

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

SERIES OF PHYSICS AND MATHEMATICS

2 (354)

APRIL – JUNE 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>

WOJCIK 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>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of Physics and Mathematics

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

Certificate No. **KZ20VPY00113741** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **28.02.2025** 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.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

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

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ 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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authorid/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/authorid/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/authorid/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/authorid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (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 **28.02.2025** ж. берген №**KZ20VRY00113741** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

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

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*

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

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимканр 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 Саппаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

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

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

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

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

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

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

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>

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ20VPU00113741**. Дата выдачи **28.02.2025**

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.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

CONTENTS

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

O. Auyelbekov, E. Bostanov, R. Berkutbayeva, A. Seidildayeva, I. Musabekova ANALYSIS OF AGRICULTURAL YIELDS IN KAZAKHSTAN USING UNMANNED AERIAL VEHICLES AND AI.....	12
S.T. Akhmetova, S.U. Ismailov, A.A. Batyrbekov, A.S. Ismailova PREREQUISITES FOR CREATION OF A VIRTUAL 3D MODEL OF AN UNMANNED UNIVERSAL CROPPING TRACTOR.....	33
A. Bekarystankyzy, O. Mamyrbayev, D. Oralbekova, A. Yerimbetova, M. Turdalyuly TESTING THE AUDIO-TEXT DATASET FOR KAZAKH LANGUAGE USING THE CONFORMER ENCODER.....	50
G. Bekmanova, M. Kantureeva, A. Omarbekova, B. Ergesh, A. Zakirova THE USE AND IMPACT ASSESSMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION.....	61
N.S. Yesmukhamedov, S. Sapakova, Syed Abdul Rahman Al-Haddad, D. Daniyarova DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE FOR HEALTHCARE INSTITUTIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	74
T. Zhukabayeva, V. Desnitsky, Y. Mardenov, N. Karabayev INFORMATION SECURITY INCIDENT MANAGEMENT IN IIOT SYSTEMS WITH EDGE COMPUTING.....	92
M. Ilesbay, A. Tynymbayev, S. Mambetov, A. Barakova, O. Joldasbayev INTEGRATED METHOD OF INFORMATION PROTECTION BASED ON DATA COMPRESSION, ENCRYPTION AND SEPARATION.....	107
B.A. Karibayev, N. Meirambekuly, M. Ibraim, A.S. Baikenov, G.B. Ikhsan DESIGN OF A SIX-ELEMENT S-BAND ANTENNA ARRAY FOR CUBESAT.....	125
N. Karymsakova, K. Ozhikenov, M. Bolysbek, R. Beisembekova ARCHITECTURE OF THE MEDICAL REHABILITATION PLATFORM.....	140

D. Kuanyshbay, A. Shoiynbek, K. Rabbany, A. Bekarystankyzy, A. Mukhametzhanov COMPARISON OF MACHINE LEARNING AND REINFORCEMENT LEARNING FOR DEPRESSION RECOGNITION FROM SPEECH.....	155
E. Nysanov, Zh. Kemelbekova, E. Abdrashova, S. Kurakbaeva, A. Baydibekova MODELING AND CALCULATION OF THE FLOW OF THREE-PHASE MEDIA WITH VARIABLE CONCENTRATIONS.....	169
B. Orazbaev, Z. Kuzhukhanova, K. Orazbaeva, A. Kishubaeva DEVELOPMENT OF MODELS OF ATMOSPHERIC AND RECTIFICATION COLUMNS IN PRIMARY OIL REFINING.....	181
D. Rakhimova, A. Sarsenbayeva, A. Turarbek, A. Auezova THE USE OF DEEP LEARNING TO IMPROVE THE ACCURACY OF ANSWERS IN MULTILINGUAL QUESTION-AND-ANSWER SYSTEMS...	196
L. Rzayeva, D. Pogolovkin, A. Myrztatay DEVELOPMENT OF A MODULAR NLP-BASED CORRESPONDENCE ANALYSIS SERVICE FOR DIGITAL FORENSICS.....	212
A.T. Sankibayev, I. Makhambayeva, K. Kanibaikyzy, A. Temirbek MODELING OF VIBRATIONAL PROCESSES IN WOLFRAM MATHEMATICA SYSTEM.....	234
N.M. Temirbekov, A.K. Turarov NUMERICAL SOLUTION OF THE DIRECT AND INVERSE PROBLEM OF GAS LIFT OIL PRODUCTION PROCESS BY THE METHOD OF CONJUGATE EQUATIONS.....	251
Z. Utemaganbetov, Kh. Ramazonova, K. Bizhanova, R. Assylbayeva AN ANALYTICAL AND NUMERICAL METHOD FOR TRANSFERRING BOUNDARY CONDITIONS FOR A ONE-DIMENSIONAL DIFFUSION EQUATION.....	280
M. Khizirova, K. Chezhimbayeva, A. Kassimov, M. Yermekbayev RESEARCH ON DISTRIBUTION TRAFFIC AND DISTRIBUTION METHODS IN VANET NETWORKS.....	294
K. Yakunin, D. Kusain, R.I. Mukhamediev, N. Yunicheva, N. Kuldeyev INTEGRATION OF FLIGHT PATH PLANNING PROGRAMS AND CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	317

МАЗМҰНЫ

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ө. Әуелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, І. Мусабекова ҚАЗҚАСТАНДА АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНІМДІЛІГІН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ТАЛДАУ.....	12
С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова ЖҮРГІЗУШІСІЗ ӘМБЕБАП ЕГІН ЕГЕТІН ТРАКТОРДЫҢ ВИРТУАЛДЫ 3D МОДЕЛІН ҚҰРУДЫҢ АЛҒЫ ШАРТТАРЫ.....	33
А. Бекарыстанқызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова, М. Тұрдалыұлы CONFORMER ШИФРЛАУШЫСЫН ҚОЛДАНЫП ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ АУДИО- МӘТІН ТҮРІНДЕ ЖИНАЛҒАН МӘЛІМЕТТЕР ҚОРЫН СЫНАУ.....	50
Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б. Ж. Ергеш, А.Б. Закирова ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ.....	61
Н.С. Есмұхамедов, С. Сапақова, Сайд Абдул Рахман Әл-Хаддад, Д. Даниярова, МЕДИЦИНАЛЫҚ МЕКЕМЕЛЕРГЕ АРНАЛҒАН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНАТЫН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ АРХИТЕКТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ.....	74
Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марденов, Н. Карабаев ПОТ-ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ИНЦИДЕНТТЕРІН ШЕТКІ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП БАСҚАРУ.....	91
М.А. Ілесбай, Ә.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова, О.К. Джолдасбаев ДЕРЕКТЕРДІ СЫҒУ, ШИФРЛАУ ЖӘНЕ БӨЛУ НЕГІЗІНДЕ АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУДЫҢ БІРІКТІРІЛГЕН ӘДІСІ.....	107
Б.А. Қарибаев, Н. Мейрамбекұлы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан SUBESAT ҮШІН АЛТЫ ЭЛЕМЕНТТІ S-ДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА ТОРЫН ЖОБАЛАУ.....	125
Н.Т. Қарымсақова, К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова МЕДИЦИНАЛЫҚ ОҢАЛТУ ПЛАТФОРМА АРХИТЕКТУРАСЫ.....	140

Д. Қуанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Мұхаметжанов, Б. Мералиев СӨЙЛЕУ АРҚЫЛЫ ДЕПРЕССИЯНЫ ТАЛУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МЕН КҮШЕЙТУ АРҚЫЛЫ ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ.....	155
Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева, А.О. Байдибекова АЙНЫМАЛЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫ ҮШ ФАЗАЛЫ ОРТАЛАРДЫҢ АҒЫНЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ.....	169
Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева МҰНАЙДЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖӘНЕРЕТИФИКАЦИЯЛЫҚ КОЛОНОЛАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ.....	181
Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, Ә. Турарбек, Ә. Ауезова КӨП ТІЛДІ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ЖАУАПТАРДЫҢ ДӘЛДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ.....	196
Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А. Мырзатай ЦИФРЛЫҚ КРИМИНАЛИСТИКА ҮШІН NLP НЕГІЗІНДЕГІ МОДУЛЬДІК ХАТ АЛМАСУДЫ ТАЛДАУ ҚЫЗМЕТІН ӘЗІРЛЕУ.....	212
А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайқызы, А. Темирбек ТЕРБЕЛІСТЕР ҮДЕРІСІН WOLFRAM MATHEMATICA ЖҮЙЕСІНДЕ МОДЕЛДЕУ.....	234
Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров МҰНАЙ ӨНДІРУДІҢ ГАЗЛИФТТІК ПРОЦЕСІНІҢ ТУРА ЖӘНЕ КЕРІ ЕСЕПТЕРІН ТҮЙІНДЕС ТЕНДЕУЛЕР ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ШЕШУ.....	251
З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева БІРӨЛШЕМДІ ДИФФУЗИЯ ТЕНДЕУІ ҮШІН ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТТАРДЫ КӨШРҮДІҢ АНАЛИТИКАЛЫҚ-САНДЫҚ ӘДІСІ.....	280
М. Хизирова, К. Чечимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев VANET ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ТАРАТУ ТРАФИГІН ЖӘНЕ ТАРАТУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	294
К. Якунин, Д. Құсайын, Равиль И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев ҰШУ МАРШРУТТАРЫН ЖОСПАРЛАУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫ МЕН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҰШТАСТЫРУ.....	317

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

О. Ауелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, И. Мусабекова АНАЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИИ.....	12
С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ 3D МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА.....	33
А. Бекарыстанкызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова, М. Турдалыулы ТЕСТИРОВАНИЕ КОРПУСА ДАННЫХ В ВИДЕ АУДИО-ТЕКСТ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CONFORMER	50
Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б.Ж. Ергеш, А.Б. Закирова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ.....	61
Н.С. Есмухамедов, С. Сапакова, Сайед Абдул Рахман Аль-Хаддад, Д. Даниярова РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	74
Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марденов, Н. Карабаев УПРАВЛЕНИЕ ИНЦИДЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОТ-СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	92
М.А. Илесбай, А.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова, О.К. Дждолдасбаев ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЖАТИЯ, ШИФРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ.....	107

Б.А. Кармбаев, Н. Мейрамбекулы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЕСТИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ S-ДИАПАЗОНА ДЛЯ SUBESAT.....	125
Н.Т. Карымсакова К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ.....	140
Д. Куанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Бекарыстанкызы, А. Мухаметжанов СРАВНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕПРЕССИИ ПО РЕЧИ.....	155
Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева, А.О. Байдибекова МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ СРЕД С ПЕРЕМЕННЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ.....	169
Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНЫХ И РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ.....	181
Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, А. Турарбек, А. Ауезова ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТВЕТОВ В МУЛЬТИЯЗЫЧНЫХ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМАХ.....	196
Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А. Мырзатай РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО СЕРВИСА АНАЛИЗА ПЕРЕПИСОК НА ОСНОВЕ NLP ДЛЯ ЦИФРОВОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ.....	212
А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайкызы, А. Темирбек МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ WOLFRAM MATHEMATICA.....	234
Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГАЗЛИФТНОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ НЕФТИ МЕТОДОМ СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ.....	251

З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПЕРЕНОСА КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ.....	280
М. Хизирова, К. Чежимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА И МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЕТЯХ VANET.....	294
К. Якунин, Д. Кусайын, Р.И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев СОПРЯЖЕНИЕ ПРОГРАММ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	317

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 2. Number 354 (2025). 50–60

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.343>

UDC 004.912; 004.93

©**A. Bekarystankyzy, O. Mamyrbayev, D. Oralbekova***, **A. Yerimbetova, M. Turdalyuly, 2025.**

Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: dinaoral@mail.ru

TESTING THE AUDIO-TEXT DATASET FOR KAZAKH LANGUAGE USING THE CONFORMER ENCODER

A. Bekarystankyzy — PhD, Senior Researcher of Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: akbayan.b@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3984-2718;

O. Mamyrbayev — PhD, Professor, Deputy General Director of Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: morkenj@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8318-3794;

D. Oralbekova — PhD, Senior Researcher of Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: dinaoral@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4975-6493;

A. Yerimbetova — PhD, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Leading Researcher of Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2013-1513;

M. Turdalyuly — PhD, Senior Researcher of Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: m.turdalyuly@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1470-3706.

Abstract. Currently, speech recognition systems are widely integrated into various fields, including smart assistants, software for people with disabilities, and voice search on the internet. These technologies significantly simplify user interaction with computer systems. However, while speech processing advancements are widely available for English, Russian, and other major languages, they remain inaccessible for low-resource languages. One of the key challenges is the lack of audio-text data required to train automatic speech recognition systems. Collecting such data is a complex and expensive process, making it limited in availability or commercially inaccessible. Kazakh is also classified as a low-resource language, as the total volume of open audio-text corpora does not exceed 1000 hours. This study aims to expand the amount of data available for Kazakh, improve its quality by removing unnecessary symbols, and train a neural architecture based on a Conformer encoder using 396 hours of collected data. During the research, a comprehensive analysis of existing preprocessing methods was conducted, an automatic data-cleaning procedure was implemented, and experimental training

of the speech recognition system was carried out. The conducted experiments demonstrated that the proposed approach ensures speech recognition quality with WER at the level of 20.4%-22.4% and CER of 8.2%-9.3%, confirming the applicability of the Conformer architecture for the Kazakh language. Additionally, key challenges related to processing the agglutinative morphology of Kazakh were examined, and solutions were proposed within modern neural architectures.

Key words: speech recognition, end-to-end learning, low-resource languages, attention mechanism, data preparation for speech recognition, connectionist temporal classification.

©**А. Бекарыстанқызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова*, А. Еримбетова, М. Тұрдалыұлы, 2025.**

Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан.
E-mail: dinaoral@mail.ru

CONFORMER ШИФРЛАУШЫСЫН ҚОЛДАНЫП ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ АУДИО-МӘТІН ТҮРІНДЕ ЖИНАЛҒАН МӘЛІМЕТТЕР ҚОРЫН СЫНАУ

А. Бекарыстанқызы — PhD, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты аға ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: akbayan.b@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3984-2718;

Ө. Мамырбаев — PhD, профессор, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының бас директордың орынбасары, Алматы, Қазақстан,

E-mail: morkenj@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8318-3794;

Д. Оралбекова — PhD, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: dinaoral@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4975-6493;

А. Еримбетова — PhD, техн. ғылым. кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2013-1513;

М. Тұрдалыұлы — PhD, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: m.turdalyuly@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1470-3706.

Аннотация. Қазіргі уақытта сөйлеуді тану жүйелері ақылды көмекшілер, мүмкіндігі шектеулі адамдарға арналған бағдарламалар және интернеттегі дауыстық іздеу сияқты көптеген салаларда кеңінен қолданылады. Бұл технологиялар пайдаланушылардың компьютерлік жүйелермен өзара әрекеттесуін айтарлықтай жеңілдетеді. Алайда, сөйлеуді өңдеу саласындағы мұндай жетістіктер ағылшын, орыс және басқа да кең таралған тілдерге қолжетімді болғанымен, аз ресурсты тілдер үшін әлі де қолжетімсіз. Бұл мәселенің басты себептерінің бірі – сөйлеуді автоматты түрде тану жүйелерін оқытуға қажетті аудио-мәтін деректерінің тапшылығы болып саналады. Мұндай деректерді жинау өте күрделі және қымбат процесс болғандықтан, олардың қолжетімділігі шектеулі немесе мүлде коммерциялық түрде қолжетімсіз. Қазақ тілі де аз

ресурсты тілдер қатарына жатады, өйткені оған арналған ашық аудио-мәтін корпустарының жалпы көлемі 1000 сағаттан аспайды. Осы жұмыста қазақ тіліне арналған деректер көлемін кеңейту, олардың сапасын артық символдардан тазарту, сондай-ақ жинақталған 396 сағаттық деректерді Conformer-энкодер негізінде нейрондық архитектураны оқыту мақсатында зерттеу жүргізілді. Зерттеу барысында деректерді алдын ала өңдеудің қолданыстағы әдістеріне кешенді талдау жасалды, оларды автоматты түрде тазарту процесі іске асырылды, сондай-ақ сөйлеуді тану жүйесін эксперименттік оқыту жүргізілді. Жүргізілген эксперименттер ұсынылған әдістің сөйлеуді тану сапасын WER 20.4%-22.4% және CER 8.2%-9.3% деңгейінде қамтамасыз ететінін көрсетті, бұл Conformer архитектурасының қазақ тіліне қолдануға жарамдылығын дәлелдейді. Сонымен қатар, қазақ тілінің агглютинативті морфологиясын өңдеуге байланысты негізгі қиындықтар қарастырылды және оларды заманауи нейрондық архитектуралар аясында шешу жолдары ұсынылды.

Түйін сөздер: сөйлеуді тану, интегралды оқыту, аз ресурсты тілдер, зейін механизмі, сөйлеуді тану үшін ақпарат дайындау, қосылымдық уақытша классификациялау

***Қаржыландыру:** Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі, Ғылым комитетімен қаржыландырған (Грант № BR24992875).*

**©А. Бекарыстанкызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова*,
А. Еримбетова, М. Турдалыұлы, 2025.**

Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,
Алматы, Казахстан.
E-mail: dinaoral@mail.ru

ТЕСТИРОВАНИЕ КОРПУСА ДАННЫХ В ВИДЕ АУДИО-ТЕКСТ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CONFORMER

А. Бекарыстанкызы — PhD, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
E-mail: akbayan.b@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3984-2718;

О. Мамырбаев — PhD, профессор, заместитель генерального директора Института информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
E-mail: morkenj@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8318-3794;

Д. Оралбекова — PhD, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
E-mail: dinaoral@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4975-6493;

А. Еримбетова — PhD, к.т.н., ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
E-mail: aigerian8888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2013-1513;

М. Турдалыұлы — PhD, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,
E-mail: m.turdalyuly@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1470-3706.

Аннотация. В настоящее время системы распознавания речи широко внедряются во все сферы жизни, включая умных помощников, программное обеспечение для людей с ограниченными возможностями, а также голосовой поиск в интернете. Эти технологии значительно упрощают взаимодействие пользователей с компьютерными системами. Однако такие достижения в обработке речи в основном доступны только для английского, русского и других распространенных языков, тогда как для малоресурсных языков они остаются недоступными. Одна из ключевых причин этого заключается в дефиците аудиотекстовых данных, необходимых для обучения систем автоматического распознавания речи. Сбор такого рода данных представляет собой сложный и затратный процесс, что делает их доступность ограниченной или даже коммерчески недоступной. В результате для многих языков технологии распознавания речи остаются недоступными. Казахский язык также относится к малоресурсным языкам, поскольку объем открытых аудиотекстовых корпусов для него не превышает 1000 часов. В данной работе предпринята попытка расширить объем данных для казахского языка, улучшить их качество путем очистки от лишних символов, а также обучить нейронную архитектуру на основе Conformer-энкодера с использованием 396 часов собранных данных. В ходе исследования был проведен комплексный анализ существующих методов предобработки данных, реализована процедура их автоматической очистки и проведено экспериментальное обучение системы распознавания речи. Проведенные эксперименты показали, что предложенный подход обеспечивает качество распознавания с WER на уровне 20.4%-22.4% и CER 8.2%-9.3%, что подтверждает применимость Conformer-архитектуры для казахского языка. Кроме того, были рассмотрены основные вопросы, связанные с обработкой агглютинативной морфологии казахского языка, и предложены методы их решения в рамках современных нейросетевых архитектур.

Ключевые слова: распознавание речи, интегральное обучение, малоресурсные языки, механизм внимания, подготовка данных для распознавания речи, коннекционная временная классификация

Кіріспе. Автоматты сөйлеуді тану технологиялары қазіргі заманғы цифрлық сервистердің ажырамас бөлігіне айналып, ақылды дауыс көмекшілерінде, дауыстық іздеу жүйелерінде, автоматты субтитрлеу жүйелерінде және мүмкіндігі шектеулі адамдарға арналған арнайы шешімдерде кеңінен қолданылады. Мұндай технологиялардың дамуы үлкен көлемдегі сапалы аудио және мәтіндік деректердің қолжетімділігіне, сондай-ақ қуатты нейрондық архитектураларға тәуелді. Алайда, қазақ тілі сияқты аз ресурсты тілдер үшін қолжетімді корпустардың көлемі шектеулі болып қала береді, бұл өз кезегінде осы бағыттағы зерттеулердің ілгерілеуін тежейді. Қазақ тіліндегі автоматты сөйлеуді тану бірқатар ерекшеліктерге байланысты қиындықтарға тап болады. Олардың қатарында тілдің агглютинативті табиғаты, морфологиясының

күрделілігі және таңбаланған аудиодеректердің жетіспеушілігі бар. Кең таралған ағылшын және қытай тілдерінен айырмашылығы, қазақ тілі үшін ашық қолжетімді аудио-мәтіндік корпустар жеткіліксіз, бұл қолданыстағы модельдерді оқыту және тестілеу мүмкіндіктерін шектейді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы қазақ тілі үшін жаңа деректер қорын құру және оны тестілеу, сондай-ақ Conformer архитектурасының автоматты сөйлеуді тану моделін оқытудағы тиімділігін зерттеу болып табылады. Бұл архитектура өзіне конволюциялық қабақтар мен зейін механизмдерінің артықшылықтарын біріктіреді, бұл әсіресе ресурстары шектеулі тілдер үшін тану дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеудің негізгі мақсаты Conformer нейрондық архитектурасы негізінде қазақ тіліндегі автоматты сөйлеуді тану жүйесін әзірлеу және оның сапасын бағалаумен байланысты.

Бұл мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- Табиғи жағдайларда жазылған қазақ тіліндегі 396 сағаттық аудиодеректер корпусын жинау және өңдеу.

- Деректерді автоматтандырылған тазалау процесін жүргізіп, шуды, таңбалау қателерін және қажетсіз символдарды жою.

- Conformer энкодерін пайдалана отырып, сөйлеуді тану моделін оқыту және оны сынақ деректерінде бағалау.

- Қазақ тілінің морфологиялық ерекшеліктерінің модель жұмысына әсерін талдап, оларды архитектураға енгізу жолдарын ұсыну.

Осылайша, бұл зерттеу қазақ тіліндегі автоматты сөйлеуді тану үшін қолжетімді ресурстарды кеңейтуге және шектеулі дерек көлемі жағдайында заманауи нейрондық шешімдердің мүмкіндіктерін талдауға бағытталған.

Әдебиетке шолу. Қазақ тілі аз ресурсты агглютинативті түркі тілдер қатарына жатады. Жалпы алғанда түркі тілдер отбасына жататын тілдердің барлығы да агглютинативті тілдер тобының өкілі болып табылады және олардың барлығына дерлігі ресурстары аз тілдер өкілі (Mamurbayev, et al., 2022). Бұл тілдер үшін аудио-мәтін жұбы түріндегі ақпараттар тапшылығы себепті оларды аз ресурсты тілдер деп атайды. Мысал үшін көпке қол жетімді үлкен корпустардың бірі болып өзбек тілінің Open-Source Uzbek Speech Corpus (Musaev, et al., 2021) корпусы бар болғаны 105 сағаттан тұрады және өзбек тілінде Mozilla-ның Common Voice жобасының аясында жинақталған 258 сағаттық ақпараты бар. Common Voice дегеніміз Mozilla-ның әлем халықтарының тілдерінің аудио ақпаратын мәтінімен жұптастырып жинау және көпке қол жетімді етуге арналған жобасы. Бұл жобаны дамытуға кез-келген ерікті қатыса алады. Қазақ тілі үшін ISAAI-дың 600 мың сөйлемнен тұратын 1200 сағаттық корпусы бар (Mussakhojayeva, et al., 2022). Ал басқа түркі тілдерінің ақпаратын тек Common Voice-тан ғана табуға болады.

Қазақ тілінде сөйлеуді тануға арналған біршама зерттеу жұмыстары бар. Мысалы, кейбір жұмыстар сөйлеуді тануды жақсы танымал рекурренттік нейронды жүйелерді қолдану (Ren, et al., 2022) арқылы және біреулері біртұтас гибридік нейрондық жүйелер архитектурасын қолдану (Mamurbayev, et al.,

2022) арқылы жетілдіріп көрген. Бір еңбекте орыс тілінің моделін қолданып трансфер оқыту жүргізу арқылы қазақ тілін тануды дамыту қарастырылған болса (Kuanysbay, et al., 2020), енді бір жұмыс туыстық тілдер тобына жататын қазақ тілі мен әзірбайжан тілдерін өзара трансферлік оқыту жүргізіп дамытқан (Chang, et al., 2024; Mussakhoyayeva, et al., 2023). Басқа бір жұмыста қазақ тілі өзге түркі тілдерімен бірге оқытылады. Бұл еңбектердің барлығы да өздеріне дейін жүргізілген жұмыстарға қарағанда жақсы нәтижеге қол жеткізген. Және барлығын пайымдай келе оқытатын ақпарат неғұрлым көп болған сайын сөйлеуді тану ұқыптылығы соғұрлым артатынын байқауға болады.

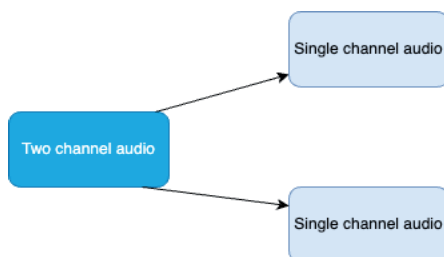
Трансферлік оқыту оқытуды баптау әдісі сөйлеуді автоматты түрде тану жүйесін алуды күрделендіріп жіберетін болғандықтан және тілдерді біріктіріп оқыту акустикалық модельді дамытқанмен нақты бір тілде сөйлеуді қысқа контекстте анықтау қатесі ықтималдығы жоғары болған себепті нақты бір тілдер үшін «Таза» ақпарат жинау өзектілігі жойылған жоқ. Сондықтан осы зерттеу жұмысы аясында қазақ тілінің корпусын үлкейту жұмысы да қатар жүргізілді.

Қазақ тілі үшін сөйлеуді тану жүйесін алуға Transformer архитектурасын қолдану жақсы нәтиже берген (Orken, et al., 2022). Бұл жұмыста символар қатесі деңгейі 3.7% пайызды көрсеткен. Трансформер архитектурасының конволюциялық сәйкестендіруді қолдану арқылы жетілдірілген түрі конформер деп аталады және ол мына Liu Yi et. al. зерттеуінде (Liu, et al., 2021) трансформерге қарағанда 10%-ға жақсы нәтиже көрсеткен. Конформер нейрондық архитектурасы ESPNet платформасында үлкен көлемді ақпаратты қолданып сөйлеуді автоматты түрде тануға жүйені алу механизмі жақсы ұйымдастырылған және ол жердегі конформер архитектурасы агглютинативтік тілдер үшін жақсы нәтиже берген. 2018 жылы ұсынылған (Watanabe, et al., 2018) ESPNet терең нейрондық жүйелерге негізделген, сөйлеуді автоматты түрде танитын модельдер алуға негізделген құрал. ESPNet-тің конформер типті шифраторы мен трансформер типті декодері аз ресурсты тілдер үшін 15%-дан жоғары жақсы нәтиже көрсеткен (Guo, 2021). Конформер типті шифраторды көп тілді бірге оқыту тәжірибесінде қолданған кезде ол басқа модельдерге қарағанда жақсы нәтиже берген (Burchi, et al., 2024; Li, et al., 2025; Qin, et al., 2025). Сондықтан жинақталған ақпараттың нейрондық оқытуға жарамды екендігін сынау мақсатында Conformer-encoder және Transformer decoder архитектурасы таңдалды.

Әдістер мен материалдар. Зерттеу барысында мәліметтерді жинау, өңдеу және оларды сөйлеуді тану жүйесін оқытуға дайындау кезеңдері кешенді түрде жүргізілді. Мәліметтерді алдын ала өңдеу, оның ішінде аудио жазбаларды филтрлеу, мәтіндерді тазарту және оларды сәйкестендіру қадамдары автоматтандырылған әдістер арқылы жүзеге асырылды. Қазақ тілінің ерекшеліктерін ескере отырып, агглютинативті морфологияға бейімделген деректерді таңбалау және корпусқа енгізу процестері жасалды.

Аудиофайлдарды белгілеу кезінде адам факторының әсерін азайту үшін арнайы кодтау және тексеру алгоритмдері қолданылды. Сонымен қатар, қазақ тілінің ауызекі сөйлеу ерекшеліктерін ескеретін мәліметтерді жинауға басымдық берілді. Осы процестердің барлығы алынған деректердің сапасын жақсартуға, сөйлеуді тану жүйесінің тиімділігін арттыруға бағытталды. Деректерді тиімді өңдеу үшін Ffmpeg және Python тіліндегі арнайы скрипттер пайдаланылды. Аудиофайлдарды алдын ала өңдеу кезінде шуды азайту, жиілікті өзгерту және артық дыбыстарды сүзу жұмыстары жүргізілді. Сонымен бірге, қазақ тіліне тән фонетикалық ерекшеліктерді ескеретін жаңа әдістер қарастырылды. Бұл зерттеу қазақ тілі үшін сапалы және кеңейтілген аудио-мәтіндік корпус құруға бағытталған маңызды қадам болды (Mamyrbayev, et al., 2020).

Мәліметтер жинау. Қазақ тілінде сөйлеуді тануды жан жақты жетілдіру үшін 195 сағаттық телефон диалогтары және Zoom және Google meet арқылы өткен онлайн жиналыстарының аудио файлдары жинақталып, одан ары өңделді. Телефон диалогтарын өңдеу барысында аудио файлдар алдымен екі каналды аудиодан ffmpeg бағдарламалық жабдық көмегімен екі жалқы каналдарға бөлінді де, әр каналдың аудио мәліметі бөлек файлға жазылды (сур. 1). Каналдарға бөлінген аудиофайлдар ары қарай ұзақтығы 8 секунд болатын қысқа аудиоларға қиылды. Осы аудиофайлдар ары қарай мәтіндік белгілеу үшін қолданылды.



Сурет 1 - Екі каналды аудио жазбаларды жеке каналдарға бөлу

Аудиофайлдарды өңдеу скриптiсi C++ тiлiнде жазылды. Дегенмен, бұл скрипт жолдары басқа бағдарламалау тiлдерiнде қолдануға да жарайды.

1. Файлдарды каналдарға бөлуге арналған скрипт жолы: `str += string("ffmpeg -i " + filename + " -map_channel 0.0.0 " + left + " -map_channel 0.0.1 " + right + " -report");`

2. Файлдарды 8 секундтық файлдарға қиюға арналған скрипт жолы: `lstr="ffmpeg -i "+left+ " -f segment -segment_time 8 "+trunk_path+ltmp+"%03d.wav";`

3. Файлдар жиілігін өзгертуге арналған скрипт жолы: `str += string("ffmpeg -i " + filename + " -ar 16000 " + out.`

Мәтіндерді тазалау. Жинақталған аудио файлдардың мәтіндерін таңбалауға 100-ден астам студенттер мен мамандар қатысқан себепті адами

факторлар алынған мәтіндер сапасына үлкен әсер ететіні анық. Мәтіндермен жұмыс жасау барысында таңбалауға қатысқан адамдардың мәтіндерді 3 түрлі кодировкалардың бірінде таңбалағаны анықталды. Олар: UTF-8, UTF-16, rk1048. Мәтін машиналық оқытуға жарамды болуы үшін UTF-8 форматына келтірілуі керек. Сондықтан үш түрлі кодировкадағы ақпаратты біркелкі UTF-8 форматына келтіру үшін скрипт дайындалды. Скрипт жазуға Python тілі таңдалды. Себебі бұл тіл үнсіз келісім бойынша мәтінді байттарға ауыстыру барысында UTF-8 кодировкасында сақталған жазудың барлығына қате шығарып, өңдеу блогына жібереді. Ары қарай қатені өңдеу блогына түскен файлдың барлығы бас жағында `b'\xef\xbb'`, `b'\xff\xfe'` байттарының бар кездесуіне қарай UTF-8, UTF-16 или же rk1048 кодировкаларынан жолдарға түрлендірілді. Байттар массивінің бастауыш байттарына қарай кодировка таңдау бағдарламасының мысалы 2-суретте келтірілген.

```
try:
    if bytes.startswith(b'\xef\xbb'):
        bytes = bytes.replace(b'\xef\xbb', b'')
        print(bytes)
        sentence = str(bytes, 'UTF-8')
    elif bytes.startswith(b'\xff\xfe'):
        bytes = bytes.replace(b'\xff\xfe', b'')
        print(bytes)
        sentence = str(bytes, 'UTF-16')
    else:
        sentence = str(bytes, 'rk1048')

    if sentence == "":...
    else:...
except:|
    txt_file_path = str(subdir + "/" + main_title + ".txt")
    os.system("cp " + full + " " + after_broken_dir)
    os.system("cp " + txt_file_path + " " + after_broken_dir)
```

Сурет 2 - UTF-8 кодировка түрімен тікелей декодтау әрекетінен кейін қатені өңдеу блогына жіберілген файлдардың байттары үшін кодировка таңдауға арналған кодтың мысалы

Мәтінді түрлі кодировкаларда сақталған файлдардан жинақтап болған кезде кодировкалар белгілері, жасырын символдар, артық символдар секілді артық оқыту үрдісіне кедергі келтіретін қосымша факторлар пайда болды. Сондықтан мәтінді олардан тазарту керек болды: `'\u200c'`, `'\u0x00'` және т.б. артық символдар мәтіннен өшірілді. Олардан тазалау үшін скрипттің келесі бөлігі пайдаланылды (сур. 3):

```
import unicodedata, re, itertools, sys

all_chars = (chr(i) for i in range(sys.maxunicode))
categories = {'Cc'}
control_chars = ''.join(c for c in all_chars if unicodedata.category(c) in categories)
# or equivalently and much more efficiently
control_chars = ''.join(map(chr, itertools.chain(range(0x00,0x20), range(0x7f,0xa0))))

control_char_re = re.compile('[%s]' % re.escape(control_chars))

def remove_control_chars(s):
    return control_char_re.sub('', s)
```

Сурет 3 - Мәтіннен көрінбейтін символдарды өшіру

Алынған мәліметтер корпусын пайдаланып интегралды сөйлеуді автоматты түрде танитын модель алу. Барлық керек мәліметтерді біріктіріп, өңдеп болғаннан кейін негізгі жұмыс сөйлеуді автоматты түрде тани алатын модельді оқыту үрдісі жүзеге асты. Интегралды модельді алу құралы ретінде ESPNet таңдап алынды. Конформер шифраторы мен трансформер дешифраторын қолданатын архитектура таңдап алынды. Енгізілген аудио ақпарат конволюциялық нейрондық жүйелер көмегімен өңделеді де, шифраторда жасырын қабаттар алу үшін Bi-LSTM нейрондық жүйесі қолданылады. Дешифратор қосылымдық уақытша классификациялаумен бірге зейін механизмін қолданады, оған қосымша декодтау кезінде тілдік модельдің де үлес салмағы 0,3 коэффициентпен есепке алынады. Эксперименттің мақсаты алынған мәліметтер жүйесінің оқытуға жарамдылығын тексеруге негізделген болғандықтан архитектураның басқа параметрлеріне жіті таңдау жасалмады.

Нәтижелер және оларды талқылау. Алынған модель жинақталған мәліметтер сапасының сөйлеуді автоматты түрде тануға арналған машиналық оқытуға жарамды екендігін көрсетті. Модель параметрлері жіті таңдалмағанның өзінде модель дәлдігі ақылға сыйымды мәндер аясында алынды (кесте 1).

Кесте 1 - Алынған мәліметтерді Conformer нейрондық жүйесінде оқыту нәтижелері

Сынаушы мәліметтер жиыны	WER (%)	CER (%)
Train	20,4	8,2
Test	22,4	9,3

Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, Conformer-шифраторы мен Transformer-дешифраторы негізінде құрылған сөйлеуді тану жүйесі қазақ тілі үшін қолайлы нәтижелер көрсетті. WER (Word Error Rate) және CER (Character Error Rate) көрсеткіштері қазіргі қолжетімді қазақ тіліне арналған

мәліметтер жиынтығы мен архитектураларға негізделген жүйелермен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсетті. WER мәні 20.4%-22.4% аралығында болса, CER мәні 8.2%-9.3% құрады. Бұл нәтижелер жинақталған мәліметтер сапасының жоғары екенін және оларды әрі қарай жетілдіру арқылы одан да жоғары дәлдікке қол жеткізуге болатынын көрсетеді.

Жинақталған 396 сағаттық шынайы табиғи жағдайда жинақталып, мұқият өңделген ақпараттар жиыны сөйлеуді тану саласында болашақта жан-жақты зерттеу жұмыстарын жүргізуге өте үлкен септігін тигізетін өте құнды материал болып табылады. Сонымен қатар осы мақалада келтірілген код фрагменттері басқа да зерттеушілерге өздеріне қажетті мәліметтер жинауда айтарлықтай көмек бола алады. Қазіргі нәтижелер қанағаттанарлық болғанымен, тілдік модельдерді жетілдіру, арнайы адаптацияланған Conformer-нұсқаларын енгізу және үлкен көлемді деректермен оқыту арқылы қателер деңгейін төмендету жолдары қарастырылуы керек. Қазақ тілін басқа түркі тілдерімен біріктіріп оқыту нәтижесінде сөйлеуді тану жүйесінің дәлдігін арттыруға мүмкіндік бар.

Қорытынды: Сөйлеуді тану жүйесін құруға қажетті модельді алу да машиналық оқытудың басқа түрлері сияқты сәйкес мәліметтер қорын талап етеді. Бірақ аудио-мәтін түріндегі шынайы ортада жинақталған ақпаратты өңдеп, жұмысқа жарамды күйге келтіру ақпарат жинау түрлерінің ең күрделілерінің бірі. Авторлардың 1 жылдам астам уақытта жинақтап, өңделіп және таңбаланған 396 сағаттық мәліметтер қоры қазақ тілінде сөйлеуді тану жүйелерін құру мақсатындағы тәжірибелерге қолдануға, қазіргі таңда бас өзге де мәліметтер қорын кеңейтуге жарамды материал болып табылады. Ақпараттар қорын сынау мақсатында жүргізілген тәжірибелер нәтижесі осының дәлелі.

Қазақ тілі үшін ашық қолжетімді аудио-мәтін мәліметтер көлемінің шектеулі болуына байланысты, осы зерттеуде жасалған корпус болашақта басқа зерттеулер мен коммерциялық жобаларға негіз бола алады. Ұсынылған деректерді өңдеу әдістері қазақ тіліндегі сөйлеу деректерін белгілеу мен алдын ала өңдеу сапасын арттырып, мәліметтер жинаудың жалпы тиімділігін жоғарылатады. Зерттеуде қазақ тілінің агглютинативті морфологиясына қатысты негізгі мәселелер қарастырылды және оларды шешудің жолдары ұсынылды.

Бұл зерттеу қазақ тіліндегі автоматты сөйлеуді тану жүйелерін дамытудың маңызды кезеңі болып табылады. Алдағы уақытта алынған мәліметтер қорын кеңейтіп, оны әртүрлі архитектураларда тестілеу арқылы қазақ тіліндегі тану жүйелерін одан әрі жетілдіру жоспарлануда.

References

- Burchi M., Puvvada K.C., Balam J., Ginsburg B., Timofte R. (2024) Multilingual Audio-Visual Speech Recognition with Hybrid CTC/RNN-T Fast Conformer. — ICASSP 2024. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). — P. 10211-10215. (in English)
- Chang O., Liao H., Serdyuk D., Shah A., Siohan O. (2024) Conformer is All You Need for Visual

Speech Recognition. ICASSP 2024 - 2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). — P. 10136-10140, doi: 10.1109/ICASSP48485.2024.10446532. (in English)

Guo P. (2021) Recent Developments on Espnet Toolkit Boosted By Conformer. ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). — P. 5874-5878, doi: 10.1109/ICASSP39728.2021.9414858. (in English)

Kuanyshbay D., Amirgaliyev Y., Baimuratov O. (2020) Development of Automatic Speech Recognition for Kazakh Language using Transfer Learning. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering 9. — P. 5880–5886. (in English)

Li M., Liu Y., Zhou L. (2025) DeConformer-SENet: An efficient deformable conformer speech enhancement network. Digit. Signal Process. — 156, PA (Jan 2025). <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2024.104787>. (in English)

Liu Y., Han E., Lee Ch., Stolcke A. (2021) End-to-End Neural Diarization: From Transformer to Conformer. - P. 3081-3085. 10.21437. Interspeech. —2021. — P.1909. (in English)

Mamyrbayev O., Alimhan K., Oralbekova D., Bekarystankyzy A., Zhumazhanov B. (2022) Identifying the influence of transfer learning method in developing an end-to-end automatic speech recognition system with a low data level. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 1 (9 (115)). — P. 84–92. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252801>. (in English)

Mamyrbayev O., Oralbekova D., Alimhan K., Nuranbayeva B. (2022) Hybrid end-to-end model for Kazakh speech recognition. International Journal of Speech Technology 08. — P. 1–10. (in English)

Mamyrbayev O., Oralbekova D. (2020) Modern trends in the development of speech recognition systems // News of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan. — Vol. 4. — № 332. — P. 42-51. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.64>. (in English)

Musaev M., Mussakhoyayeva S., Khujayorov I., Khassanov Y., Ochilov M., Atakan Varol H. (2021) USC: An Open-Source Uzbek Speech Corpus and Initial Speech Recognition Experiments. In: Karpov, A., Potapova, R. (eds) Speech and Computer. SPECOM 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12997. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87802-3_40. (in English)

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

Mussakhoyayeva S., Dauletbek K., Yeshpanov R., Varol H.A. (2023) Multilingual Speech Recognition for Turkic Languages. Information 14(2). — 74p. <https://doi.org/10.3390/info14020074>. (in English)

Orken M., Oralbekova D., Alimhan K., Tolganay T., Othman M. (2022) A study of transformer-based end-to-end speech recognition system for Kazakh language. — Scientific reports 12, 8337. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12260-y>. (in English)

Ren Z., Yolwas N., Slamun W., Cao R., Wang H. (2022) Improving Hybrid CTC/Attention Architecture for Agglutinative Language Speech Recognition. — Sensors 22. —P. 7319. (in English)

Qin Y., Yu F. (2025) An End-To-End Speech Recognition Model for the North Shaanxi Dialect: Design and Evaluation. Sensors. — 2025; 25(2):341. <https://doi.org/10.3390/s25020341>. (in English)

Watanabe S., Hori T., Karita S., Hayashi T., Nishitoba J., Unno Y., Ochiai T. (2018) Espnet: End-to-end speech processing toolkit. arXiv preprint arXiv:1804.00015. (in English)

Watanabe S., Boyer F., Chang X., Guo P., Hayashi T., Higuchi Y., Hori T., Huang W., Inaguma H., Kamo N., Karita S., Li C., Shi J., Subramanian A., Zhang W. (2020) The 2020 ESPnet Update: New Features, Broadened Applications, Performance Improvements, and Future Plans. 2021 IEEE Data Science and Learning Workshop (DSLW). — P. 1-6. doi: 10.1109/DSLW51110.2021.9523402. (in English)

**Publication Ethics and Publication Malpractice
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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>

ISSN 2518-1726 (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 20.06.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

20,0 п.л. Заказ 2.