W.S., Kim M.K., Kim J.H., Sim E., Kim H.D. High-Resolution Image and Video CubeSat (HiREV): Development of Space Technology Test Platform Using a Low-Cost CubeSat Platform. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2019. — Vol. 2019, No. 1. — P. 8916416. (in Eng.)

Kim M.K. A Case Study of the Implementation of Deployment Switch for Nanosatellites. *Journal of Space Technology and Applications*, 2023. — Vol. 3, No. 1. — P. 72–85. (in Eng.)

Song C., Fan C., Wang M. Image-based adaptive staring attitude control for multiple ground targets using a miniaturized video satellite. *Remote Sensing*, 2022. — Vol. 14, No. 16. — P. 3974. (in Eng.)

Tamire N.A., Kim H.D. Effective video scene analysis for a nanosatellite based on an onboard deep learning method. *Remote Sensing*, 2023. — Vol. 15, No. 8. — P. 2143. (in Eng.)

Sidhu J. S., Brougham T., McArthur D., Pousa R. G., Oi D. K. Finite key effects in satellite quantum key distribution. *npj Quantum Information*. – 2022. – Vol. 8, No. 1. – P. 18. (in Eng.)

Oh H.U., Ha H.W., Kim T., Lee J.K. Thermo-mechanical design for on-orbit verification of MEMS based solid propellant thruster array through STEP cube lab mission. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 2016. — Vol. 17, No. 4. — P. 526–534. (in Eng.)

California Polytechnic State University. Division 33 — Utilities. Standard Specifications, 2025. — URL: https://afd.calpoly.edu/facilities/planning-capital-projects/construction-standard/docs/standard-specifications/division-33-utilities/division-33_utilities.pdf, (access date: 26.11.2025). (in Eng.)

European Cooperation for Space Standardization. ECSS-E-HB-32-23A Rev. 1: Threaded fasteners handbook, 2023. — URL: <https://ecss.nl/home/ecss-e-hb-32-23a-rev-1-threaded-fasteners-handbook-6-february-2023/> (access date: 26.11.2025). (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.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Managing Editor: *A.Shormakova*

Editors: *D.S. Alenov, T. Apendiev*

Computer layout: *G.D. Zhadyranova*

Signed for print: September 30, 2026

Format: 70×90 1/16. 26.5 printed sheets. Order No. 3.