

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№3
2025**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

3 (355)

JULY – SEPTEMBER 2025

**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, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES 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>

Mamyrbayev 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>

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

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/>

БАС РЕДАКТОР:

МҮТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

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

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

БАЙҒУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, 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>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдаржарқызы, 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, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимжаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО 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 Валдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

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

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

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

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>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

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 учет 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 КОКСНВО 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», 2025

CONTENTS

S. Adilzhanova, B. Amirkhanov, G. Amirkhanova, A. Anuarbek Innovative methods for ensuring cybersecurity of technological control systems of a digital twin of a food industry enterprise.....	11
L.A. Alexeyeva Vibrotransport bispinors of Dirac equations in biquaternionic representation at sublight speeds and their properties.....	25
A. Amirova, B. Aldosh, A. Ibraikhan, T. Smagulov, A. Aitmagambet A machine learning-based approach to detect malicious links on Instagram.....	41
G. Argyngazin Artificial intelligence: is alarmism justified?.....	52
Zh.A. Abdibayev, S.K. Sagnayeva, B.B. Orazbayev, M. James C. Crabbe, K.A. Dyussekeyev Development of an effective water accounting method for irrigation systems for automated water resource management systems.....	66
Zh. Bazarbek, N. Toyganbaeva, M. Mansurova, T Sarsembayeva, M. Sakypbekova Developing a dataset for creating a Large Language model (LLM) for the Kazakh language.....	78
A. Bekarystankyzy, M. Baizakova, A. Kassenkhan, M. Iglíkova Recommendation algorithms for educational preferences: a review.....	93
A. Yerimbetova, U. Berzhanova, E. Daiyrbayeva, B. Sakenov, M. Sambetbayeva Development of a parallel corpus for Kazakh sign language translation and training of the transformer model.....	110
Sh.P. Zhumagulova, O.Zh. Stamkulov, K. Momynzhanova Hybrid deep learning approach for accurate ECG beat classification using ResNet18 and BiLSTM.....	132
A. Zулhazhav, G. Bekmanova, M. Altaibek, A. Omarbekova, A. Sharipbay A personalized learning feedback system driven by a lexical semantic network.....	147

T.S. Sadykova, B.K. Sinchev, Im Cho Young, A.S. Auyezova The application of vector space models in intelligent information retrieval systems.....	160
A. Sambetbayeva, V. Jotsov Comparative analysis of deep learning architectures for road crack segmentation.....	176
D. Oralbekova, A. Akhmediyarova, D. Kassymova, Z. Alibiyeva Research on linguistic analysis methods for identifying and extracting text data in the Kazakh language.....	188
Zh.S. Takenova Research on expert assessment methods for determining teachers' priorities by discipline.....	204
Zh. Tashenova, A.R. Gabdullin, Zh. Abdugulova, Sh. Amanzholova, E. Nurlybaeva Analysis of modern wireless network security protocols and prospects for their development.....	228
A. Temirbayev, N. Meirambekuly, N. Uzbekov, A. Beisen, L. Abdizhalilova CubeSat-based APRS digipeater: design, feasibility and mission concept.....	243
N. Temirbekov, D. Tamabay, S. Kasenov, A. Temirbekov, A. Baimankulov A web-based system for air pollution monitoring with API-integrated data sources.....	258
A.A. Tlepiyev, A. Mukhamedgali, Y.T. Kaipbayev, A.N. Kalmashova, Y.G. Mukhanbet Surface water monitoring in Kazakhstan using NDWI and random forest: a case study of Lake Akkol.....	271
Z. Turysbek, O. Mamyrbayev, M. Abdullah Development of an intelligent system for detecting fake news.....	286
G.S. Shaimerdenova, S.T. Akhmetova, A.N. Zhidebayeva, E.B. Mussirepova, D.A. Bibulova The role of computer modeling in enhancing safety and efficiency in industrial facilities.....	301

МАЗМҰНЫ

<p>С. Адилжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек Тағам өнеркәсібі кәсіпорны цифрлық егізінің технологиялық басқару жүйелерінің киберқауіпсіздігін қамтамасыз етудің инновациялық әдістері.....</p>	11
<p>Л.А. Алексеева Сублимация жылдамдығындағы бикватерниондық көріністегі Дирак теңдеулерінің вибротранспорттық биспинорлары және олардың қасиеттері.....</p>	25
<p>А. Амирова, Б. Альдош, А. Ибрайхан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет Instagramдағы зиянды сілтемелерді анықтау үшін машиналық оқытуға негізделген тәсіл.....</p>	41
<p>Ғ.А. Арғынғазин Жасанды интеллект: алармистік көзқарас қалыптастыру орынды ма?.....</p>	52
<p>Ж.А. Әбдібаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюсекеев Су ресурстарының автоматтандырылған жүйелеріне суару жүйелеріндегі су есептеудің тиімді әдісін әзірлеу.....</p>	66
<p>Ж.П. Базарбек, Н.А. Тойганбаева, М.Е. Мансурова, Т.С. Сарсембаева, М.Ж. Сақыпбекова Қазақ тіліне арналған үлкен тіл моделін (LLM) жасау үшін Dataset әзірлеу..</p>	78
<p>А. Бекарыстанқызы, М. Байзакова, А. Қасенхан, М. Игликова. Білім алуды жақсарту үшін ұсыныс беретін алгоритмдерге шолу.....</p>	93
<p>А.С. Еримбетова, У.Г. Бержанова, Э.Н. Дайырбаева, Б.Е. Сәкенов, М.А. Сәмбетбаева Қазақ ым тіліне аудару үшін параллель корпус құру және transformer моделін оқыту.....</p>	110
<p>Ш.П. Жұмағұлова, О.Ж. Стамқұлов, К.Р. Момынжанова RESNET18 және BILSTM қолдана отырып, ЭКГ жүрек соғысын дәл жіктеуге арналған гибридті терең оқыту тәсілі.....</p>	132
<p>А. Зулхажав, Г.Т. Бекманова, М. Алтайбек, А.С. Омарбекова, А.А. Шәріпбай Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....</p>	147

Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Im Cho Young, А.С. Аuezова Интеллектуалды ақпаратты іздеу жүйелерінде векторлық кеңістік модельдерін қолдану.....	160
А.К. Самбетбаева, В. Йоцов Жол төсемінің жарықтарын сегментациялауда қолданылатын терең оқыту архитектураларын салыстырмалы талдау.....	176
Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Қасымова, Ж. Алибиева Қазақ тіліндегі мәтіндік ақпаратты анықтау және оны шығарып алу үшін лингвистикалық талдау әдістерін зерттеу.....	188
Ж.С. Такенова Пәндер бойынша оқытушылардың басымдығын бағалауға арналған сараптамалық бағалау әдістерін зерттеу.....	204
Ж.М. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова, Э.Н. Нурлыбаева Заманауи сымсыз желінің қауіпсіздік хаттамаларын талдау және олардың даму перспективалары.....	228
А.А. Темирбаев, Н. Мейрамбекұлы, Н.Ш. Узбеков, Ә.Н. Бейсен CUBESAT негізіндегі APRS қайта таратқышы: жобалау, іске асыру мүмкіндігі және миссия тұжырымдамасы.....	243
Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов API-интеграцияланған дереккөздері бар атмосфералық ауаның ластануын бақылауға арналған веб-негізделген жүйе.....	258
А.А. Тлепиев, А. Мұхамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Ғ. Мұханбет Қазақстандағы беткі суларды NDWI және RANDOM FOREST әдісі арқылы мониторингілеу: Ақкөл көлінің мысалында.....	271
Ж. Тұрысбек, О.Ж. Мамырбаев, А. Мұхаммед Жалған жаңалықтарды анықтайтын интеллектуалды жүйені әзірлеу.....	286
Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Э.Б. Мусирепова, Д.А. Бибулова Өнеркәсіптік объектілердің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудағы компьютерлік модельдеудің рөлі.....	301

СОДЕРЖАНИЕ

С. Адильжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек Инновационные методы обеспечения кибербезопасности технологических систем управления цифрового двойника предприятия пищевой промышленности.....	11
Л.А. Алексеева Вибротранспортные биспиноры уравнений Дирака в бикватернионном представлении при дозвуковых скоростях и их свойства.....	25
А. Амирова, Б. Алдош, А. Ибрайхан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет Метод на основе машинного обучения для выявления вредоносных ссылок в Instagram.....	41
Г. Аргынгазин Искусственный интеллект: оправдан ли алармизм?.....	52
Ж.А. Абдибаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюссекеев Разработка эффективного метода учёта воды для ирригационных систем автоматизированного управления водными ресурсами.....	66
Ж. Базарбек, Н. Тойганбаева, М. Мансурова, Т. Сарсембаева, М. Сакипбекова Создание набора данных для разработки крупной языковой модели (LLM) для казахского языка.....	78
А. Бекарыстанкызы, М. Байзакова, А. Кассенхан, М. Игликова Алгоритмы рекомендаций для образовательных предпочтений: обзор.....	93
А. Еримбетова, У. Бержанова, Е. Дайырбаева, Б. Сакенов, М. Самбетбаева Создание параллельного корпуса для перевода казахского жестового языка и обучение трансформерной модели.....	110
Ш.П. Жумагулова, О.Ж. Стамкулов, К. Момынжанова Гибридный подход глубокого обучения для точной классификации сердечных сокращений ЭКГ с использованием ResNet18 и BiLSTM.....	132
А. Зулхажав, Г. Бекманова, М. Алтайбек, А. Омарбекова, А. Шарипбай Система персонализированной обратной связи в обучении на основе лексико-семантической сети.....	147

Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Им Чо Ён, А.С. Ауезова Применение моделей векторного пространства в интеллектуальных системах информационного поиска.....	160
А. Самбетбаева, В. Йоцов Сравнительный анализ архитектур глубокого обучения для сегментации трещин на дорогах.....	176
Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Касымова, З. Алибиева Исследование методов лингвистического анализа для идентификации и извлечения текстовых данных на казахском языке.....	188
Ж.С. Такенова Исследование методов экспертной оценки для определения приоритетов учителей по дисциплинам.....	204
Ж. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж. Абдугулова, Ш. Аманжолова, Е. Нурлыбаева Анализ современных протоколов безопасности беспроводных сетей и перспективы их развития.....	228
А. Темирбаев, Н. Мейрамбекулы, Н. Узбеков, А. Бейсен, Л. Абдижалилова APRS-дигипитер на основе CubeSat: проектирование, осуществимость и концепция миссии.....	243
Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов Веб-система мониторинга загрязнения воздуха с API-интеграцией источников данных.....	258
А.А. Тлепиев, А. Мухамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Г. Муханбет Мониторинг поверхностных вод в Казахстане с использованием NDWI и случайного леса: кейс озера Аккол.....	271
З. Турысбек, О. Мамырбаев, М. Абдулла Разработка интеллектуальной системы для выявления фейковых новостей.....	286
Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Е.Б. Муссирепова, Д.А. Бибулова Роль компьютерного моделирования в повышении безопасности и эффективности промышленных объектов.....	301

Sh.P. Zhumagulova^{1,2*}, O.Zh. Stamkulov³, K. Momynzhanova^{1,2}, 2025.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan;

³Private Hospital International Almaty, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com

HYBRID DEEP LEARNING APPROACH FOR ACCURATE ECG BEAT CLASSIFICATION USING RESNET18 AND BILSTM

Zhumagulova Sholpan — postgraduated student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Stamkulov Olzhas — cardiothoracic surgeon, Private Hospital International, Almaty, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: olzhas_stamkulov@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0003-0902-0542>;

Kymbat Momynzhanova — postgraduated student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>.

Abstract. Accurate classification of electrocardiogram (ECG) beats plays a critical role in the early diagnosis and prevention of cardiovascular diseases, which remain one of the leading causes of mortality worldwide. Although automated ECG analysis methods have advanced considerably, challenges persist in detecting rare arrhythmias and capturing temporal dependencies across consecutive beats. These limitations highlight the need for hybrid architectures that integrate both spatial and temporal features. This study proposes a deep learning framework that combines a convolutional neural network (ResNet18) with a bidirectional long short-term memory network (BiLSTM). The hybrid model leverages the strengths of both components: ResNet18 extracts morphological features from ECG beat images, while BiLSTM accounts for sequential dependencies, enabling improved recognition of arrhythmic patterns with subtle temporal variations. The MIT-BIH Arrhythmia Database was used for evaluation. ECG signals were denoised using discrete wavelet transform, segmented around R-peaks, and converted into standardized grayscale images of 224×224 pixels. To address class imbalance, data augmentation techniques such as cropping, temporal scaling, and shifting were applied. Training was conducted in PyTorch with the Adam optimizer and stratified patient-level splitting to avoid data leakage. Experimental results show that the

proposed hybrid architecture achieved an accuracy of 97.4% and a macro F1-score of 96.8%, outperforming baseline CNN and BiLSTM models. The framework also demonstrated strong performance in detecting rare beat types such as ventricular escape beats (VEB) and ventricular fusion waves (VFW). These findings confirm the effectiveness of the ResNet18 + BiLSTM approach and its potential for integration into real-time ECG monitoring and clinical decision-support systems.

Keywords: electrocardiogram classification, arrhythmia detection, deep learning, bidirectional long short-term memory (BiLSTM), ResNet18, biomedical signal processing

Ш.П. Жұмағұлова^{1,2*}, О.Ж. Стамқұлов³, К.Р. Момынжанова^{1,2}, 2025.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
Алматы, Қазақстан;

³Private Hospital International Almaty, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com

RESNET18 ЖӘНЕ BiLSTM ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЭКГ ЖҮРЕК СОҒЫСЫН ДӘЛ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛІ

Жұмағұлова Шолпан Пернебайқызы — докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Стамқұлов Олжас Жүсіпұлы — врач кардиохирург, Private Hospital International Almaty, Алматы, Қазақстан,

E-mail: olzhas_stamkulov@mail.ru ; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0003-0902-0542>;

Момынжанова Кымбат Рағытовна — докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>.

Аннотация. Электрокардиограмма (ЭКГ) бойынша жүрек соғуларын дәл жіктеу жүрек-қан тамырлары ауруларын ерте диагностикалауда маңызды рөл атқарады. Бұл аурулар әлем бойынша өлім-жітімнің негізгі себептерінің бірі болып қала береді. Автоматтандырылған ЭКГ талдау әдістері айтарлықтай дамығанымен, сирек кездесетін аритмияларды анықтау және соғулар арасындағы уақыттық тәуелділіктерді есепке алу әлі де күрделі мәселе болып отыр. Осы шектеулер сигналдарды кеңістіктік әрі уақыттық деңгейде талдай алатын гибриді архитектураларды қолдану қажеттігін көрсетеді. Осы зерттеуде ResNet18 сверткіш нейрондық желісі мен екібағытты қысқа және ұзақ мерзімді жад (BiLSTM) желісін біріктіретін терең оқытудың гибриді моделі ұсынылады. Мұндай тәсіл екі әдістің артықшылықтарын біріктіреді: ResNet18 морфологиялық белгілерді кескіндерден тиімді бөліп алады, ал BiLSTM уақыттық реттіліктерді ескере отырып, ұқсас аритмияларды ажыратуды жеңілдетеді. Эксперименттер MIT-BIH Arrhythmia деректер

базасында жүргізілді. ЭКГ сигналдары дискретті вейвлет-түрлендіру арқылы шудан тазартылып, R-толқындары бойынша сегменттелді және 224×224 пиксель өлшеміндегі кескіндерге түрлендірілді. Сынып теңгерімсіздігін жою үшін: қию, уақытша масштабтау және ығыстыру секілді деректер аугментациясы қолданылды. Модель PyTorch платформасында Adam оптимизаторы арқылы оқытылып, науқас деңгейінде стратификацияланған бөлу әдісі пайдаланылды. Нәтижелер ұсынылған гибриді модельдің 97,4% дәлдікке және 96,8% макро F1 көрсеткішіне қол жеткізгенін көрсетті. Әдіс әсіресе сирек кездесетін соғу түрлерін (VEB, VFW) анықтауда тиімді болды. Бұл ResNet18 + BiLSTM архитектурасының нақты уақыттағы ЭКГ мониторинг жүйелеріне және клиникалық шешімдерді қолдау құралдарына енгізуге үлкен әлеуеті бар екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: Электрокардиограмма классификациясы, аритмияны анықтау, терең оқыту, екібағытты ұзақ мерзімді жад (BiLSTM), ResNet18, биомедициналық сигналдарды өңдеу

***Қаржыландыру.** Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP19675574).*

Ш.П. Жұмағұлова^{1,2*}, О.Ж. Стамқұлов³, К.Р. Момынжанова^{1,2}, 2025.

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;

² Институт информационных и вычислительных технологий,
Алматы, Казахстан;

³ Private Hospital International Almaty, Алматы, Казахстан.
E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТОЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКГ-СЕРДЦЕБИЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RESNET18 И BILSTM

Жұмағұлова Шолпан Пернебайқызы — докторант, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Стамқұлов Олжас Жүсіпұлы — врач кардиохирург, Private Hospital International Almaty, Алматы, Қазақстан,
E-mail: olzhas_stamkulov@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0003-0902-0542>;

Момынжанова Кымбат Рагытовна — докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>;

Аннотация. Классификация сердечных сокращений на электрокардиограмме (ЭКГ) играет важную роль в ранней диагностике и профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, которые остаются одной из ведущих причин смертности во всем мире. Несмотря на значительные успехи в области автоматизированного анализа ЭКГ, сохраняются трудности, связанные с выявлением редких аритмий и учетом временных зависимостей между последовательными сокращениями. Эти ограничения подчеркивают необходимость разработки гибридных архитектур, сочетающих пространственный и временной анализ сигналов. В настоящей работе предлагается архитектура глубокого обучения, объединяющая сверточную нейронную сеть ResNet18 и двунаправленную сеть долгой краткосрочной памяти (BiLSTM). Такой подход позволяет использовать преимущества обеих технологий: ResNet18 обеспечивает извлечение морфологических признаков из изображений сокращений, а BiLSTM учитывает временной контекст, что повышает точность распознавания аритмий с тонкими временными вариациями.

Для экспериментов использовалась база данных MIT-BIH Arrhythmia. Сигналы ЭКГ очищались с помощью дискретного вейвлет-преобразования, сегментировались по R-пикам и преобразовывались в изображения размером 224×224 пикселя. Для устранения дисбаланса классов применялись методы аугментации: обрезка, временное масштабирование и сдвиг. Обучение проводилось во фреймворке PyTorch с использованием оптимизатора Adam и стратифицированного разбиения по пациентам.

Результаты показали, что предложенная модель достигает точности 97,4% и макро F1-оценки 96,8%, превосходя базовые CNN и BiLSTM. Особенно высокая эффективность продемонстрирована при классификации редких типов сокращений, таких как VEB и VFW. Полученные данные подтверждают эффективность гибридной архитектуры ResNet18 + BiLSTM и ее потенциал для интеграции в системы мониторинга ЭКГ в реальном времени и интеллектуальные решения поддержки врачебных решений.

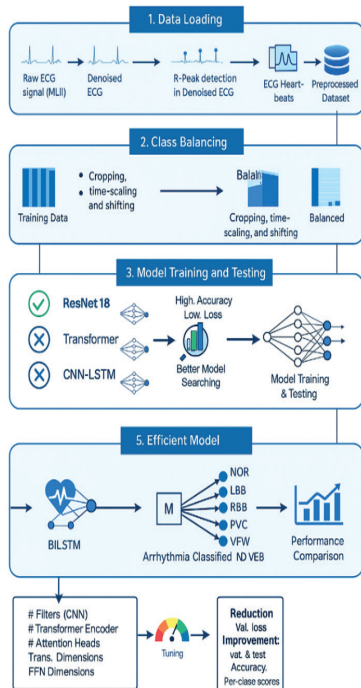
Ключевые слова: классификация электрокардиограммы, обнаружение аритмий, глубокое обучение, двунаправленная долговременная память (BiLSTM), ResNet18, обработка биомедицинских сигналов

Кіріспе. Электрокардиограмма (ЭКГ) – жүректің электрлік белсенділігін бақылау және талдау үшін кеңінен қолданылатын маңызды диагностикалық құрал. Әлем бойынша жүрек-қан тамырлары ауруларының таралуы артып келе жатқан жағдайда ЭКГ аномалияларын дер кезінде анықтау және жіктеу профилактикалық медицинаның негізгі элементіне айналады. ЭКГ сигналдары әртүрлі жүрек соғу түрлерін қамтиды, олардың әрқайсысы ағзаның физиологиялық немесе патологиялық жағдайын сипаттайтын өзіндік морфологиясымен ерекшеленеді. Жүрек соғуларын жіктеу процесін автоматтандыру кардиологиялық көмектің тиімділігін едәуір арттырып, әсіресе шалғай аймақтарда немесе ресурсы шектеулі жағдайларда пайдалы болуы мүмкін.

Ондаған жылдар бойы ЭКГ талдауында ережелерге және сигналдарды өңдеуге негізделген дәстүрлі әдістер қолданылды. Алайда мұндай тәсілдер шу деңгейінің жоғары болуында, пациенттер арасындағы жеке айырмашылықтарда және аритмияның күрделі үлгілерінде жеткіліксіз нәтиже көрсетеді. Соңғы жылдары терең оқыту әдістері, әсіресе сверткіш нейрондық желілер (CNN), алдын ала өңделмеген немесе бастапқы деректерден автоматты түрде ақпаратты белгілерді бөліп алу қабілетінің арқасында кеңінен қолданыла бастады (Faust және т.б., 2018). CNN негізіндегі жүйелер биомедициналық классификацияның бірқатар міндеттерінде, соның ішінде ЭКГ-соғуларды анықтауда жоғары тиімділік көрсетті (Kiranayaz және т.б., 2016). Дегенмен, стандартты CNN уақыттық тәуелділіктерді модельдеуде шектеулі, ал ол жүрек соғулар тізбегін талдауда аса маңызды.

Осы шектеуді еңсеру үшін бұл жұмыста ResNet18 қалдықты сверткіш желісін және екібағытты қысқа және ұзақ мерзімді жад (BiLSTM) желісін біріктіретін гибриді модель ұсынылады. ResNet18 компоненті ЭКГ сегменттерінің кескіндерінен тұрақты кеңістіктік белгілерді бөліп алса, BiLSTM тізбектегі соғулар арасындағы уақыттық байланыстарды есепке алуға мүмкіндік береді (Yildirim, 2018). Мұндай гибриді архитектура терең белгілерді алу мен тізбектерді модельдеудің артықшылықтарын біріктіріп, әсіресе аритмияны тануда классификация дәлдігін арттыруға ықпал етеді.

1-сурет. ЭКГ ырғақтарына арналған ұсынылып отырған терең оқыту құрылымының архитектурасы



Осы зерттеу аясында MIT-BIH Arrhythmia деректер базасындағы ЭКГ сигналдары вейвлет-түрлендіру арқылы шудан тазартылып, R-толқындарының маңында сегменттеледі. Алынған сегменттер сұр түсті кескіндерге түрлендіріліп, бірізді форматқа дейін масштабталады және деректер жиынының теңгерімін қамтамасыз ету үшін кю, уақытша масштабтау және ығыстыру әдістері арқылы аугментациядан өтеді. Гибридті модельді оқыту алдын ала өңделген деректер жиынында жүргізіліп, кейін стандартты метрикалар бойынша бағаланады: дәлдік (accuracy), толықтық (recall), нақтылық (precision) және макро F1 көрсеткіші. Нәтижелер ұсынылған модельдің дәстүрлі CNN тәсілдерінен жоғары екенін көрсетіп, кең таралған да, сирек кездесетін жүрек соғу түрлерін де жоғары дәлдікпен айқындауға мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеудің мақсаты – бір арналы ЭКГ негізінде жүрек соғуының жеті түрлі түрін дәл жіктеу. Бұл тапсырма мұғаліммен оқытылатын көпклассты классификация ретінде тұжырымдалады.

Кіріс деректер жиыны төмендегідей белгіленеді: $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$, мұндағы N – сегменттелген жүрек соғуларының жалпы саны. Әрбір сегмент $x_i = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$ ұзындығы n болатын, R-толқынына қатысты центрленген бірөлшемді ЭКГ сигналын білдіреді. Әрбір x_i сигналына жеті түрлі жүрек соғуының бірін сипаттайтын y_i белгісі сәйкес келеді:

$Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y^N\}$, мұндағы

$$y_i = \begin{cases} 0, \text{ NOR (қалыпты соғу)} \\ 1, \text{ LBB (Гис шоғырының сол аяқшасының бөгелісі)} \\ 2, \text{ RBB (Гис шоғырының оң аяқшасының бөгелісі)} \\ 3, \text{ PVC (қарыншалық экстрасистолалық соғу)} \\ 4, \text{ APC (жүрекшелік экстрасистолалық соғу)} \\ 5, \text{ VFW (қалыпты және қарыншалық соғудың қосылуы)} \\ 6, \text{ VEB (қалыпты және қарыншалық соғудың қосылуы)} \end{cases}$$

Мақсат – әрбір ЭКГ сегментіне x_i дұрыс y_i белгісін сәйкестендіретін $f: X \rightarrow Y$ функциясын құру. Бұл зерттеуде MIT-BIH Arrhythmia Database деректер базасы қолданылады — ЭКГ классификациясы міндеттерінде ең танымал эталондық деректер жиындарының бірі (Goldberger және т.б., 2000). Деректер жиыны 47 пациенттен жиналған, жиілігі 360 Гц болатын екі арналы амбулаторлық ЭКГ жазбаларының 48 жарты сағаттық фрагментінен тұрады. Біздің жұмысымызда негізгі назар MLII арнасына аударылды, себебі ол R-толқындарын және жүрек соғуы морфологиясын айқын визуализациялауға мүмкіндік береді. Әрбір жазба Америкалық медициналық аспаптарды жетілдіру институты (AAMI) ұсынған классификация схемасына сәйкес кардиолог-эксперттер тарапынан аннотацияланған (Rajpurkar және т.б., 2017).

№1 кесте - Қолданылған ЭКГ деректер жиыны (MIT-BIH) туралы ақпарат:

Параметр	MIT-BIH
Жазбалар саны	48
Зертхана	Бет Израиль ауруханасының аритмия зертханасы (Beth Israel)
Тіркеу құралы	Холтерлік мониторинг
Сигналдар	Екі арналы ЭКГ: (i) MLI және (ii) V1; (кейде V2, V4 немесе V5)
Сигнал ұзақтығы, дискреттеу жиілігі	30 минут (немесе сәл ұзақтау), 360 Гц
Зерттелушілер	47 адам (25 ер адам, 22 әйел). Тек бір науқаста ғана 2 жазба бар
Жас аралығы	Ерлер: 32-ден 89 жасқа дейін, Әйелдер: 23-тен 89 жасқа дейін
Соғу түрлерінің саны	20 (мақалада 15 түрі пайдаланылады)
Жазба кезеңі	1975–1979 жж.

Оқыту үшін кездесуі жиі және клиникалық маңызы жоғары келесі жеті соғу класы таңдалды:

- Қалыпты соғу (NOR)
- Гис шоғырының сол аяқшасының бөгелісі (LBB)
- Гис шоғырының оң аяқшасының бөгелісі (RBB)
- Қарыншалық мерзімінен бұрын соғу (PVC)
- Жүрекшелік мерзімінен бұрын соғу (APC)
- Қарыншалық пен қалыпты соғудың қосылуы (VFW)
- Қарыншалық алмастырушы соғу (VEB)

Қалған 11 класс классификациядағы түсінбеушілікті азайту мақсатында соңғы оқыту деректер жиынынан алынып тасталды.

Сигналдарды алдын ала өңдеу және сегментация. Базалық сызықтағы шуды жою және QRS-комплексінің анықтығын арттыру үшін `sum5` вейвлеті және 0.1 жұмсақ шекті мәні қолданылған вейвлеттік шу басу әдісі пайдаланылды. R-толқындарын анықтау BioSPPy кітапханасы арқылы жүзеге асырылып, тазартылған сигналдағы R-толқындарының орнын сенімді анықтауға мүмкіндік берді (Attia және т.б., 2019).

Әрбір соғу R-толқынына центрленген терезе арқылы сегменттеліп, жүрек циклының алдындағы және кейінгі интервалдарын қамтуға жағдай жасалды. Сегменттің шекаралары әрбір жазба үшін орташа RR-интервал негізінде анықталып, негізгі морфологиялық компоненттердің — P тісшесі, QRS-комплексі және T тісшесінің қамтылуы қамтамасыз етілді. Әрбір сегменттің дұрыстығы ± 150 мс R-толқынының маңында аннотация белгісінің бар-жоғы бойынша тексерілді.

№2 кесте - MIT-BIH деректер жиынындағы жүрек соғулар саны:

Класс	№	Түрі	Соғу атауы	Соғулар саны (MIT-BIH)
Қалыпты (N)	1	N	Қалыпты соғу	74 658
	2	L	Гис шоғырының сол аяқшасының бөгелісі	8 063
	3	R	Гис шоғырының оң аяқшасының бөгелісі	7 244
	4	e	Жүрекшелік қосымша соғу	16
	5	j	Түйіндік қосымша соғу	229
Қарыншадан жоғары экстрасистолалар	6	A	Жүрекшелік экстрасистола	2 540
	7	a	Аберантты жүрекшелік экстрасистола	150
	8	J	Түйіндік (junctional) экстрасистола	83
	9	S	Қарыншадан жоғары экстрасистола	2
Қарыншалық экстрасистолалар (V)	10	V	Қарыншалық экстрасистола	7 117
	11	E	Қарыншалық қосымша соғу	106
Қосылған соғулар (F)	12	F	Қарыншалық пен қалыпты соғудың қосылуы	802
Анықталмаған (Q)	13	/	Жасанды соғу (paced beat)	3 612
	14	f	Жасанды және қалыпты соғудың қосылуы	260
	15	Q	Анықталмаған соғу	15

Кескіндерді генерациялау және масштабтау. Сегменттелген соғулар ЭКГ морфологиясын таза визуалды түрде көрсету үшін біркелкі осьтік параметрлері бар, торсыз және жазусыз сұр түсті кескіндерге түрлендірілді. Алынған графиктер OpenCV кітапханасы арқылы өлшемі 224×224 пиксель болатын кескіндер түрінде сақталды.

Түпнұсқа сигналдың пропорциясын сақтау үшін әрбір соғу жақтарының арақатынасын бұзбай масштабталды. Қажетті 224×224 өлшеміне жету үшін ақ фонға қосымша өрістер (padding) қосылды. Бұл процесс кіріс деректерін сверткіш қабаттарға арналған бірыңғай форматқа келтіріп, модельді кейінгі оқытуды жеңілдетті (Isin & Ozdalili, 2017).

Деректерді аугментациялау. Класстар арасындағы теңгерімсіздікті, әсіресе VEB және VFW сияқты сирек кездесетін түрлер үшін, жою мақсатында деректерді аугментациялаудың кеңейтілген стратегиялары қолданылды:

- Кескінді 9 тұрақты позицияда қию (бұрыштарда, жақтарда және ортасында) (Jun және т.б., 2018);
- Уақыт бойынша масштабтау коэффициенттері 0.8, 1.0 және 1.2 қолданылды (Mahmud және т.б., 2020);
- Сигналды x осі бойынша ± 10 пиксельге ығыстыру.

Бұл әдістер аз санды класстардағы мысалдар санын бірнеше жүзден шамамен әр класс үшін 10 000-ға дейін арттыруға мүмкіндік берді. Жалпы теңгерімді сақтау үшін қалыпты соғулардың 10 050 үлгісі бастапқы жиыннан кездейсоқ таңдалып алынды (Wang және т.б., 2021).

Нормализация. Оқытуға дейін барлық кескіндер min-max нормализациясына ұшырап, пиксель қарқындылықтары [0, 1] диапазонына келтірілді. Бұл

модельдің градиенттік түсу кезінде жылдамдау үйренуіне және белгілердің масштаб айырмашылықтарынан туындайтын артық үйрену (overfitting) қаупін азайтуға ықпал етті.

ResNet18 + BiLSTM. Дамытылып отырған модель екі кезеңнен тұратын гибриді архитектураны білдіреді, оған мыналар кіреді:

1. ResNet18 (сверточный бэбон) Қалдықты байланыстары бар желі, ол ЭКГ-соғу кескіндерінен иерархиялық кеңістіктік белгілерді тиімді бөліп алуды қамтамасыз етеді. Соңғы сверткіш блоктан шыққан тензор белгілер векторына түрлендіріліп, келесі кезеңге беріледі (He және т.б., 2016).

2. BiLSTM қабаты (екібағытты ұзақ қысқа мерзімді жад) Бұл қабат алынған белгілер тізбектерін өңдейді, модельге уақыттық тәуелділіктерді әрі тікелей, әрі кері бағытта үйренуге мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл дәйекті жүрек соғулар арасындағы ырғақтық өзгерістерді түсіндіру үшін ерекше маңызды (Oh және т.б., 2019).

3. Толық байланысқан қабат (FC) + Softmax-классификатор BiLSTM нәтижелері softmax активация функциясы бар толық байланысқан қабатқа беріледі, ол жеті соғу класының бірін болжауды жүзеге асырады.

Мұндай гибриді шешім модельге кеңістіктік те, уақыттық та ақпаратты тиімді түрде біріктіруге мүмкіндік береді, бұл ЭКГ-соғуларын классификациялаудың тұрақтылығын және түсіндірілуін арттырады.

Эксперименттік орнатылым. Модельдің жалпылау қабілетін бағалау үшін деректер жиыны үш ішкі жиынға бөлінді:

- оқыту жиыны (70%),
- валидтеу жиыны (15%),
- тест жиыны (15%).

Бөлу процесі пациенттер деңгейінде жүргізілді, деректердің ағуын болдырмау үшін — бір пациенттің соғулары бір уақытта әрі оқыту, әрі тест жиынына енгізілмеді. Сондай-ақ барлық ішкі жиындарда класстардың біркелкі бөлінуін қамтамасыз ету үшін стратификацияланған таңдау қолданылды.

Оқыту конфигурациясы. Модельді оқыту GPU қолдауы бар жүйеде PyTorch фреймворкі арқылы жүзеге асырылды. Келесі гиперпараметрлер орнатылды:

- Оптимизатор: Adam
- Оқу жылдамдығы (learning rate): 0.0001
- Батч өлшемі: 64
- Эпоха саны: 50
- Шығын функциясы: категориялық кросс-энтропия (Categorical Cross-Entropy)
- L2-регуляризация (weight decay): $1e-5$
- Ерте тоқтату (Early Stopping): валидациялық қателік 10 эпох бойы жақсармаған жағдайда Во время обучения сохранялись контрольные точки модели (checkpoints), основанные на наилучшей валидационной точности, что позволило избежать переобучения.

Бағалау метрикалары. Модельдің өнімділігін бағалау үшін келесі классификация метрикалары қолданылды:

- Дәлдік (Accuracy, ACC) - дұрыс классификацияланған соғулардың жалпы пайызы.

- Оң болжамның нақтылығы (Precision, P) - дұрыс болжанған оң мысалдардың санының барлық оң болжамдар санына қатынасы.

- Толықтық (Recall, R) - дұрыс болжанған оң мысалдардың санының барлық нақты оң мысалдарға қатынасы.

- F1-мера (F1-score) - нақтылық пен толықтықтың гармониялық орташа мәні.

- Орташа макро F1-мера (Macro F1) - барлық класстар бойынша F1-мерлердің орташа мәні, әрбір класқа тең маңыздылық береді.

Әрбір класс бойынша дұрыс және қате болжамдарды егжей-тегжейлі талдау үшін қателіктер матрицасы (confusion matrix) да құрастырылды.

Негізгі модельдермен салыстыру. Ұсынылған гибриді архитектураның тиімділігін растау үшін біз оны бірнеше негізгі модельдермен салыстырдық:

№3 кесте - Зерттеуде қолданылған модель архитектураларының сипаттамалары:

Модель	Сипаттама
ResNet18	Сверткіш нейрондық желі ғана, уақыттық тәуелділіктерді ескермейді
BiLSTM	Бірөлшемді белгілерде оқытылған уақыттық модель
CNN + BiLSTM	Шығысы LSTM қабаты түрінде берілетін қарапайым сверткіш нейрондық желі
ResNet18 + BiLSTM	Кірісі кескін түрінде берілетін ұсынылып отырған гибриді модель

Салыстырмалы талдау нәтижелері қалдықты белгілерді шығару (ResNet18) мен екібағытты уақыттық модельдеуді (BiLSTM) біріктіру классификация сапасының біртіндеп жақсаруына алып келетінін көрсетеді.

Нәтижелер. Ұсынылған ResNet18 + BiLSTM моделі базалық модельдермен салыстырғанда барлық бағалау метрикалары бойынша ең үздік нәтижелерді көрсетті (Jamil және т.б., 2024). Төмендегі кестеде тест жиынында алынған қорытынды көрсеткіштер берілген:

№4 кесте - Тест жиынындағы әртүрлі архитектуралардың тиімділігін салыстырмалы көрсеткіштері:

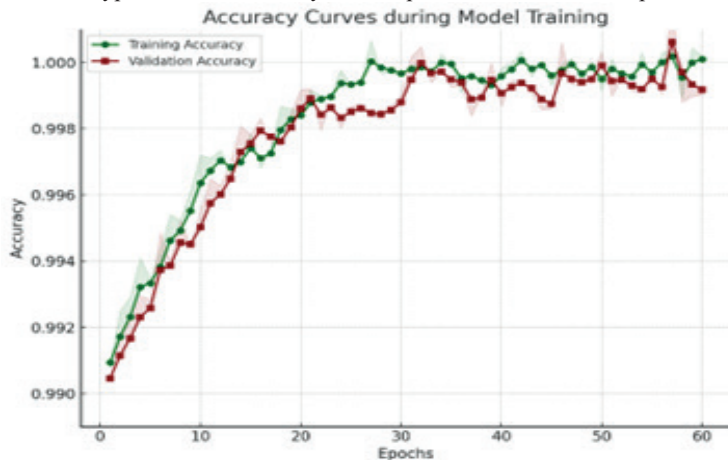
Модель	Дәлдік (%)	Нақтылық (Precision, %)	Толықтық (Recall, %)	Макро F1 (%)
ResNet18	93.5	91.7	91.1	90.8
BiLSTM	92.3	90.2	89.5	88.7
CNN + BiLSTM	94.6	93.1	92.5	92.0
ResNet18 + BiLSTM	97.4	96.9	96.2	96.8

Ұсынылған гибриді модель жеке CNN мен LSTM архитектураларынан айтарлықтай жоғары нәтижелер көрсетіп, дәлдік пен макро F1-метрика

бойынша ең үздік көрсеткіштерге жетті. Бұл оның тұрақтылығын және барлық кластар бойынша теңгерімді классификация жүргізе алатынын дәлелдейді (Oh және т.б., 2019).

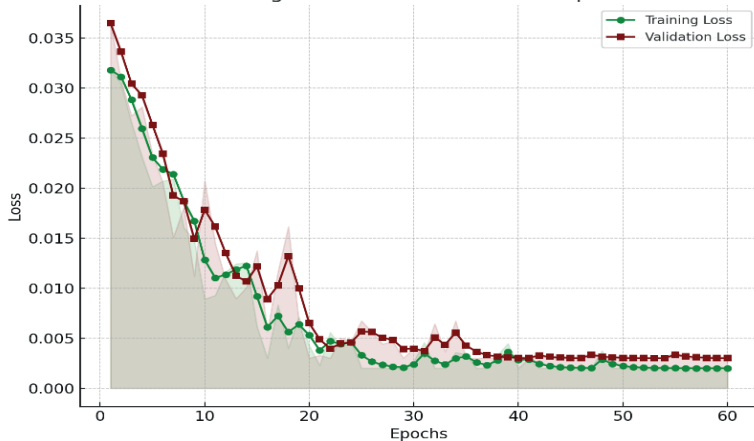
Қателіктер матрицасы. Төменде келтірілген қателіктер матрицасы модельдің жүрек соғуының жеті түрінің әрқайсысы бойынша тиімділігін көрсетеді. Диагональды элементтердің басым болуы барлық класстарды классификациялаудың жоғары дәлдігін білдіреді.

2-сурет. Модельді оқыту кезеңдеріндегі дәлдік қисықтары



F1-мераның таралуы. Төмендегі диаграмма әрбір класс бойынша F1-мера мәндерін жеке көрсетеді. Әсіресе VEB және VFW сияқты сирек кездесетін класстарда модельдің жоғары тиімділігі байқалады, бұл класстар әдетте деректердегі аз кездесетіндіктен классификациялауда қиындық тудырады.

3-сурет. Модельді оқыту кезеңдеріндегі шығын функциясының қисықтары



Класстар бойынша талдау

- Қалыпты ритм (NOR): Үлгілердің көптігі және сигналдың айқын формасы есебінен жоғары дәлдік пен толықтыққа қол жеткізілді.

- PVC және APC: Аугментацияның қолданылуы және BiLSTM-нің контекстті ескеру қабілетінің арқасында нақтылықтың артуы байқалды.

- VEB және VFW: Бастапқыда саны аз болғанына қарамастан, аугментациядан кейін модель F1-метрикада 94%-дан жоғары нәтижеге жетті.

- LBB және RBB: Кескіндерде де, уақыттық облыста да жақсы ажыратылатындықтан, классификация дәлдігі жоғары болды.

Классификация тиімділігін бағалау әдістері. Ұсынылған классификация моделінің тиімділігін бағалау үшін келесі метрикалар қолданылды: дәлдік (Accuracy), сезімталдық (Sensitivity), ерекшелік (Specificity), сондай-ақ F1-мера. Бұл метрикалар машиналық оқыту алгоритмдерінің жұмыс сапасын талдауда, әсіресе көпклассты классификация міндеттерінде негізгі көрсеткіш болып табылады.

Класс бойынша көрсеткіштер (per-class accuracy, sensitivity және specificity) келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$\text{Sensitivity}_{PC} = \text{Sensitivity}_{OA} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$\text{Specificity}_{PC} = \text{Specificity}_{OA} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2)$$

$$\text{Accuracy}_{PC} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3)$$

$$\text{Accuracy}_{OA} = \frac{N_{\text{correct}}}{N} \quad (4)$$

мұндағы TP - шын оң болжамдар саны, TN - шын теріс болжамдар саны, FP - жалған оң болжамдар саны, FN - жалған теріс болжамдар саны; N - үлгілердің жалпы саны, N_{correct} - дұрыс классификацияланған үлгілер саны; OA - модельдің жалпы тиімділігі, PC - әрбір класс бойынша тиімділік.

Әрбір класс үшін F1-мера келесі формула бойынша есептеледі:

$$F1_{PC} = \text{Микро} - F1_{OA} = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Sensitivity}}{\text{Precision} + \text{Sensitivity}} = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (5)$$

мұндағы $F1_{OA}$ - жалпы F1-мера. Макро және салмақталған F1-мера (weighted) төмендегідей анықталады:

$$\text{Macro} - F1_{OA} = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C F1_{i,PC} \quad (6)$$

$$\text{Weighted } F_{1,OA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^C F1_{i,PC} \cdot N_i \quad (7)$$

мұндағы C - класстар саны, $F1_{i,PC}$ - i -ші класс үшін F1-мера, N_i - i -ші класс үлгілерінің саны. Көпклассты классификация үшін жалпы сезімталдық (sensitivity), ерекшелік (specificity), дәлдік (accuracy) және микро F1 мәндері сәйкес келеді:

$$\text{Sensitivity}_{OA} = \text{Specificity}_{OA} = \text{Accuracy}_{OA} = \text{Micro } F_{1,OA} \quad (8)$$

Талқылау. Осы зерттеуде ұсынылған нәтижелер ЭКГ соғуларын классификациялауда кеңістіктік және уақыттық оқытуды біріктірудің тиімділігін айқындайды. Ұсынылған ResNet18 + BiLSTM архитектурасы дәстүрлі CNN және LSTM модельдерінен айтарлықтай жоғары нәтиже көрсетіп, әсіресе күрделі аритмиялар мен сирек кездесетін соғу түрлерін өңдеуде басымдық танытты (Oralbekova және т.б., 2024).

Бұл жетістік екі негізгі факторға байланысты:

1. ResNet18 соғу кескіндерінен терең морфологиялық белгілерді тиімді бөліп алады,
2. BiLSTM ырғақтық аномалияларды тануда маңызды болып табылатын тізбектік тәуелділіктерді ескеруге қабілетті.

Оқшауланған CNN-модельдерімен салыстырғанда гибриді архитектура жақсырақ жалпылау қабілетіне және тұрақтылыққа ие. Дәстүрлі CNN көбіне тек локалды кеңістіктік ерекшеліктерге назар аударады және уақыттық ұсақ айырмашылықтары бар соғуларды ажырата алмауы мүмкін (Zhang және т.б., 2023). BiLSTM интеграциясы екібағытты уақыттық контексті қамтамасыз етіп, морфологиясы ұқсас, бірақ контекст бойынша әртүрлі соғуларды ажыратуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, біздің алдын ала өңдеу кезеңіміз - вейвлет-фильтрацияны, дәл сегментацияны және бағытталған деректер аугментациясын қамтитын — оқыту жиынының сапасын айтарлықтай жақсартты. Әсіресе VEB және VFW сияқты сирек кездесетін кластардың F1-метрикасының жоғары мәндерге қол жеткізуі деректер теңгерімсіздігіне қарсы қолданылған әдістердің (қию, уақытша масштабтау, x осі бойынша ығыстыру) тиімділігін дәлелдейді.

Қателіктер матрицасы мен әр класс бойынша F1 мәндері де қате классификациялардың ең аз деңгейде екенін, негізінен морфологиясы ұқсас соғулар арасында (мысалы, PVC және VEB) байқалатынын көрсетті. Болашақта мұндай қателерді азайту үшін көп арналы ЭКГ қолдану немесе интерпретацияны арттыру мақсатында назар аудару (attention) механизмдерін енгізу мүмкін (Yang және т.б., 2022). Сондай-ақ модель архитектурасының есептеу тұрғысынан тиімді және ауқымдалатын екенін атап өткен жөн. ResNet18 салыстырмалы түрде «жеңіл» сверткіш желі болып табылады, ал BiLSTM қабаты тек шамалы қосымша жүктеме енгізеді. Бұл бүкіл жүйені

жүрек қызметін нақты уақыт режимінде бақылауға арналған жүйелер мен мобильді медициналық қосымшаларға енгізуге қолайлы етеді.

Шектеулер. Жұбаныш беретін нәтижелерге қарамастан, бұл зерттеудің бірнеше шектеулерін атап өткен жөн:

- Зерттеу тек MIT-BIH деректер базасындағы MLIИ арнасына негізделген. Көп арналы ЭКГ деректерін қосу, әсіресе бір арналы талдауда екіұшты болып табылатын соғулар үшін, дәлдікті қосымша арттыруы мүмкін.

- Кескін түрінде ұсыну кіріс деректерінің форматын жеңілдеткенімен, бастапқы сигналдарда болатын жиіліктік аймақтағы белгілерді алып тастауы мүмкін. Болашақ модельдер кескіндер мен сигналдарды біріктіретін мультимодальды оқытуды қолдана алады.

- BiLSTM компоненті уақыттық тәуелділікті енгізеді, сондықтан тізбектерді ескере отырып оқытуды талап етеді. Клиникалық жағдайда деректер ретсіз немесе сирек болғанда қосымша алдын ала өңдеу қажет болуы мүмкін.

- Модельдің жалпылау қабілетін бағалау үшін әртүрлі популяциялар мен жабдық түрлерін қамтитын тәуелсіз ЭКГ деректер жиындарында сыртқы валидация жүргізу қажет.

Қорытынды. Бұл жұмыста ЭКГ соғуларын классификациялау үшін ResNet18 сверткіш желісі мен екібағытты ұзақ қысқа мерзімді жад (BiLSTM) желісін біріктіретін гибриді терең оқыту архитектурасы ұсынылды. Бірөлшемді сигналдарды кескіндерге түрлендіру және аугментация әдістерін қолдану класстар теңгерімсіздігін жоюға және модельдің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік берді.

MIT-BIH Arrhythmia Database деректер базасында жүргізілген эксперименттер ұсынылған тәсілдің 97,4% дәлдікке және 96,8% макро F1 көрсеткішіне қол жеткізгенін көрсетті, бұл базалық CNN және BiLSTM архитектураларынан жоғары нәтижелер. Әсіресе сирек кездесетін соғу түрлерін анықтаудағы жоғары тиімділік модельдің жалпылау қабілетін және шектеулі деректермен жұмыс істей алуын дәлелдейді.

Алынған нәтижелер кеңістіктік және уақыттық талдауды біріктіру ЭКГ классификациясының сапасын едәуір арттыратынын және практикалық қолдану мүмкіндіктерін ашатынын көрсетеді. Болашақта зерттеуді көп арналы ЭКГ қолдану, назар аудару (attention) механизмдерін енгізу және клиникалық деректер жиындарында валидация жүргізу арқылы кеңейту жоспарлануда. Бұл модельдің интерпретациясын жақсартып, оны жүрек қызметін нақты уақыт режимінде бақылау жүйелеріне және дәрігер шешімін қолдауға арналған интеллектуалды құралдарға енгізуге дайын болуын қамтамасыз етеді.

References

Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.C., Mark R.G., Mietus J.E., Moody G.B., Peng C.-K., Stanley H.E. (2000) PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation*, 101(23), e215–e220. (in Eng.)

Jun T.J., Nguyen H.T., Kang D., Kim D., Yoon S. (2018) ECG arrhythmia classification using

deep learning. 2018 IEEE EMBC. — P. 542–545. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512547>(in Eng.)

Mahmud M.S., Kaiser M.S., Rahman M.A., Rahman M.A., Yousuf M.A., Rauf A., et al. (2020) ECG beat classification using deep convolutional neural network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 60, 101966. (in Eng.)

He K., Zhang X., Ren S., Sun J. (2016) Deep Residual Learning for Image Recognition. *CVPR* 2016. — P. 770–778. (in Eng.)

Oh S.L., Ng E.Y.K., San Tan R., Acharya U.R. (2019) Automated diagnosis of arrhythmia using combination of CNN and LSTM techniques with variable length heart beats. *Computers in Biology and Medicine*, 102. — P. 278–287. (in Eng.)

Zhang Y., Zhang S., Wang L., Wang S. (2023). Hybrid CNN–Transformer Network for Arrhythmia Classification Using Multilead ECG. *Biomedical Signal Processing and Control*, 86, 104200. (in Eng.)

Kiranyaz S., Ince T., Gabbouj M. (2016) Real-time patient-specific ECG classification by 1-D convolutional neural networks. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 63(3). — P. 664–675. (in Eng.)

Yildirim O. (2018) A novel wavelet sequence based on deep bidirectional LSTM network model for ECG signal classification. *Computers in Biology and Medicine*, 96. — P. 189–202. (in Eng.)

Rajpurkar P., Hannun A.Y., Haghpanahi M., Bourn C., Ng A.Y. (2017) Cardiologist-Level Arrhythmia Detection with Convolutional Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:1707.01836*. (in Eng.)

Oh S.L., Ng E.Y.K., San Tan R., Acharya U.R. (2019) Automated diagnosis of arrhythmia using combination of CNN and LSTM techniques with variable length heart beats. *Computers in Biology and Medicine*, 102. — P. 278–287. (in Eng.)

Faust O., Hagiwara Y., Hong T.J., Lih O.S., Acharya U.R. (2018) Deep learning for healthcare applications based on physiological signals: A review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 161. — P. 1–13. (in Eng.)

Wang Z., Dong J., Yang H., Zhang J. (2021) ECG signal classification with deep learning and data augmentation strategy. *Computers in Biology and Medicine*, 136, 104658. (in Eng.)

Attia Z.I., Noseworthy P.A., Lopez-Jimenez F., Asirvatham S.J., Deshmukh A.J., Gersh B.J., et al. (2019) An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *The Lancet*, 394(10201). — P. 861–867. (in Eng.)

Isin A., Ozdalili S. (2017). Cardiac arrhythmia detection using deep learning. *Procedia Computer Science*, 120, 268–275.

Yang Y., Zhou Y., Wang L., Zhang S., Jin L. (2022) A Multi-Scale Residual Attention Network for ECG Arrhythmia Classification. *IEEE Access*, 10. — P. 26585–26595. (in Eng.)

Oralbekova, D., Mamyrbayev, O., Zhumagulova, S., Zhumazhan, N. (2024) A Comparative Analysis of LSTM and BERT Models for Named Entity Recognition in Kazakh Language: A Multi-classification Approach. In: Agarwal, N., Sakalauskas, L., Tukeyev, U. (eds) *Modeling and Simulation of Social-Behavioral Phenomena in Creative Societies*. MSBC 2024. *Communications in Computer and Information Science*, vol 2211. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72260-8_10. (in Eng.)

Jamil R., Dong M., Rashid J., Mamyrbayev O., Zhumagulova S.P., Momynzhanova K.R. (2024) High Accuracy Microcalcifications Detection of Breast Cancer Using Wiener LTI Tophat Model. *IEEE Access*, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3439397 (in Eng.)

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 25.09.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная.

Печать – ризограф. 20,0 п.л. Заказ 3.