

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№4
2025**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

4 (356)

OCTOBER – DECEMBER 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>

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>

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 Aldazarovna, 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>

БАЙҒҮНЧЕКОВ 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 ҒЖМ 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 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», 2025

CONTENTS

B. Assanova, Zh. Moldasheva, A.T. Kishubaeva Decision support system structure and blocks for selecting efficient delayed coking modes.....	11
Zh.T. Abildayeva, R.K. Uskenbayeva, G.S. Beketova, N.B. Konyrbaev, S.B. Seydazimov Multi-criterion optimization of advertising budget allocation in the agro-industrial complex based on NSGA-III algorithm.....	26
A.O. Aliyeva, B.S. Omarov, R.B. Abdrakhmanov, D.R. Sultan, A.B. Toktarova Neural network model for automatic detection of Kazakh-language hatespeech.....	40
O. Auyelbekov, E. Bostanov, S. Sapakova, L. Tukenova, A. Kozhagul Modeling and analysis of a generator with permanent and variable magnets.....	55
G. Autova, G. Nurtayeva, E. Zulfukharova, G. Yeleussizova, R. Zhumabekova Theoretical foundations of interdisciplinary integration of physics and computer science.....	73
A.Zh. Akhmetova, M.A. Kantureyeva, A.A. Abisheva, A. Aubakirova, A.A. Shekerbek Analysis of the social network user's environment.....	89
A.Sh. Barakova, K.S. Shadinova, A.S. Orynbaeva, G. Sugurzhanova Design of a model for protecting a website's authentication data and content based on blockchain technology.....	102
A.N. Zhidebayeva, G.U. Madaliyeva, B.O. Tastanbekova, S.S. Karzhaubekova, G.S. Shaimerdenova Deep neural network Conv-LSTM for ECG-based cardiac disorder identification.....	122
N.M. Zhunissov, A.B. Aben, A.B. Amanzholova The fraud detection model in text messages.....	138
A. Issakhov, A. Alzhanov, A. Akhmedov, A. Amanzholov, T. Murat Numerical simulation of thermohydrodynamics during heated water discharge into Lake Balkhash.....	152

Z. Kaderkeyeva, B. Razakhova, G. Bekmanova, A. Nazyrova, M. Zhasuzakova Q-Bilim: an intelligent system for assessing learning outcomes based on competencies.....	171
N. Karymsakova, A. Boltaboyeva, D. Turmakhanbet, M. Maulenbekov, T. Abdirova Unsupervised learning for the identification of critical conditions in renewable energy production.....	184
A.Kulakayeva, E.Daineko, B. Medetov, A. Nurlankyzy Evaluation of the effectiveness of modern neural network architectures for VAD under low snr ratio conditions.....	203
B. Orazbayev, A. Zhumadillayeva, K. Orazbayeva, R. Yessirkessinov, Zh. Tuleuov Development of models of sulfur production processes based on artificial neural networks and simulation.....	216
L. Rzayeva, A. Ryzhova, M. Zhaparkhanova, A. Myrzatay, Zh. Kozhakhmet A new LSTM-based web application for automated password strength evaluation.....	234
D. Sagidoldin, A. Zhetpisbayeva, B. Zhumazhanov, B. Zhumazhanov Increasing the reliability of data transmission from small spacecraft using SDR equipment.....	259
A.N. Seraly, A.D. Mekhtiyev, G.Z. Ziyatbekova, K.B. Begalieva, R.A. Mekhtiyev Development of hardware for monitoring optical parameters.....	274
A.A. Taurbekova, M.V. Markosyan Development and implementation of a computational model of magmatic processes in the bowls of the Earth and on its surface.....	288
K. Chezhimbayeva, A. Mukhamejanova, Y. Garmashova Fuzzy-logic-based expert system for predicting QoS in 5G networks.....	306

МАЗМҰНЫ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Баяу кокстеу қондырғысы үшін тиімді жұмыс режимдерін таңдауға шешім қолдау жүйесі құрылымы.....	11
Ж.Т. Әбілдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Қоңырбаев, С.Б. Сейдазимов NSGA-III алгоритмі негізінде агроөнеркәсіптік кешендегі жарнамалық бюджетті бөлуді көп критериялы оңтайландыру.....	26
А.О. Әлиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Тоқтарова Қазақ тіліндегі дискриминацияны автоматты анықтауға арналған нейрондық желілік моделі.....	40
О. Әуелбеков, Е. Бостанов, С. Сапақова, Л. Түкенова, А. Қожағұл Тұрақты және айнымалы магниттері бар генераторды модельдеу және талдау.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Ә.М. Зильбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жұмабекова Физика мен информатика пәндерінің пәнаралық интеграциясының теориялық негіздері.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Әлеуметтік желі қолданушыларының ортасын талдау.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Блокчейн технологиясы негізінде веб сайттың аутентификациялық деректері мен өнімін қорғау моделін құрастыру.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Қаржаубекова, Г.С. Шаймерденова Жүрек ауруларын анықтауда Conv-LSTM архитектурасына негізделген терең нейрондық желі.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, Ә.Б. Аманжолова Мәтіндік хабарламалардағы алаяқтықты анықтау моделі.....	138
А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Балқаш көліне жылы су ағызу кезіндегі термогидродинамиканы сандық модельдеу.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасұзақова Q-Bilim: құзыреттерге негізделген оқу нәтижелерін бағалауға арналған интеллектуалды жүйе.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Жанартылатын энергия өндірісіндегі критикалық режимдерді анықтауға арналған мұғалімсіз оқыту.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланқызы Сигнал/шуыл қатынасы төмен жағдайларда заманауи нейрондық желілік VAD архитектураларының тиімділігін бағалау.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов Күкірт өндіру процесстерінің модельдерін жасанды нейрондық желілер негізінде әзірлеу және модельдеу.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет, Құпиясөздің беріктігін автоматты бағалауға арналған LSTM негізіндегі жаңа веб-қосымша.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов SDR жабдықтарын пайдалану арқылы, шағын ғарыш аппараттарынан деректерді берудің сенімділігін арттыру.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Оптикалық параметрлерді бақылауға арналған аппараттық құрылғыны әзірлеу.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян Жер көзіндегі және оның бетіндегі магматтық процестердің есептік моделін әзірлеу және енгізу.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Айқын емес логика негізінде 5G желілеріндегі QoS болжау expertтік жүйесі.....	306

СОДЕРЖАНИЕ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Структура и функциональные блоки системы поддержки решений для выбора режимов замедленного коксования.....	11
Ж.Т. Абилдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Конырбаев, С.Б. Сейдазимов Многокритериальная оптимизация распределения рекламного бюджета в апк на основе алгоритма NSGA-III.....	26
А.О. Алиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Токтарова Нейросетевая модель для автоматического обнаружения дискриминации в казахском языке.....	40
О. Ауельбеков, Е. Бостанов, С. Сапакова, Л. Туkenова, А. Кожугул Моделирование и анализ генератора с постоянными и переменными магнитами.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зулбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жумабекова Теоретические основы междисциплинарной интеграции физики и информатики.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Анализ окружения ползователей социальной сети.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Разработка модели защиты аутентификационных данных и контента веб-сайта на основе технологии блокчейн.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Каржаубекова, Г.С. Шаймерденова Глубокая нейронная сеть на основе архитектуры Conv-LSTM для выявления сердечных заболеваний.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, А.Б. Аманжолова Модель обнаружения мошенничества в текстовых сообщениях.....	138
А.А. Исahов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Численное моделирование термогидродинамики при сбросе подогретых вод в озеро Балхаш.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасузакова Q-Bilim: интеллектуальная система оценки результатов обучения на основе компетенций.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Обучение без учителя для выявления критических режимов в производстве возобновляемой энергии.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы Оценка эффективности современных нейросетевых архитектур VAD при низком отношении сигнал/шум.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов Разработка моделей процессов производства серы на основе искусственных нейронных сетей и моделирование.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет Новое веб-приложение на основе LSTM для автоматизированной оценки надежности паролей.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов Повышение надёжности передачи данных с малых космических аппаратов с применением SDR оборудования.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Разработка аппаратного средства для контроля оптических параметров.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян, Н.Т. Карымсакова Разработка и реализация вычислительной модели магматических процессов в недрах земли и на её поверхности.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Экспертная система прогнозирования QoS в 5G-сетях на основе нечеткой логики.....	306

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 4. Number 356 (2025). 203–215

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.392>

IRSTI 28.23.01
UDC 004.032.26

© **A. Kulakayeva¹, E. Daineko¹, B. Medetov², A. Nurlankyzy^{1,3*}**, 2025.

¹ International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

³ Satpayev University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nurlankyzyaigulya@gmail.com

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR VAD UNDER LOW SNR RATIO CONDITIONS

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

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

Yevgeniya Daineko — PhD, Associate Professor, Vice Rector for Global Partnerships and Continuous Education of International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan,

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

Bekbolat Medetov — PhD, Associate Professor of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: bm02@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>;

Aigul Nurlankyzy — PhD, Senior lecturer, Satbaev University; Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nurlankyzyaigulya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0791-8573>.

Abstract. This study addresses the problem of enhancing the robustness of Voice Activity Detection (VAD) systems against acoustic noise, which is particularly relevant for practical applications in mobile devices and telecommunication systems. An experimental comparison of five hybrid neural network architectures (CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM, and CNN+TDNN) was conducted using the large-scale Kazakh Speech Corpus (KSC2), augmented with both synthetic and real noise from the ESC-50 dataset across a signal-to-noise ratio (SNR) range of -20 to $+30$ dB. Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) were used to construct the feature space, providing informative representations of audio signals for subsequent machine learning. The experimental results showed that all tested architectures achieved high values of Accuracy and F1-score (above 99.3%) across the entire range of acoustic conditions. The CNN+BiGRU architecture demonstrated the best balance between precision, recall, and noise robustness, whereas CNN+TDNN stood out for its minimal computational cost

with comparable performance metrics. Error matrix analysis confirmed the models' ability to reliably distinguish between speech and noise, even under low signal-to-noise ratio (SNR) conditions. These findings indicate the high suitability of hybrid neural network architectures for addressing the VAD task in real-world noisy environments. CNN+BiGRU and CNN+TDNN are the most promising for practical deployment, enabling their use in mobile, embedded, and cloud-based speech systems.

Key words: voice activity detectors, signal-to-noise ratio, recurrent neural networks, convolutional neural networks, machine learning

© А. Кулакаева¹, Е. Дайнеко¹, Б. Медетов², А. Нурланкызы^{1,3*}, 2025.

¹ Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

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

³ Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nurlankyzaigulya@gmail.com

СИГНАЛ/ШУЫЛ ҚАТЫНАСЫ ТӨМЕН ЖАҒДАЙЛАРДА ЗАМАНАУИ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛІК VAD АРХИТЕКТУРАЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

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

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

Евгения Дайнеко — PhD, Қауымдастырылған-профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Жаһандық серіктестік және қосымша білім беру жөніндегі проректоры, Алматы, Қазақстан,

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

Бекболат Медетов — PhD, Л.Н. Гумилев Атындағы Еуразия ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры, Астана, Қазақстан,

E-mail: bm02@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>;

Айгуль Нурланкызы — PhD, аға оқытушы, Сәтбаев университеті; Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы Энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nurlankyzaigulya@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0791-8573>.

Аннотация. Бұл жұмыста дауыс белсенділігін анықтау жүйелерінің (VAD, Voice Activity Detection) акустикалық кедергілерге төзімділігін арттыру мәселесі қарастырылады. Бұл мәселе әсіресе мобильді құрылғылар мен телекоммуникациялық жүйелерде практикалық қолдану үшін өзекті болып табылады. Эксперименттік түрде бес гибридті нейрондық желілік архитектуралардың (CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM және CNN+TDNN) салыстырмалы талдауы жүргізілді. Зерттеу Kazakh Speech Corpus (KSC2) атты кең ауқымды қазақша сөйлеу корпусына негізделіп, оған ESC-50 мәліметтер базасынан алынған синтетикалық және нақты шу деңгейлері −20 дБ-ден +30 дБ-ге дейін қосылды. Белгілік кеңістікті қалыптастыру үшін мел-жиілік кепстральды коэффициенттері (MFCC) қолданылды, бұл

аудиосигналдарды одан әрі машиналық оқыту үшін ақпараттық тұрғыдан тиімді ұсынуға мүмкіндік берді. Эксперименттік нәтижелер барлық сынақтан өткен архитектуралардың акустикалық жағдайлардың барлық ауқымында жоғары дәлдік (Accuracy) және F1-score көрсеткіштеріне (99,3%-дан жоғары) қол жеткізетінін көрсетті. CNN+BiGRU архитектурасы дәлдік, толықтық және шуға төзімділік арасындағы ең жақсы тепе-теңдікті көрсетті, ал CNN+TDNN архитектурасы сапа көрсеткіштері салыстырмалы болғанымен, есептеу ресурстарын аз қажет етуімен ерекшеленеді. Қате матрицаларын талдау тіпті төмен сигнал/шум қатынасында да модельдердің сөйлеу мен шуды сенімді түрде ажырата алатынын растады. Алынған нәтижелер гибриді нейрожелі архитектураларының нақты, шуды көп ортада Voice Activity Detection (сөйлеу белсенділігін анықтау) мәселесін шешуге жоғары бейімділігін дәлелдейді. CNN+BiGRU және CNN+TDNN модельдері практикалық қолдану үшін ең перспективалы болып табылады және мұндай модельдерді мобильді, кірістірілген және бұлтты сөйлеу жүйелерінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сөйлеу белсенділігін анықтауыштар, сигнал/шуыл қатынасы, рекуррентті нейрондық желілер, конволюциялық нейрондық желілер, машиналық оқыту

© А. Кулакаева¹, Е. Дайнеко¹, Б. Медетов², А. Нурланкызы^{1,3}, 2025.

¹Международный Университет Информационных Технологий,
Алматы, Казахстан;

²Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

³Сатпаев Университет, Алматы, Казахстан.
E-mail: nurlankyzaigulya@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР VAD ПРИ НИЗКОМ ОТНОШЕНИИ СИГНАЛ/ШУМ

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

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

Евгения Дайнеко — PhD, Ассоциированный-профессор, Проректор по глобальному партнерству и дополнительному образованию Алматы, Казахстан,

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

Бекболат Медетов — PhD, Ассоциированный профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: bm02@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>;

Айгуль Нурланкызы — PhD, старший преподаватель, Сатпаев университет; Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан,

E-mail: nurlankyzaigulya@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0791-8573>.

Аннотация. В настоящей работе рассмотрена задача повышения устойчивости систем обнаружения голосовой активности VAD (Voice Activity

Detection) к воздействию акустических помех, что особенно актуально для практического применения в мобильных устройствах телекоммуникационных системах. Проведено экспериментальное сравнение пяти гибридных нейросетевых архитектур, таких как CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM и CNN+TDNN на большом корпусе казахской речи Kazakh Speech Corpus (KSC2) Института умных систем и искусственного интеллекта Назарбаев Университета, дополненном синтетическим и реальным шумом из базы ESC-50 (уличные шумы, звуки животных, бытовые шумы) при уровне отношения сигнал/шум от -20 до $+30$ дБ. Для формирования признаков пространства использовались мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC), что обеспечило информативное представление аудиосигналов для последующего машинного обучения. Экспериментальные результаты показали, что все протестированные архитектуры достигают высоких значений Accuracy и F1-score (более 99,3%) во всем диапазоне акустических условий. Архитектура CNN+BiGRU продемонстрировала наилучший баланс между точностью, полнотой и устойчивостью к шуму, тогда как CNN+TDNN выделяется минимальными вычислительными затратами при сопоставимых показателях качества. Анализ матриц ошибок подтвердил способность моделей надежно различать речь и шум даже при низких уровнях отношения сигнал/шум. Полученные результаты свидетельствуют о высокой пригодности гибридных нейросетевых архитектур для решения задачи VAD в реальных, зашумленных условиях. Наиболее перспективными для практического внедрения являются CNN+BiGRU и CNN+TDNN, что открывает возможности для использования таких моделей в мобильных, встраиваемых и облачных речевых системах.

Ключевые слова: детекторы голосовой активности, отношение сигнал/шум, рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети, машинное обучение

Благодарность. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №AP22684173 «Разработка высокоэффективного нейросетевого метода обнаружения голосовой активности при низком уровне отношения сигнал/шум»)

Введение. В современных системах цифровой обработки речи обнаружение голосовой активности (VAD – Voice Activity Detection) играет важную роль и используется в таких областях, как распознавание речи, телекоммуникации и умные голосовые помощники. Практически все современные аудиотехнологии требуют надежной и точной работы системы VAD. Это особенно важно при использовании таких технологий в мобильных устройствах, умных гаджетах для интернета вещей (IoT) и различных системах безопасности. Качество

работы VAD напрямую влияет на эффективность голосовых помощников, распознавание команд и работу автоматизированных сервисов. Если система VAD работает нестабильно, это может привести к ошибкам в распознавании речи, задержкам в ответах устройств или даже сбоям в работе важных сервисов, что особенно критично для безопасности и повседневного использования современных технологий.

Во многих жизненных ситуациях – например, в автобусе, на заводе или в шумном торговом центре – голос трудно распознать из-за сильного фонового шума. Поэтому задача надежного обнаружения речи при низком отношении сигнал/шум (ОСШ) остается очень важной. В подобных условиях обычные системы часто ошибаются, ведь речь почти сливается с окружающими звуками, и выделить ее становится сложно. Традиционные алгоритмы VAD быстро теряют эффективность при ОСШ ниже 0 дБ, что ограничивает возможности автоматических речевых систем в практических приложениях.

Современные тенденции развития искусственного интеллекта позволяют создавать нейросетевые VAD-системы, способные адаптироваться к шуму и эффективно работать даже в сложных акустических условиях. Однако задачи обеспечения устойчивой работы VAD при экстремально низком ОСШ, а также адаптации таких систем для языков с ограниченным объемом обучающих данных и внедрения в устройства с ограниченными вычислительными ресурсами по-прежнему остаются нерешенными. Высокая востребованность в таких исследованиях связана с необходимостью повышения надежности, точности и универсальности голосовых интерфейсов для телекоммуникаций, транспорта, индустрии безопасности, робототехники и цифровых сервисов. Поэтому научные исследования, направленные на разработку устойчивых к шуму нейросетевых систем VAD, сохраняют свою актуальность и практическую значимость для дальнейшего развития интеллектуальных аудиотехнологий.

Классические алгоритмы VAD базируются на простых статистических признаках – таких как энергия, нулевая частота пересечений (Zero Crossing Rate), спектральная энтропия, линейное предсказание (LPC) и спектральное вычитание. Они характеризуются низкой вычислительной сложностью и высокой скоростью, что удобно для работы в реальном времени. Однако при снижении ОСШ ниже 5 дБ их эффективность резко падает (Lu, 2010; Hu, 2007). Более совершенные системы, реализованные в кодеках G.729B, AMR и WebRTC, используют спектральную энергию и эвристики, оставаясь надежными при ОСШ > 10 дБ, но становятся неустойчивыми при ОСШ < 0 дБ – растет количество ложных срабатываний (FP – False Positive) и пропусков речи (FN – False Negative).

Для повышения устойчивости VAD применяются методы шумоподавления – минимизация спектральной энтропии (SMPR), спектральное вычитание (SS), вейвлет-преобразования (DWT) и их комбинации с алгоритмами

машинного обучения. Гибридные архитектуры, такие как SS+DWT+SVM, демонстрируют высокие показатели качества (PESQ, STOI) даже при -10 дБ (Iqbal, 2025; Nagaraja, 2024), однако требуют ручной настройки признаков и недостаточно эффективны при динамических шумах. Предложенный метод динамической фильтрации D-FBSS с отдельными DNN-моделями для разных типов шума улучшает точность (Aliouat, 2025), но требует больших обучающих данных и ресурсов.

С распространением глубокого обучения интерес к нейросетевым архитектурам VAD резко возрос. Они показывают лучшие результаты по точности и обобщающей способности в условиях шума (Hughes, 2013; Soni, 2021). Сверточные сети (CNN) успешно извлекают устойчивые временно-частотные признаки (Tan, 2024), рекуррентные LSTM и GRU учитывают временные зависимости (Han, 2024), а двунаправленные BiLSTM, BiGRU повышают полноту, хотя менее подходят для реального времени (Wilkinson, 2021; Suvorov, 2018). TDNN (Time Delay Neural Network), адаптированные из ASR, обеспечивают эффективную обработку временных зависимостей с низкой задержкой и высокой устойчивостью к шуму (Snyder, 2017).

Современные гибридные решения (например, DWT-CNN-MCSE) обеспечивают прирост точности распознавания при ОСШ -10 дБ (Cherukuru, 2024), извлекая пространственно-временные признаки. Однако большинство исследований ограничено фиксированными уровнями шума ($-5, 0, 5$ дБ), редко охватывает ОСШ ниже -10 дБ, фокусируется на англоязычных корпусах (TIMIT, LibriSpeech) и редко оценивает вычислительную сложность моделей.

Несмотря на современные достижения, задача точного обнаружения речи при очень низком ОСШ (до -20 дБ) остается нерешенной, особенно для языков с ограниченным объемом фонетических данных, например казахского. Актуальным становится использование реалистично зашумленных данных (KSC2 (Mussakhoyayeva, 2022), ESC-50 (Piczak, 2015), исследование разных нейросетевых архитектур (CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM, CNN+TDNN), анализ метрик качества (Accuracy, Recall, Precision, F1), влияния ОСШ ($-20...+30$ дБ) и баланса между качеством и вычислительной сложностью моделей. Все это подтверждает актуальность разработки устойчивых и эффективных VAD-систем для работы в реальных шумных условиях.

Материалы и методы. В качестве данных использовался Kazakh Speech Corpus (KSC2), содержащий записи 30 дикторов, к которым добавлялись различные типы шумов (белый, бытовой, природный, городской, животные) из набора ESC-50. Все записи были размножены с уровнями ОСШ от -20 до $+30$ дБ, что обеспечило широкий спектр акустических сценариев. На этапе обработки аудиофайлы были автоматически сегментированы на отдельные слова (словоформы), из которых затем извлекались мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC), нормализованные в диапазоне $[0, 1]$.

Модели обучались и тестировались на сбалансированных по классам выборках, разделенных по дикторам в пропорции 80:20. Были реализованы пять гибридных нейросетевых архитектур (CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM, CNN+TDNN), различающихся типом рекуррентных и сверточных слоев. Обучение проводилось с использованием Adam-оптимизатора и функции потерь categorical_crossentropy. Эффективность моделей оценивалась по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1-score и анализу матриц ошибок на разных уровнях ОСШ. Эксперименты выполнялись на вычислительной платформе с GPU RTX 4090 и современными инструментами Python (Librosa, TensorFlow, Scikit-learn).

Результаты. Для оценки качества детектирования речевой активности в зашумленных условиях были протестированы пять гибридных нейросетевых архитектур: CNN+BiGRU, CNN+BiLSTM, CNN+GRU, CNN+LSTM и CNN+TDNN. Все модели обучались и тестировались на едином датасете с варьируемым ОСШ от -20 до $+30$ дБ, что обеспечило объективное сравнение их производительности. Оценка велась по стандартным метрикам бинарной классификации: F1-score, Accuracy, Precision и Recall, что позволяет комплексно оценить работу моделей в разных акустических условиях.

На рисунке 1 представлена динамика изменения точности классификации (Accuracy) в зависимости от уровня ОСШ для всех протестированных моделей. По мере увеличения значения ОСШ наблюдается стабильный рост Accuracy для каждой архитектуры. Следовательно, уже при значениях ОСШ выше 0 дБ точность всех моделей превышает 95% . Это подтверждает способность архитектур эффективно работать в относительно чистых акустических условиях.

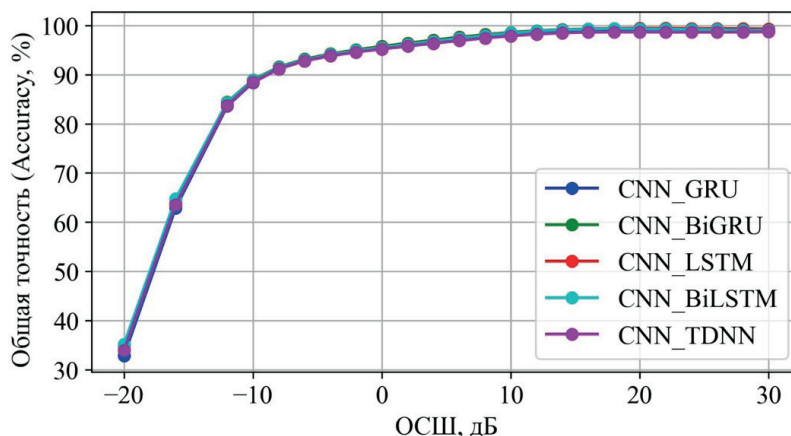


Рисунок 1 – Зависимость общей точности от уровня ОСШ для всех протестированных моделей

Однако в области отрицательных значений ОСШ (от -20 дБ до 0 дБ) проявляются характерные различия между моделями. Архитектуры CNN+BiGRU и CNN+LSTM показывают более высокие значения Accuracy на всем шумовом диапазоне, сохраняя лидерство даже при экстремальном уровне зашумления. Напротив, для CNN+TDNN и CNN+GRU характерно существенное снижение точности при ОСШ ниже -10 дБ, что ограничивает их применение в особо сложных акустических условиях.

Таким образом, сравнительный анализ на всем диапазоне ОСШ демонстрирует разную степень устойчивости протестированных моделей к шумовым искажениям, что необходимо учитывать при выборе архитектуры для практических задач в реальных условиях эксплуатации.

В таблице 1 представлены усредненные по всем значениям ОСШ результаты для каждой архитектуры. Наивысшие значения F1-score (99,6%) показали модели CNN+BiGRU, CNN+LSTM и CNN+GRU, что отражает их высокую согласованность в классификации речевых и неречевых сегментов.

Таблица 1. Сравнение метрик классификации для различных нейросетевых архитектур при варьирующемся уровне отношения С/Ш

Модель	F1, %	Precision, %	Accuracy, %	Recall, %
CNN+BiGRU	99,6	99,4	99,6	99,8
CNN+BiLSTM	99,5	99,2	99,6	99,8
CNN+LSTM	99,6	99,5	99,7	99,8
CNN+TDNN	99,3	98,7	99,3	99,9
CNN+GRU	99,6	99,3	99,6	99,9

Максимальная Accuracy (99,7%) отмечена у CNN+LSTM, демонстрируя ее стабильность по всем условиям тестирования. Модель CNN+TDNN, хотя и показала минимальное значение Accuracy (99,3%), обеспечила максимальный Recall (99,9%), что свидетельствует о высокой чувствительности к речевым событиям даже при низком ОСШ. Таким образом, различия между архитектурами проявляются в балансе между точностью и полнотой, что важно при выборе модели для практического внедрения.

Параметры обучения приведены в таблице 2. Для всех моделей использовались одинаковые условия: 10 эпох, размер батча 1024. Accuracy на обучающей и тестовой выборках стабильно достигала 96% для всех архитектур, значения Loss – в диапазоне 9,8–10,5%.

Таблица 2. Результаты обучения моделей: точность, потери и количество параметров

Модель	Количество эпох	Точность (train/test)	Потери (train/test)	Количества параметров
CNN+BiGRU	10	96%/96%	9,8%/9,9%	11 106
CNN+BiLSTM	10	96%/96%	9,8%/9,8%	13 538
CNN+GRU	10	96%/96%	10,2%/10,1%	6 050

CNN+LSTM	10	96%/96%	10,1%/10,3%	7 010
CNN+TDNN	10	96%/96%	10,4%/10,5%	5 650

Кроме того, на рисунке 2 представлены детализированные графики, иллюстрирующие процесс обучения нейросетевой модели CNN-BiGRU. На левом графике отображается динамика изменения значения функции потерь ($loss$ – для обучающей выборки, val_loss – для валидационной), а на правом – изменение точности классификации (acc – для обучающей выборки, val_acc – для валидационной) на протяжении всех эпох обучения.

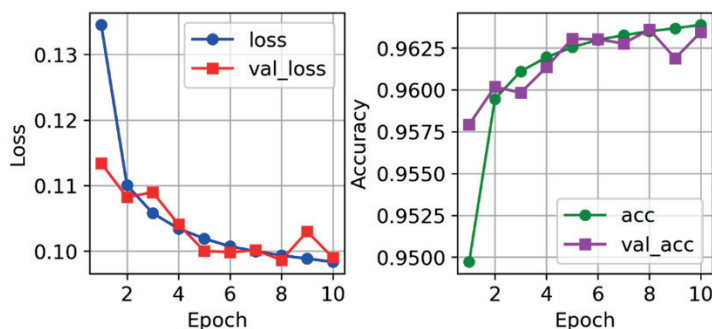


Рисунок 2 – Обучение модели CNN-BiGRU

Как видно из графиков, на первых этапах обучения наблюдается быстрое снижение значения функции потерь, что свидетельствует о быстрой адаптации модели к данным. Параллельно с этим фиксируется устойчивый рост точности классификации на обеих выборках. Уже к 6–7-й эпохе модель достигает высокой точности – более 96%, а значения функции потерь стабилизируются, что указывает на завершение фазы активного обучения и переход к режиму устойчивой работы без признаков переобучения. Отсутствие существенного расхождения между кривыми для обучающей и валидационной выборок подтверждает, что модель обладает хорошей способностью к обобщению и не склонна к переобучению на обучающих данных.

Также графики динамики обучения свидетельствуют о стабильной сходимости и отсутствии переобучения. Число параметров у моделей варьируется от 5 650 (CNN+TDNN) до 13 538 (CNN+BiLSTM), что отражает различия в архитектурной сложности и потенциальном влиянии на вычислительные затраты в реальном применении.

На рисунке 3 показано, как F1-score модели CNN-BiGRU меняется в зависимости от ОСШ. При ОСШ –20 дБ F1-score составляет 46%, что свидетельствует о резком снижении качества классификации в условиях экстремального шума.

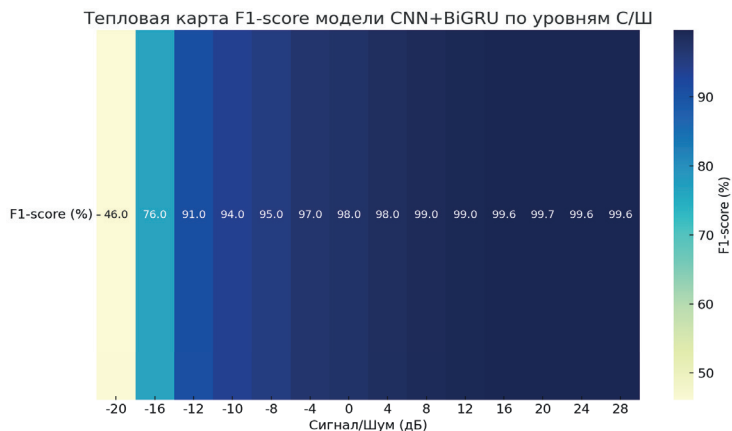


Рисунок 3 – Зависимость F1-меры от значения отношения С/Ш для модели CNN+BiGRU

Уже при -12 дБ F1-score возрастает до 91%, демонстрируя восстановление эффективности даже при отрицательных значениях ОСШ. При ОСШ выше -4 дБ F1-score стабильно превышает 98% вплоть до $+18$ дБ, отражая высокую устойчивость модели. В диапазоне от -18 дБ до -4 дБ наблюдается наибольший прирост F1-score, что указывает на чувствительность модели к уровню шума в наиболее сложных условиях. Такая зависимость позволяет определить диапазон рабочих режимов модели и границы, при которых обеспечивается требуемое качество классификации.

Для детального анализа характера ошибок классификации рассмотрена модель CNN+BiGRU на уровне ОСШ -6 дБ – этот уровень выбран как показательный для сравнения, поскольку он позволяет выявить особенности работы архитектуры в сложных, но не экстремальных, шумовых условиях. На рисунке 4 приведена нормализованная матрица ошибок (confusion matrix) для CNN+BiGRU, отражающая доли правильно и ошибочно классифицированных сегментов по классам «речь» и «шум».

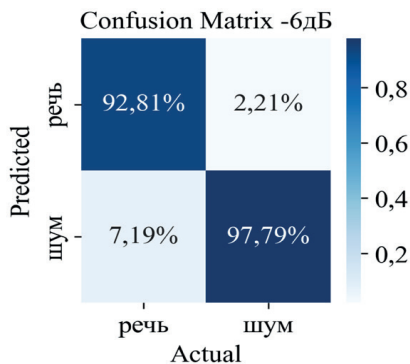


Рисунок 4 – Матрицы ошибок CNN+BiGRU при низком уровне ОСШ

Для данной архитектуры точность определения речевых сегментов составляет 92,81%, а шумовых – 97,79%. Доля ложноположительных результатов (False Positives) составляет 2,21%, а ложноотрицательных (False Negatives) – 7,19%. Такой анализ позволяет наглядно продемонстрировать, что даже при значительном уровне акустических помех модель сохраняет приемлемый баланс между точностью и полнотой, корректно различая большинство речевых и неречевых фрагментов.

Выбор именно CNN+BiGRU обусловлен тем, что эта архитектура сочетает высокие показатели качества с устойчивостью к шуму, и может служить наглядным примером типичного распределения ошибок для современных нейросетевых VAD-систем при сложных акустических сценариях.

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что все протестированные нейросетевые архитектуры обеспечивают высокое качество обнаружения речевой активности при широком диапазоне уровней ОСШ. Архитектуры CNN+BiGRU, CNN+LSTM и CNN+GRU достигли максимального F1-score (99,6%), что свидетельствует о надежной классификации речи даже в сложных условиях. Модель CNN+LSTM также показала наивысшую среднюю Accuracy (99,7%), а CNN+GRU и CNN+TDNN отличились максимальным Recall (99,9%), что важно для задач, где критична полнота обнаружения.

CNN+TDNN при минимальном числе параметров (5 650) демонстрирует сравнимую точность с более сложными моделями, что делает ее оптимальной для встроенных систем с ограниченными вычислительными ресурсами.

Рост F1-score и Accuracy моделей с увеличением ОСШ подтверждает их устойчивость к шуму. Так, у CNN+BiGRU при ОСШ –12 дБ F1-score превышает 90%, а при ОСШ ≥ 0 дБ стабильно превышает 98%. Матрица ошибок для CNN+BiGRU при ОСШ –6 дБ подтверждает сбалансированность показателей точности и полноты даже при сильных помехах.

Сравнение архитектур также показывает, что более сложные модели требуют больше времени и ресурсов на обучение, но не всегда значительно превосходят по качеству более компактные решения.

Таким образом, CNN+BiGRU и CNN+TDNN можно рассматривать как наиболее сбалансированные по качеству и вычислительной эффективности варианты для практического применения в шумных акустических условиях. В дальнейшем требуется исследование работы моделей на реальных аудиопотоках и с динамическими шумами.

Заключение. В данной работе выполнено экспериментальное сравнение пяти гибридных нейросетевых архитектур, таких как CNN+BiGRU, CNN+GRU, CNN+LSTM, CNN+BiLSTM и CNN+TDNN для детектирования речевой активности VAD в условиях широкого диапазона шумовых помех. Для анализа использовался Kazakh Speech Corpus (KSC2), дополненный реалистичными шумами из ESC-50 при ОСШ от –20 до +30 дБ, а в качестве признаков применялись MFCC.

Полученные результаты показали, что все протестированные модели обеспечивают высокое качество классификации на всем диапазоне условий (Accuracy и F1-score выше 99,3%). Лучший баланс между точностью, полнотой и устойчивостью продемонстрировала архитектура CNN+BiGRU, а CNN+TDNN показала высокие результаты при минимальной вычислительной сложности, что особенно важно для встраиваемых решений.

Анализ матриц ошибок подтвердил, что предложенные подходы позволяют эффективно разделять речь и шум даже при низких значениях ОСШ. Наиболее перспективными для практического внедрения являются архитектуры CNN+BiGRU и CNN+TDNN, пригодные для использования в голосовых ассистентах, телекоммуникационных и мониторинговых системах в сложных акустических условиях.

В перспективе предполагается интеграция разработанных VAD-моделей с другими системами обработки аудиосигналов, такими как автоматическое распознавание речи и системы интеллектуального управления, для создания комплексных решений.

References

Aliouat M., Djendi D. (2025) An Efficient Speech Enhancement Algorithm Using Dynamic Filter Banks Based on Noise Type, *International Journal of Speech Technology*. — Vol. 28. — P. 65–79. <https://doi.org/10.1007/s10772-025-09999-2> (in English)

Cherukuru S., Mustafa G. (2024) A DWT-CNN-MCSE-Based Speech Enhancement System for Improved Speech Recognition in Noisy Environments, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. — Vol. 15(4). — P. 1235–1249. <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04513-8> (in English)

Han I., Om C.-N., Kim U.-I. (2024) A Gated Recurrent Unit Based Robust Voice Activity Detector, *Multimedia Tools and Applications*. — Vol. 83(14). — P. 41939–41949. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17123-w> (in English)

Hu Y., Loizou P.C. (2007) A Comparative Intelligibility Study of Single-Microphone Noise Reduction Algorithms, *The Journal of the Acoustical Society of America*. — Vol. 122(3). — P. 1777–1786. <https://doi.org/10.1121/1.2757668> (in English)

Hughes T., Mierle K. (2013) Recurrent Neural Networks for Voice Activity Detection, *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. — P. 7378–7382. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2013.6639132> (in English)

Iqbal M.M., Arain S.S., Talpur A.A., Shaikh A.A. (2025) An Enhanced Speech Enhancement Model Based on SS and DWT for Improved Noise Suppression, *Applied Acoustics*. — Vol. 214. — Art. 109430. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109430> (in English)

Lu Y., Loizou P.C. (2010) A Geometric Approach to Spectral Subtraction, *Speech Communication*. — Vol. 52(7–8). — P. 614–627. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2010.01.005> (in English)

Mussakhoyayeva S., Khassanov Y., Varol H.A. (2022) KSC2: An Industrial-Scale Open-Source Kazakh Speech Corpus, *Proceedings of the 23rd INTERSPEECH Conference*. — P. 1367–1371. (in English)

Nagaraja N., Kumuda R., Bhat M. (2024) Voice Activity Detection Using MMSE-SPZC in Real-World Noisy Environments, *Computer Speech & Language*. — Vol. 80. — Art. 101540. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2023.101540> (in English)

Piczak K.J. (2015) ESC: Dataset for Environmental Sound Classification, *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia*. — P. 1015–1018. <https://doi.org/10.1145/2733373.2806390> (in English)

Snyder D., Garcia-Romero D., Povey D., Khudanpur S. (2018) Deep Neural Network Embeddings for Text-Independent Speaker Verification, Interspeech 2017. — P. 999–1003. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2017-620> (in English)

Soni M.H., Shah R.R., Patil H.A. (2021) Time–Frequency Attention for Noise-Robust Speaker Verification Using CNN and TDNN, IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. — Vol. 29. — P. 879–892. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2021.3061045> (in English)

Suvorov D., Zhukov R., Tsetsrukov D., Zenkevich S. (2018) Audiovisual Voice Activity Detector Based on Deep Convolutional Neural Network and Generalized Cross-Correlation, Mekhatronika Avtomatizatsiya Upravlenie. — P. 53–57. <https://doi.org/10.17587/mau.19.53-57> (in English)

Tan Y.W., Ding X.F. (2024) Heterogeneous Convolutional Recurrent Neural Network with Attention Mechanism and Feature Aggregation for Voice Activity Detection, APSIPA Transactions on Signal and Information Processing. — Vol. 13(1). — Art. e6. <https://doi.org/10.1561/116.00000158> (in English)

Wilkinson N., Niesler T. (2021) A Hybrid CNN–BiLSTM Voice Activity Detector, ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – Proceedings. — 2021-June. — P. 6803–6807. <https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9415081> (in English)

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 22.12.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная.

Печать –ризограф. 20,0 п.л. Заказ 4.