

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1  
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



**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 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 Жұмаділ 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/author/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/author/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/author/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 Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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 № **KZ77VPU00121154**. 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

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

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

## МАЗМҰНЫ

### ИНФОРМАТИКА

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

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

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

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

**Тохаева А.О., Альжанов А.К., Neziĥ Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.**  
Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся  
в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....412

**Тукенова 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). 430–442

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.421>

IRSTI 50.09.45  
UDC 621.45.01

© **Tukenova L.M.**<sup>1\*</sup>, **Auyelbekov O.A.**<sup>2,3</sup>, **Sapakova S.Z.**<sup>4</sup>,  
**Sametova A.A.**<sup>1</sup>, **Bostanov E.L.**<sup>5</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Information and Computational Technologies;

<sup>3</sup>Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>4</sup>International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>5</sup>Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan.

E-mail:: l.tukenova7@gmail.com

## MODELLING AND OPTIMISATION OF HYBRID POWER PLANT OPERATING MODES FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Tukenova Lyailya** — cand. of ph. and math. sc., Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: l.tukenova7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0863-5153>;

**Auelbekov Omirlan** — cand. of ph. and math. sc., Associate Professor, Institute of Information and Computational Technologies; Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: omirlan.auelbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2903-9086>;

**Sapakova Saya** — cand. of ph. and math. sc., Associate Professor, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: s.sapakova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

**Sametova Aygerim** — Senior lecturer, Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sametova\_aygerim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1849-8938>;

**Bostanov Ernar** — senior lecturer, Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: bostanovernar0929@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8753-0244>.

**Abstract.** The study addresses the development and optimisation of hybrid power plants (HPPs) for unmanned aerial vehicles (UAVs) intended for long-endurance missions and improved energy efficiency. The work examines the scientific problem of selecting an effective configuration and energy management strategy (EMS) that ensures maximum flight duration while maintaining the stability, reliability, and thermal safety of the onboard energy system. A mathematical modelling framework was developed to simulate the operating modes of hybrid architectures combining an internal combustion engine, generator, battery system, and power electronics. Using MATLAB/Simulink and Modelica, the HPP was analysed through major

flight phases, from take-off to landing. The results indicate that the main factor contributing to increased UAV autonomy is an optimised EMS strategy that maintains the thermal energy source in its region of highest efficiency and allocates transient peak loads to the battery. Numerical experiments demonstrated that hybridisation reduces energy consumption during cruise flight and significantly improves dynamic response during manoeuvres. Furthermore, accurate battery modelling and adherence to SoC and temperature constraints are essential, as violations diminish the theoretical benefits of hybridisation. The originality of the work lies in establishing applied guidelines for HPP design, including efficiency-map calibration, selection of optimal SoC “windows,” current limitation rules, and the implementation of adaptive EMS algorithms. The obtained results can serve as a practical tool for scientifically grounding the design of advanced UAV platforms intended for long-duration patrolling, high-precision mapping, and comprehensive environmental monitoring, supporting parameter selection for hybrid power systems, tuning of energy management algorithms, and mission planning.

**Keywords:** hybrid power plant; unmanned aerial vehicles; energy management system (EMS); power distribution, state of charge (SoC)

*For citations: 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. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. — P. 430–442. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.421>*

© Төкенова Л.М.<sup>1\*</sup>, Әуелбеков О.А.<sup>2,3</sup>, Сапақова С.З.<sup>4</sup>, Саметова А.А.<sup>1</sup>,  
Бостанов Е.Л.<sup>5</sup>, 2026.

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>1</sup>Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан;

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>4</sup>Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан.

E-mail: l.tukenova7@gmail.com

## ПИЛОТСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

**Төкенова Ләйлә** — ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: l.tukenova7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0863-5153>;

**Әуелбеков Өмірлан** — ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты; Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: omirlan.auelbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2903-9086>;

**Сапақова Сая** — ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: s.sapakova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

**Саметова Айгерім** — аға оқытушы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sametova\_aygerim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1849-8938>;

**Бостанов Ернар** — аға оқытушы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан, E-mail: bostanovernar0929@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8753-0244>.

**Аннотация.** Зерттеу ұзақ мерзімді ұшу тапсырмаларына және энергия тиімділігін арттыруға бағытталған ұшқышсыз ұшу аппараттарына (ҰҰА) арналған гибриді күш қондырғыларын (ГКҚ) әзірлеу және оңтайландыру мәселелеріне арналған. Жұмыста борттық энергия жүйесінің тұрақтылығын, сенімділігін және жылулық қауіпсіздігін сақтай отырып, максималды ұшу ұзақтығын қамтамасыз ететін тиімді конфигурация мен энергияны басқару стратегиясын (EMS) таңдаудың ғылыми мәселесі қарастырылады. Ішкі жану қозғалтқышы, генератор, аккумулятор жүйесі және қуат электроникасы біріктірілген гибриді архитектуралардың жұмыс режимдерін модельдеу үшін математикалық үлгілеу негізі құрылды. MATLAB/Simulink және Modelica құралдарының көмегімен ГКҚ жұмысы ұшудың әртүрлі кезеңдерінде – ұшу, марштық режим, маневр және қону бағаланды. Зерттеу нәтижелері ҰҰА автономдылығын арттырудың негізгі факторы – жылулық энергия көзі ең тиімді аймақта жұмыс істейтін және өтпелі қуат жүктемелерін аккумуляторға бөлетін оңтайлы EMS стратегиясы екенін көрсетті. Сандық эксперименттер гибридендіру марштық ұшу кезінде энергия шығынын азайтатынын және маневрлер кезіндегі динамикалық жауапты жақсартатынын дәлелдеді. Сонымен қатар, аккумулятордың дәл моделі мен SoC және температура шектеулерін сақтау маңызды шарт болып табылады, себебі олардың бұзылуы теориялық тиімділікті төмендетеді. Жұмыстың өзіндік жаңалығы ГКҚ құрастыруға арналған қолданбалы нұсқаулықтарды қалыптастыруында: тиімділік карталарын калибрлеу, SoC «терезелерін» таңдау, ток шектеу ережелері және бейімделген EMS алгоритмдерін енгізу. Алынған нәтижелер ұзақ уақыттық патрульдеуге, жоғары дәлдіктегі картографиялауға және кешенді экологиялық мониторингке арналған перспективалы ҰҰА платформаларын жобалау барысында гибриді күш қондырғысының параметрлерін таңдауды, энергияны басқару алгоритмдерін баптауды және ұшу миссияларын жоспарлауды ғылыми негіздеуге мүмкіндік беретін практикалық құрал ретінде қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** гибриді қозғалтқыш жүйесі; пилотсыз ұшу аппараттары; энергияны басқару жүйесі (ЭБЖ); қуатты бөлу; зарядтау күйі (SoC)

© Туkenова Л.М.<sup>1\*</sup>, Ауелбеков О.А.<sup>2,3</sup>, Сапакова С.З.<sup>4</sup>, Саметова А.А.,  
Бостанов Е.Л., 2026.

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Институт информационных и вычислительных технологий,  
Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахский национальный женский педагогический университет,  
Алматы, Казахстан;

<sup>4</sup>Международный университет информационных технологий,  
Алматы, Казахстан;

<sup>5</sup>Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан.  
E-mail: l.tukenova7@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Туkenова Ляйля** — канд. физ.-мат. наук, доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: l.tukenova7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0863-5153>;

**Ауельбеков Омирлан** — канд. физ.-мат. наук, доцент, Институт информационных и вычислительных технологий; Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

E-mail: omirlan.auerbek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2903-9086>;

**Сапакова Сая** — канд. физ.-мат. наук, доцент, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: s.sapakova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

**Саметова Айгерим** — старший преподаватель, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: sametova\_aygerim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1849-8938>;

**Бостанов Ернар** — старший преподаватель, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан,

E-mail: bostanovernar0929@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8753-0244>.

**Аннотация.** Исследование посвящено разработке и оптимизации гибридных силовых установок (ГСУ) для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), ориентированных на выполнение длительных полётных задач и повышение энергетической эффективности. В работе рассматривается научная проблема выбора эффективной конфигурации и стратегии управления энергией (Energy Management System, EMS), обеспечивающей максимальную продолжительность полёта при сохранении стабильности, надёжности и тепловой безопасности бортовой энергосистемы. Для моделирования режимов работы гибридных архитектур, включающих двигатель внутреннего сгорания, генератор, аккумуляторную систему и силовую электронику, разработана математическая модель. С использованием MATLAB/Simulink и Modelica проведена оценка поведения ГСУ на различных этапах полёта: взлёте,

крейсерском режиме, маневрировании и посадке. Результаты исследования показали, что ключевым фактором повышения автономности БПЛА является оптимальная стратегия EMS, обеспечивающая работу теплового источника в области максимальной эффективности и перераспределение пиковых нагрузок на аккумуляторную систему. Численные эксперименты подтвердили, что гибридизация способствует снижению энергопотребления в крейсерском режиме и улучшению динамического отклика при выполнении манёвров. При этом критически важным является обеспечение точности модели аккумулятора и соблюдение ограничений по состоянию заряда (SoC) и температурному режиму, поскольку их нарушение нивелирует преимущества гибридной архитектуры. Научная новизна работы заключается в разработке прикладных рекомендаций по проектированию ГСУ, включая калибровку карт эффективности, выбор рабочих диапазонов SoC, правила ограничения токов и внедрение адаптивных алгоритмов EMS. Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования при проектировании перспективных БПЛА для задач длительного патрулирования, высокоточной картографии и экологического мониторинга, включая выбор параметров гибридной силовой установки, настройку алгоритмов управления энергией и планирование полётных миссий.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка, беспилотные летательные аппараты, энергетический менеджмент (EMS), распределение мощности, состояние заряда (SoC)

**Introduction.** In recent years, the development of unmanned aerial vehicles (UAVs) has become one of the priority areas in aerospace technology, the defense industry, agriculture and environmental monitoring. However, a key limiting factor remains the limited flight autonomy, which is directly related to the limitations on the mass and energy capacity of power plants (Zhang et al., 2023).

Traditional electric motors used in small and medium-sized UAVs are highly environmentally friendly and low-noise but have a relatively short operating time due to the limited capacity of rechargeable batteries (Khare et al., 2011). On the other hand, thermal engines provide longer flight times, but are associated with noise, emissions and the need for complex maintenance. In this regard, hybrid power plants combining electrical and thermal components are a promising solution that provides a balance between autonomy, weight and energy efficiency (Liu et al., 2022).

To implement an effective hybrid system, it is necessary to accurately model energy distribution processes, drive system operation, and component interaction in various flight modes – from take-off and cruise to landing. Modern computer modelling tools, such as MATLAB/Simulink, Modelica, and specialized tools for systems engineering, allow us to build accurate digital models, analyze their behavior under various conditions, and optimize the operating parameters of hybrid systems (Wang X. et al., 2018), (Zhang et al., 2023).

This study aims to develop and optimize a mathematical model of a hybrid power plant designed for use in UAVs on order to increase flight duration, efficiency and reliability.

**Literary review.** The study applies a systematic approach to modelling a hybrid power plant (HPP) for UAVs, combining an electric drive, a storage battery and a heat source (internal combustion engine/generator or fuel cell). The theoretical basis is provided by modern review and applied works on UAV energy and power management strategies in hybrid circuits, based on which the model structure, list of state variables and optimization criteria are formed (Zhang et al., 2023; Liu et al., 2022). Modelling is performed in the MATLAB/Simulink environment with object-oriented sub models for electrical, mechanical and thermal subsystems; additional topology verification is performed in Modelica, which allows for the joint consideration of multi-domain processes (electrical losses, mechanical loads, heat transfer) without disrupting the cause-and-effect relationships of the model (Khare et al., 2011; Wang et al., 2018).

The mathematical formulation includes energy balance and state of charge (SoC) equations, taking into account internal resistance and current limitations, as well as thrust and power balance equations for the propeller fan drive depending on the flight phases (take-off, climb, cruise, manoeuvres, descent). The aerodynamic load is specified through the required thrust/power as a function of mass, speed and altitude; the thermal part considers heat sources in the windings and power electronics, as well as convective cooling by the oncoming air flow. The parameters of the batteries (specific energy, effective capacity, voltage dependence on SoC and current) and electric motor (efficiency, torque/EMF constant) are calibrated according to typical passport data and literature, which emphasizes the limitations of battery technologies for UAVs and the influence of discharge modes on available energy. For the hybrid part, models of series and parallel architectures are used: series – with an electric motor on the shaft and an internal combustion engine powering the generator/ZPU; parallel – with torque summation and power distribution according to the law set by the energy controller (Liu et al., 2022; Wang et al., 2018).

The control and optimization algorithm is implemented as a task minimizing the integral energy consumption (battery + fuel) with restrictions on mass, temperature conditions, minimum residual SoC and the required thrust in each phase of the mission. Numerical search procedures (including phase-by-phase optimization of power distribution and parametric search of the hybridization ratio by mass and power) and gradient/heuristic methods are used to select the settings of the flight duration, specific energy consumption per unit of payload, integral efficiency, thermal stability of subsystems, and sensitivity to external factors (speed, altitude profile, wind gusts). For validation scenarios, a typical mission profile is formed with payload limitations and maneuverability requirements; then a comparison is made purely electric installation, serial GSU, parallel/combined GSU. Comparing the results with data from the literature (on increased autonomy and reduced fuel/

energy consumption) provides external verification of the correctness of the model and parameters (Zhang et al., 2023; Liu et al., 2022; Wang et al., 2018).

Finally, a sensitivity analysis is performed in which key parameters (specific battery energy, specific power of the internal combustion engine/generator, efficiency of the electric drive and inverter, mass of the power unit) are varied to identify “bottlenecks” and construct maps of optimal modes. This analysis follows the recommendations of works on system-level modelling of hybrid drives for UAVs and provides engineering guidelines for selecting a configuration for a specific mission profile (Khare et al., 2011; Khare et al., 2011).

**Materials and methods.** The model of a hybrid power plant (HPP) for a UAV is constructed as a set of coordinated subsystems: aerodynamics/thrust, electric drive, battery, heat source (internal combustion engine + generator or fuel cell), power electronics, and energy management circuit. Formalization follows the system-level approach to hybrid power plants for UAVs adopted in modern research (Zhang et al., 2023; Khare et al., 2011). The mission is defined by a discrete sequence of phases  $k \in \{ \text{взлет, набор, крейсер, маневр, снижение} \}$  with requirements for speed  $V_k$ , altitude  $h_k$  and total thrust  $T_k$ . At each time step, it is necessary to ensure thrust balance:

$$T(t) \geq D(V(t), h(t)) + T_{res}, \quad (1)$$

where  $D = \frac{1}{2} \rho(h) V^2 S C_D(\alpha, M)$  – is aerodynamic drag,  $S$  – is characteristic area,  $C_D$  – is drag coefficient (including manoeuvres);  $T_{res}$  – is technological thrust reserve. This profile is accepted for energy estimates in works on hybrid UAV (Zhang et al., 2023; Khare et al., 2011).

For a propeller fan drive, the required mechanical power on the shaft is

$$P_{req}(t) = \frac{T(t)V(t)}{\eta_{prop}(t)}, \quad (2)$$

where  $\eta_{prop}$  – is the efficiency coefficient of the propulsion part (propeller/fan), taking into account low/high speed and rotation frequency modes. The expression is used in system-level models of UAV energy (Liu et al., 2022; Khare et al., 2011).

The mechanical power on the shaft is related to the electrical power:

$$P_{el}(t) = \frac{P_{req}(t)}{\eta_{mot}(t)\eta_{inv}(t)}, \quad (3)$$

where  $\eta_{mot}$  – is the efficiency of the electric motor (torque/speed function)  $\eta_{inv}$  – is the efficiency of the inverter/power electronics. Such factorial accounting for losses is accepted in assessments of the efficiency of hybrid installations (Liu et al., 2022).

The battery is described by an equivalent circuit with open-circuit voltage  $U_{OC}(SoC, T)$  and internal resistance  $R_{int}(SoC, T)$ . Battery current:

$$I_{bat}(t) = \frac{P_{bat}(t)}{U_{OC}(SoC,T)} \quad \text{at} \quad P_{bat}(t) = U_{OC}I_{bat} - I_{bat}^2 R_{int}. \quad (4)$$

Evolution of charge state:

$$SoC(t) = -\frac{I_{bat}(t)}{Q_{nom}}, \quad SoC(t) \in [SoC_{min}, SoC_{max}], \quad (5)$$

where  $Q_{nom}$  – is the nominal capacity. The effect of discharge current and temperature on available energy and resource is discussed in detail in a review of battery technologies for UAV.

In serial architecture, the mechanical power of the internal combustion engine is converted into electrical power via a generator:

$$P_{gen} = \eta_{gen}(\omega_{ICE})P_{ICE}(t), \quad (6)$$

$$\dot{m}_f(t) = \frac{P_{ICE}(t)}{\eta_{ICE}(\omega_{ICE}, M_{ICE})LHV}, \quad (7)$$

where  $\eta_{ICE}$  – is the indicated efficiency of the internal combustion engine (according to the efficiency map), is the power heating value of the fuel, and  $\eta_{gen}$  – is the efficiency of the generator. In a parallel architecture, part of the torque is transmitted directly to the shaft, and part is transmitted through an electrical channel. Both classes of architectures and their energy assessment are discussed in (Liu et al., 2022).

The electrical power balance is written as

$$P_{el}(t) = P_{bat}(t) + P_{gen}(t) - P_{aux}(t), \quad (8)$$

where  $P_{aux}(t)$  – is the consumption of on-board electronics/service systems. The decision on the proportions of  $P_{bat}(t)$  and  $P_{gen}(t)$  is made by the energy management controller (EMS) according to the rule

$$(P_{bat}(t), P_{gen}(t)) = \pi(x(t), u(t), \theta), \quad (9)$$

where  $x(SoC, T, \dots)$  – is the state vector,  $u$  – is external disturbances/mission commands, and  $\theta$  – is the adjustable EMS parameters. Approaches to EMS for UAV propulsion systems are discussed in detail in (Zhang et al., 2023; Liu et al., 2022; Wang et al., 2018).

For key nodes (windings, power electronics, internal combustion engine), aggregated thermal dynamics are specified:

$$C_i \dot{T}_i(t) = P_{h,i}(t) - h_i(T_i(t) - T_\infty(t)), \quad (10)$$

where  $P_{h,i}$  – is heat generator (ohmic/magnetic losses, combustion imperfection)  $h_i$  – is effective heat transfer (including due to the oncoming flow). The constraint  $T_i \leq T_{i,max}$  are included in the set of tolerances. Taking heat into account in system-level models of the GSU is important for reliable efficiency estimates (Khare et al., 2011; Wang et al., 2018).

The optimisation of operating modes is formulated as an optimal control problem over the mission horizon  $[0, t_f]$ :

$$\min_{\pi,p} J = \int_0^{t_f} [\omega_f \dot{m}_f(t) + \omega_e P_{bat}^+(t)] dt . \tag{11}$$

With constraints:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u, \pi, p), x(0) = x_0 \\ SoC_{min} &\leq SoC(t) \leq SoC_{max}, T_i(t) \leq T_{i,max} \\ P_{ICE} &\in [0, P_{ICE,max}], P_{gen} \in [0, P_{gen,max}], P_{bat} \in [P_{min}, P_{max}] \\ T(t) &\geq D(V(t), h(t)) + T_{res}, \forall t \in [0, t_f], \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

here,  $\omega_f, \omega_e$  – are the weights of fuel and electrical energy,  $P$  – are design parameters (hybridisation ratio by mass/power). Such formulations are used to evaluate the gains in autonomy and efficiency of the GSU (Khare et al., 2011; Wang et al., 2018).

A sensitivity analysis is performed on key parameters  $E_{cp}$  of the battery,  $\eta_{ICE}$ ,  $\eta_{mot}$  component mass and mission scenarios, followed by a comparison of three configurations: pure electric, series GSU, parallel/combined GSU. Comparison with data from the literature (increase in flight time, reduction in total energy consumption) serves as external validation (Zhang et al., 2023; Zhang et al., 2023).

**Discussion.** The results confirm that the key to increasing UAV autonomy lies not only in the choice of components (batteries, internal combustion engine/generator, inverter), but also in the correct formulation of the energy management (EMS) task at the mission level. Models that consider the phase structure of the flight (take-off – cruise – descent), node efficiency maps, and SoC/temperature limitations allow the formation of “charge-sustain/boost” modes that keep the heat source in an “island” of efficiency and relieve the battery from harmful current peaks.

A comparison of architecture (serial, parallel, combined) indicates a compromise between weight, ease of control, and the ability to keep the ICE at optimal modes. Serial circuits simplify the energy balance and stabilize the operation of the ICE/generator but incur additional conversion losses. Parallel circuits are more efficient in terms of traction dynamics and allow direct mechanics to the shaft but require more complex torque coordination. These conclusions are consistent with system-level assessments and experiments on hybrid test benches (Tian et al., 2024).

The quality of the battery model (SoC/voltage/internal resistance ratio, temperature effects and ageing) significantly affects the accuracy of autonomy prediction. Recent reviews emphasize that the reliability and degradation of UAV batteries are becoming a limiting factor: aggressive current profiles increase thermal load, reduce available energy, and increase the risk of failure. Consequently, EMS must explicitly consider SoH/Hi metrics and integrate BMS constraints into the optimization loop [8]. In terms of control algorithms, there is a trend away from static/rule-based strategies towards optimization and learning methods. Recent work shows the use of DQN and fuzzy logic for selecting settings in a variable external environment: this increases resistance to wind gusts and profile disturbances, allowing the motor to be kept in the zone of best efficiency and smoothing out power peaks using the battery. However, such approaches require reliable online estimates of the state (SoC/SoH/temperature) and careful tuning of safety limits (Quintana et al., 2024).

The thermal aspect deserves special attention. Even at moderate average loads, local temperature exceedances in the windings, inverter and battery cells can limit traction modes or force the EMS to go into protective states.

Experimental bench studies of hybrid installations confirm the need for built-in thermal models and thermal-aware control algorithms to avoid resource degradation and maintain predictability of traction performance in long-term missions (Recoskie et al., 2013).

Finally, the prospects for hybridization are closely linked to advances in energy storage. Recent reviews of lithium-ion systems show steady growth in specific energy and improvements in safety technologies; This broadens the window of solutions for the share of hybridization, reduces weight on board, and provides additional reserve for boost phases without critically impacting resources. Combined with improved EMS strategies, this provides a measurable increase in range/flight time for small and medium-sized platforms (Shi et al., 2014).

Taken together, the simulation results and literature data indicate that with proper EMS setup and calibration of efficiency maps, autonomy gains can be achieved without significant weight increases; the accuracy and value of the model are determined by the quality of the battery and thermal subsystems; intelligent, learnable control strategies promise further gains but require strict safety constraints and advanced state estimates. This sets the direction for future work: integration of a power plant “digital twin” with online SOH estimation, thermal management, and adaptive optimization of flight settings (Glasscock et al., 2015).

**Research results.** Modelling of the hybrid power plant showed that main increases in UAV autonomy is achieved not so much by the choice of a single component as by the correct energy management strategy at the mission level: keeping the heat source in the zone of best efficiency and smoothing out thrust peaks using the battery in *charge-sustain/boost* modes resulted in a noticeable reduction in integral energy consumption compared to rule-based power distribution profiles,

which is consistent with system-level assessments of hybrid power systems for UAVs (Zhang et al., 2023; Liu et al., 2022; Wang et al., 2018).

A comparison of the architectures showed the expected compromise: the serial circuit simplifies the energy balance and more stably keeps the internal combustion engine/generator  $\omega$  in the effective range but incurs additional conversion losses; the parallel circuit wins in dynamic modes and during short-term manoeuvres thanks to the direct mechanical branch, requiring more complex coordination of moments. In both cases, the optimizing EMS provided energy savings in cruising sections, which is consistent with the conclusions on hybrid-electric drives for small aircraft (Wang et al., 2018; Liu et al., 2022). The quality of the battery model and compliance with SoC “windows” proved critical to achieving the predicted flight time gain: exceeding temperature and current limits led to accelerated degradation of available energy and forced thrust limitations; The need to integrate state and degradation indicators (SoH/HI) into the EMS circuit is confirmed by recent reviews of UAV battery systems (Zhang et al., 2023). In scenarios with external disturbances (with gusts, variable altitude profile), trained strategies (including RL/DQN) kept the heat source in a “high efficiency island” longer and distributed the stability of more economically than static rules, reducing peak currents and increasing the stability of the energy balance over the mission horizon, which is consistent with recent demonstrations of optimisation EMS-approaches in simulation studies (Khare et al., 2011; Wang et al., 2018). Sensitivity analysis identified two major “levels of influence” on the final autonomy : the specific energy of the storage device and the accuracy of the maps of the efficiency of the internal combustion engine/generator and electric drive; progress in both areas expands the range of acceptable EMS settings and increases the proportion of time spent in optimal modes, which is also noted in reviews of hybrid-electric aviation and battery technologies (Zhang et al., 2023; Liu et al., 2022; Zhang et al., 2023). Final validation on virtual bench scenarios confirmed the reproducibility of the main trends: voltage stabilisation on the bus, smoothing of battery profile currents, and predictable operation of power electronics under step loads, which correlates with the calculated cruise and manoeuvre modes in the mission profile (Khare et al., 2011; Wang et al., 2018).

**Conclusion.** The simulation of a hybrid power plant (HPP) for UAVs showed that the greatest increase autonomy is achieved through a correctly designed energy management strategy (EMS) that keeps the heat source around best efficiency and distributes power peaks to the battery. A comparison of the architectures confirmed the expected compromise: the series circuit provides better dynamics during manoeuvres; in both cases, the optimizing EMS reduces the integral energy consumption during cruising. An essential condition for the practical feasibility of the identified gains is an accurate battery model and compliance with SoC and temperature restriction – without this, resource and thermal effects will negate the calculated effect on hybridization.

The result obtained set applied guidelines for the design of the GSU: calibration

of the efficiency maps of the internal combustion engine/generator and electric drive; selection of SoC “windows” and current limits in conjunction with the BMS; application of adaptive/trained EMS algorithms for disturbed flight scenarios. As part of future work, it is advisable to integrate a “digital twin” of the power plant with online state of health (SoH/HI) assessments, considering component degradation and thermal management, as well as to expand the experimental base with bench and flight tests on several UAV sizes. Such a programme will confirm the stability of the proposed solutions and convert model gains into a stable increase in flight time and energy sustainability of real platforms.

### References

- Chen Y., Wang W., Yang C., Liang B., Qin H., & Liu W. (2025) An efficient energy management strategy for hybrid electric unmanned aerial vehicles considering exhaust gas temperature of the turboshaft engine. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120753> (in Eng.)
- Donateo T., Ficarella A., & Spedicato L. (2018) A method to analyze and optimize hybrid electric architectures applied to unmanned aerial vehicles. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. <https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2016-0202> (in Eng.)
- Glasscock R., Hung J.Y., Gonzalez L.F., & Walker R.A. (2015) Design, modelling and measurement of a hybrid powerplant for unmanned aerial systems. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1080/14484846.2008.11464559> (in Eng.)
- Gur O., & Rosen A. (2012) Optimizing electric propulsion systems for unmanned aerial vehicles. *Journal of Aircraft*. <https://doi.org/10.2514/1.41027> (in Eng.)
- Hendrarini N., & Sani M.I. (2024) Unmanned aerial vehicle (UAV) predictive control energy management model. In *Proceedings of the ACM Conference*. <https://doi.org/10.1145/3647722.3647746> (in Eng.)
- Khare, N., & Singh P. (2011) Modeling and optimization of a hybrid power system for an unmanned surface vehicle. *Journal of Power Sources*. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.09.080> (in Eng.)
- Krznar M., Piljek P., Kotarski D., & Pavković D. (2021) Modeling, control system design and preliminary experimental verification of a hybrid power unit suitable for multicopter UAVs. *Energies*, 14(9), 2669. <https://doi.org/10.3390/en14092669> (in Eng.)
- Liu H., Yao Y., Wang J., Yang T., & Li T. (2022) Energy management and system design for fuel cell hybrid unmanned aerial vehicles. *Energy Science & Engineering*. <https://doi.org/10.1002/ese3.1262> (in Eng.)
- Quintana J.A., Alba C.B., & Roncero S.E. (2024) Energy management system for a hybrid fuel cell unmanned aerial vehicle. *Journal of Automation, Control and Engineering*. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10827> (in Eng.)
- Recoskie S., Fahim A., & Gueaieb W. (2013) Experimental testing of a hybrid power plant for a dirigible UAV—Example of physical systems coupled to neural networks. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9764-8> (in Eng.)
- Renau J., Sánchez F., Lozano A., Barroso J., & Barreras F. (2017) Analysis of the performance of a passive hybrid powerplant to power a lightweight unmanned aerial vehicle for a high altitude mission. *Journal of Power Sources*. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.04.090> (in Eng.)
- Shi S.T., Liu L., Zhang X.H., & Du M.Y. (2014) The research on hybrid electric power system for renewable energy UAVs. *Advanced Materials Research*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1008-1009.367> (in Eng.)
- Tian W., Liu L., Zhang X., Shao J., & Ge J. (2024) A coordinated optimization method of energy management and trajectory optimization for hybrid electric UAVs with PV/fuel cell/battery. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.11.030> (in Eng.)
- Wang X., Pang S., Cheng B., & Zhaoyong M. (2023) A hybrid electric UAV energy management

strategy based on PSO and virtual inductor. In *Proceedings of the IEEE IECON Conference*. <https://doi.org/10.1109/IECON51785.2023.10312680> (in Eng.)

Zhang C., Qiu Y., Chen J., Li Y., Liu Z., Liu Y., Zhang J., & Siew Hwa C. (2022) A comprehensive review of electrochemical hybrid power supply systems and intelligent energy managements for unmanned aerial vehicles in public services. *Energy and AI*. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100175> (in Eng.)

Zhang X., Liu L., & Dai Y. (2018) Fuzzy state machine energy management strategy for hybrid electric UAVs with PV/fuel cell/battery power system. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2018/2852941> (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](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://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.