

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

№2

2026

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

2 (358)

APRIL – JUNE 2026

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

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

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

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген № **KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

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

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

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

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

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

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

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

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

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Abduraimova B.K., Toleukhan A.B., Sapakova S.Z., Abisheva A.A. Development of early cyberattack detection method using CNN-LSTM for IoT.....	11
Aben A.B., Kazbekova G.N., Baimakhanova A.S., Amanzholova A.B. Classification of birds and drones in the sky using MobileNetV2 model.....	30
Akbarov D., Sembayev T. Quality-aware pose–hand keypoint extraction pipeline for skeleton-based sign language recognition.....	44
Algazy K., Alimzhan Y., Sakan K., Nyssanbayeva S. Lattice-based vector commitments for Verkle trees.....	67
Asylkhan N., Baidrakhmanova M.G. Principles and models of spatial organization of buildings for crop production considering technological and climatic factors.....	87
Basheyeva Zh., Tokesh A., Bekish U., Abdoldinova G. Artificial intelligence for academic project management: a bibliometric analysis and systematic review.....	105
Bekmanova G., Kantureyeva M., Omarbekova A., Zakirova A., Issainova A. Integrating artificial intelligence to evaluate emotions in the learning environment.....	125
Dzhusupbekova G.T., Jangassiyev R.M. Gemini AI integration based on .NET MAUI for education: hybrid architecture and empirical load testing.....	146
Doszhan N.S., Sultanbekova L.Ye., Zhumagali S.Zh., Konysbayev E.K. Modeling and parameter calculation of an emergency response system based on LoRaWAN technology in the high-altitude conditions of the Zailiysky Alatau.....	166
Zhumakhanova A., Kudabayeva R., Akanova K., Myrkanova A. Entropy-normalized multidimensional model for user activity segmentation in Reddit...	180
Karabaliyev Y., Kolesnikova K., Khlevnaya Y. HybridKazASR: a hybrid automatic speech recognition system combining multi-model rover fusion and morpheme-aware language modeling for Kazakh.....	198
Kerimkhulle S.E., Adalbek A., Baizakov N.A., Shodorova N.N. Piecewise logistic and fuzzy modeling of Kazakhstan's GDP dynamics (1990–2024)....	212
Kulakayeva A., Ashurov A., Aitmagambetov A., Ongenbayeva Zh. Development of mathematical models and criteria for the admissibility of orbital maneuvers of spacecraft.....	228

Kulatay A.A., Zhaisanova D.S., Daurenbayeva N.A., Mamanova S.Y., Tolegen M. Machine learning for personalized learning in gamified edtech platforms: Aqyl Battle case.....	248
Mamyrbayev O., Kurmetkan T. Enhanced sentiment analysis of e-commerce product reviews using Luong attention-based Bi-LSTM.....	263
Marassulov U.A., Kazbekova G. TF-IDF-based fake news detection in Kazakh and Russian.....	286
Omar A.B., Mussiraliyeva Sh.Zh. Federated learning: models based on transformer architecture.....	302
Rakhimova D., Duisenbekkyzy Zh., Karibayeva A., Eşref A., Ilessova B. Improving the voice recognition system for children in Kazakh through additional training (fine-tuning).....	317
Sarsembayev M, Urmashev B. Optimization of the calculation of kinetic equations of combustion processes on GPU using global memory and shared memory.....	335
Symagulov A., Smurygin V., Belousov A., Karypov A., Yunicheva N.R. Improving the accuracy of crop and weed detection using UAVs in soya fields through image segmentation.....	347
Tashenova Zh., Gabdullin A.R., Abdugulova Zh., Amanzholova Sh., Santeyeva S. Security evaluation of WPA3 wireless networks under deauthentication attack scenarios.....	368
Tursunbayeva G.U., Satybalдина D.Zh., Tleuberdin S.T., Tashatov N.N., Egamberdiyev E.E. Anomaly detection in UAV telemetry systems based on simulation modeling.....	391
Tursynova N., Yerimbetova A., Amangeldy N., Zhumabayeva A., Daiyrbayeva E. Comparative analysis of multilingual transformer models for Kazakh-to-gloss translation.....	414
Shangpeng Lei, Balakayeva G. Dual-branch physical information neural networks for data center airflow velocity and thermal modeling.....	433
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T., Malik G.J., Balgimbekova U.B. Automatic brick defects detection by using a CNN-based deep learning model.....	449

МАЗМҰНЫ

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР

Абдураимова Б.К., Төлеухан Ә.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Кибершабулдарды ерте анықтау әдісін CNN-LSTM негізінде дамыту (IoT үшін).....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова Ә.Б. MobileNetV2 моделімен аспандағы құстар мен дрондарды классификациялау.....	30
Ақбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Ым тілін тануға арналған дене қалпы мен қолдың негізгі нүктелерін сапаны бақылаумен анықтау әдісі.....	44
Алғазы К.Т., Әлімжан Е.Ж., Сақан Қ.С., Нысанбаева С.Е. Verkle ағаштарына арналған торлық векторлық міндеттемелер.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Технологиялық және климаттық факторларды ескере отырып, өсімдік шаруашылығы ғимараттарының кеңістік ұйымдастыру қағидалары мен модельдері.....	87
Башеева Ж., Төкеш Ә., Бекіш Ұ., Абдолдинова Г. Академиялық жобаларды басқарудағы жасанды интеллект: библиометриялық талдау және жүйелі шолу.....	105
Бекманова Г.Т., Кантурсева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Оқу ортасындағы эмоцияларды бағалау үшін жасанды интеллектті біріктіру.....	125
Джусупбекова Г.Т., Жангасиев Р.М. Білім беруге арналған .NET MAUI негізіндегі Gemini AI интеграциясы: гибриді архитектурасы және эмпирикалық жүктемелік тестілеу.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумағали С.Ж., Қонысбаев Е.К. Іле Алатауының биік таулы жағдайында LORAWAN технологиясы негізіндегі жедел әрекет ету жүйесінің параметрлерін модельдеу және есептеу.....	166
Жумаханова А., Қудабаева Р., Ақанова К., Мырқанова А. REDDIT-те пайдаланушы әрекетін сегменттеуге арналған энтропия-нормалданған көп өлшемді модель.....	180
Қарабаев Е., Колесникова К., Хлевная Ю. HybridKazASR: Rover көпмодельді біріктіру және морфемеге негізделген тілдік модельдеуді пайдаланатын қазақ тілін автоматты тану гибриді жүйесі.....	198
Керімқұл С.Е., Адалбек А., Байзақов Н.А., Шодорова Н.Н. Қазақстан ЖІӨ динамикасын кезеңдік (Piecewise) логистикалық және бұлдыр модельдеу (1990–2024).....	212

Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмағамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Ғарыш аппараттарының орбиталық маневрлерінің математикалық модельдері мен рұқсат критерийлерін әзірлеу.....	228
Құлатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Төлеген М. Геймификацияланған edtech платформаларда оқытуды жекелендіруге арналған машиналық.....	248
Мамырбаев Ө.Ж., Құрметқан Т. Луонг назар механизміне негізделген BI-LSTM көмегімен электрондық коммерция өнімдеріне жазылған пікірлерге жетілдірілген сентименттік талдау жасау.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Қазақ және орыс тілдеріндегі жалған жаңалықтарды TF-IDF арқылы анықтау.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративті оқыту: трансформер архитектурасына негізделген модельдер.....	302
Рахимова Д., Дүйсенбекқызы Ж., Кәрібаева А., Ешref А., Ілесова Б. Қазақ тіліндегі балалар дауысын тану жүйесін қосымша оқыту (Fine-Tuning) арқылы жетілдіру.....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Global memory және shared memory қолдану арқылы GPU-да жану процестерінің кинетикалық теңдеулерін есептеуді оңтайландыру.....	335
Сымагулов А., Смурыгин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Соя алқаптарында ҰҰА көмегімен мәдени және арамшөп өсімдіктерін детекттеу сапасын кескіндерді сегменттеу арқылы арттыру.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.Ә. Деатентификациялау шабуылы сценарийлеріндегі WPA3 сымсыз желілерінің қауіпсіздігін бағалау.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Глеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Симуляциялық модельдеу негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының телеметриялық жүйелеріндегі аномалияларды анықтау.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Қазақ тілінен глосска аудару үшін көптілді трансформерлік модельдердің салыстырмалы талдауы.....	414
Шанпэн Лей, Балакаева Г. Деректер орталығының ауа ағынының жылдамдығына және термиялық модельдеуге арналған екі тармақты физикалық ақпараттық нейрондық желілер.....	433
Шынжігіт Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т., Мәлік Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Кіріпші ақауларын автоматты анықтауда snn негізіндегі терең оқыту моделін пайдалану.....	449

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Абдураимова Б.К., Толеухан А.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Разработка метода раннего обнаружения кибератак на основе CNN-LSTM для IoT.....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова А.Б. Классификация птиц и дронов в небе с использованием модели MobileNetV2.....	30
Акбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Метод получения ключевых точек позы и кистей с контролем качества для распознавания жестового языка.....	44
Алгазы К.Т., Алимжан Е.Ж., Сакан К.С., Нысанбаева С.Е. Решеточные векторные обязательства для Verkle-деревьев.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Принципы и модели пространственной организации зданий для растениеводства с учетом технологических и климатических факторов.....	87
Башеева Ж., Токеш А., Бекиш У., Абдолдинова Г. Искусственный интеллект в управлении академическими проектами: библиометрический анализ и систематический обзор.....	105
Бекманова Г.Т., Кантуреева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Интеграция искусственного интеллекта для оценки эмоций в учебной среде.....	125
Джусупбекова Г.Т., Джангасиев Р.М. Интеграция Gemini AI на базе .NET MAUI для образования: гибридная архитектура и эмпирическое нагрузочное тестирование.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумагали С.Ж., Коньсбаев Е.К. Моделирование и расчет параметров системы экстренного реагирования на базе технологии LoRaWAN в условиях высокогорья Заилийского Алатау.....	166
Жумаханова А., Кудабаева Р., Аканова К., Мырканова А. Энтропийно-нормализованная многомерная модель для сегментации активности пользователей в Reddit.....	180
Карабалиев Е., Колесникова К., Хлевна Ю. HybridKazASR: гибридная система автоматического распознавания казахской речи на основе многомодельного объединения ROVER и морфемно-ориентированного языкового моделирования.....	198
Керимкулов С.Е., Адалбек А., Байзаков Н.А., Шодорова Н.Н. Кусочно-логистическое и нечеткое моделирование динамики ВВП Казахстана (1990–2024).....	212
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмагамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Разработка математических моделей и критериев допустимости орбитальных маневров космических аппаратов.....	228

Кулатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Толеген М. Машинное обучение для персонализации обучения на геймифицированных EdTech-платформах: кейс Aqyl Battle.....	248
Мамырбаев О., Курметкан Т. Усовершенствованный анализ тональности отзывов о товарах электронной коммерции с использованием Bi-LSTM на основе механизма внимания Луонга.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Выявление ложных новостей на казахском и русском языках TF-IDF-моделями.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративное обучение: модели на основе архитектуры трансформеров.....	302
Рахимова Д., Дуйсенбеккызы Ж., Карибаева А., Еҫref А., Илесова Б. Совершенствование системы распознавания голоса детей на казахском языке путем дополнительного обучения (fine-tuning).....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Оптимизация расчета кинетических уравнений процессов горения на GPU с использованием global memory и shared memory.....	335
Сымагулов А., Смургин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Улучшение качества детектирования культурных и сорных растений с помощью БПЛА на полях сои с применением сегментации изображений.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.А. Оценка безопасности беспроводных сетей WPA3 в условиях атаки с деаутентификацией.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Тлеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Обнаружение аномалий в телеметрических системах БПЛА на основе симуляционного моделирования.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Сравнительный анализ многоязычных трансформерных моделей для перевода с казахского языка на глоссированное представление.....	414
Шанпэн Лэй, Балакаева Г. Двухветвевые физически информированные нейронные сети для моделирования воздушных потоков и тепловых условий в центрах обработки данных.....	433
Шынжыгит Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелды Т.Т., Малик Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Использование модели глубокого обучения на основе CNN для автоматического обнаружения дефектов кирпичной кладки.....	449

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

ISSN 1991-346X

Volume 2.

Number 358 (2026). 302–316

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.440>

IRSTI 05.13.17

UDC 004.912:004.056

© **Omar A.B.***, **Mussiraliyeva Sh.Zh.**, 2026.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: aiym.omar98@gmail.com

FEDERATED LEARNING: MODELS BASED ON TRANSFORMER ARCHITECTURE

Omar Aiym — PhD student, the Department of Cybersecurity and Cryptology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aiym.omar98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2644-5596>;

Mussiraliyeva Shynar — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Cybersecurity and Cryptology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: mussiraliyevash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5794-3649>.

Abstract. The relevance of this study is related to ensuring secure and privacy-preserving model training without transferring personal data to a central server. One of the effective approaches to this problem is federated learning, where data remain locally on client computers, and only model updates are sent to the server. This helps reduce the risk of personal data leakage. The main objective of the study is to detect and classify aggressive content using federated learning and to evaluate the performance of Transformer-based models, namely BERT, ALBERT, and DistilBERT. The study includes several experimental stages, and the models are compared using accuracy metrics and confusion matrices. In the experiment, the English Profanity Words dataset was used to train the selected models. The dataset was distributed among 3, 5, 7, and 11 clients. Two data distribution scenarios were considered: IID, where the dataset is distributed evenly among clients, and Non-IID, where the data are distributed unevenly. This made it possible to analyze how the number of clients and data distribution affect model performance in a federated learning environment. The experimental results showed that ALBERT achieved the best performance, with accuracy ranging from 93% to 97% as the number of clients increased. BERT also demonstrated stable results, while DistilBERT had higher training speed but lower accuracy compared to the other models. The obtained results can help select an appropriate model for privacy-sensitive text classification tasks. In practice, this approach can be applied to text

analysis, aggressive content detection, and systems where data security is a key requirement. Future work will focus on increasing the number of clients, applying differential privacy, and conducting experiments on other datasets.

Keywords: natural language processing, federated learning, transformer models, uniform dataset, non-uniform dataset, number of clients, training speed

For citations: Omar A.B., Mussiraliyeva Sh.Zh. Federated learning: models based on transformer architecture. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.2. — P. 302–316. DOI <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.440>

© **Омар А.Б.*, Мусиралиева Ш.Ж., 2026.**
Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан.
E-mail: aiym.omar98@gmail.com

ФЕДЕРАТИВТІ ОҚЫТУ: ТРАНСФОРМЕР АРХИТЕКТУРАСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН МОДЕЛЬДЕР

Омар Айым — докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің "Киберқауіпсіздік және криптология" кафедрасы, Алматы, Қазақстан,
E-mail: aiym.omar98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2644-5596>;

Мусиралиева Шынар — физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің "Киберқауіпсіздік және криптология" кафедрасы, Алматы, Қазақстан,
E-mail: mussiraliyevash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5794-3649>.

Аннотация. Зерттеудің өзектілігі жеке деректерді орталық серверге жібермей модельді қауіпсіз құпия түрде оқытуды қамтамасыз етумен байланысты. Бұл мәселені шешудің тиімді әдістерінің бірі – федеративті оқыту. Оның ерекшелігі: деректер клиенттік компьютерлерде жергілікті түрде сақталады, серверге тек модель жаңартулары жіберіледі. Нәтижесінде жеке деректердің құпиялығы қамтамасыз етіледі. Зерттеудің негізгі мақсаты федеративті оқыту әдісін қолдану арқылы агрессивті мазмұнды анықтау және классификациялау. BERT, ALBERT және DistilBERT сияқты трансформерлік модельдердің өнімділігі мен тиімділігін бағалау. Зерттеу бірнеше кезендерді қарастырады. Модель нәтижелері дәлдік көрсеткіштері мен шатастыру матрицалары арқылы салыстырылады. Зерттеу барысында федеративті оқыту әдісі мен BERT, ALBERT және DistilBERT модельдерінің жұмыс істеу өнімділігін қарастырдық. Эксперимент кезінде деректер жиынтығын 3, 5, 7, 11 клиентке бөлу арқылы деректердің екі түрлі таралу әдісін қарастырдық. Біріншісі IID, яғни деректер жиынтығының біркелкі бөлінуіне негізделген әдіс. Екіншісі Non-IID, яғни керсінше деректер жиынтығының біркелкі емес бөлінуін сипаттайтын әдіс. Берілген модельдерді оқыту үшін English Profanity Words деген деректер жиынтығы пайдаланылды. Деректер жиынтығының

сипаттамасы «Әдістер мен материалдар» бөлімінде ұсынылған. Эксперимент кезінде алынған модельдердің дәлдігі және оқу жылдамдығының нәтижелеріне талдау жұмыстары жасалды. Сонымен қатар деректер жиынтығын екі әдіс бойынша бөліп, клиент санын біртіндеп арттырып модель дәлдігінің өзгерістерін зерттедік. Нәтижесінде ALBERT моделі клиент саны артқан кезде жақсы көрсеткіш берді 93–97%. Ал BERT моделі тұрақты нәтижелерге қол жеткізетінін және DistilBERT моделі басқа модельдермен салыстырғанда жоғары оқу жылдамдығына ие болғанымен дәлдігі төмен көрсеткіш берді. Алынған нәтижелер құпия деректермен жұмыс істегенде және федеративті оқыту модельдерін қолданған кезде қолайлы модельді таңдауға көмектеседі. Іс жүзінде бұл әдісті мәтінді талдау, агрессивті мазмұнды анықтау, деректер қауіпсіздігі маңызды жүйелерде қолдануға болады. Болашақта клиенттер санын көбейту, дифференциалды құпиялылық әдісін енгізу және басқада деректер жиынтығында эксперименттер жүргізу жоспарлануда.

Түйін сөздер: Табиғи тілдерді өңдеу, федеративті оқыту, трансформер үлгілері, біркелкі деректер жиынтығы, біркелкі емес деректер жиынтығы, клиенттер саны, оқыту жылдамдығы

© Омар А.Б.*, Мусиралиева Ш.Ж., 2026.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан.

E-mail: aiym.omar98@gmail.com

ФЕДЕРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ: МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ ТРАНСФОРМЕРОВ

Омар Айым — докторант кафедры кибербезопасности и криптологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: aiym.omar98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2644-5596>;

Мусиралиева Шынар — кандидат физико-математических наук, профессор кафедры кибербезопасности и криптологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: mussiraliyevash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5794-3649>.

Аннотация. *Актуальность.* Актуальность исследования обусловлена необходимостью безопасного и конфиденциального обучения моделей машинного обучения без передачи персональных данных на центральный сервер. Одним из эффективных подходов к решению данной задачи является федеративное обучение, при котором данные остаются на локальных клиентских устройствах, а на сервер передаются только обновления параметров модели. Такой подход позволяет повысить уровень защиты персональных данных и одновременно использовать распределенные данные для обучения интеллектуальных систем. *Цель.* Выявить и классифицировать агрессивный контент с применением метода федеративного обучения, а также

оценить производительность и эффективность трансформерных моделей BERT, ALBERT и DistilBERT в условиях различного распределения данных между клиентами. *Методы.* В исследовании использован набор данных English Profanity Words. Экспериментальная часть включала обучение и сравнение моделей BERT, ALBERT и DistilBERT в федеративной среде при различном количестве клиентов: 3, 5, 7 и 11. Рассмотрены два сценария распределения данных: IID, основанный на равномерном распределении набора данных между клиентами, и Non-IID, отражающий неравномерное распределение данных. Для оценки результатов использовались показатели точности, скорости обучения и матрицы ошибок. Дополнительно проанализировано изменение качества моделей при постепенном увеличении числа клиентов. *Результаты и выводы.* В ходе экспериментов установлено, что модель ALBERT показала наиболее высокие результаты при увеличении числа клиентов: точность находилась в диапазоне 93–97%. Модель BERT продемонстрировала стабильные показатели качества в разных сценариях распределения данных. Модель DistilBERT, несмотря на более высокую скорость обучения по сравнению с другими моделями, показала более низкую точность классификации. Полученные результаты позволяют определить наиболее подходящие трансформерные модели для задач анализа текста, выявления агрессивного контента и обработки конфиденциальных данных в условиях федеративного обучения. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенного подхода в системах модерации контента, интеллектуального анализа текста и обеспечения безопасности данных. В дальнейших исследованиях планируется расширить число клиентов, внедрить методы дифференциальной конфиденциальности и провести эксперименты с другими наборами данных.

Ключевые слова: обработка естественного языка, федеративное обучение, трансформерные модели, BERT, ALBERT, DistilBERT, IID, Non-IID, количество клиентов, скорость обучения.

Кіріспе. Қазіргі кезде табиғи тілді өңдеу технологиялары (NLP) айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізді. Мәселен BERT, ALBERT және DistilBERT сияқты трансформерге негізделген модельдер көп қолданылады. Олар мәтіндерді классификациялау, мәтінге негізделген отырып көңіл-күйді талдауда және өзге NLP тапсырмаларында жақсы көрсеткіштер береді. Алайда мұндай модельдерді оқыту үшін бізге үлкен көлемдегі деректер қажет. Ал еліміздегі құпиялылық пен қауіпсіздік мәселелері барлық деректерді бір орталық серверге жинауға қарсы. Бұл ақпараттың құпиялығына қарама-қайшы іс-әрекет.

Осыған орай федеративті оқыту (FL) бұл мәселенің тиімді шешімі деп ұсынсақ болады. Мәселен федеративті оқыту әдісі деректерді орталық серверге жинаудың орнына модельді оқыту пайдаланушы құрылғыларында жергілікті түрде жүргізіледі (Cozac et al., 2025). Яғни жүйе оқыту процессі

орындалғаннан кейін, серверге тек модель жаңартуларын жібереді. Ал деректердің өзі пайдаланушы құрылғыларында құпия түрде қалады. Нәтижесінде құпиялылық пен қауіпсіздік қасиеттері сақталады. Алайда федеративті оқытудың (FL) өз қиындықтарыда болады. Бірінші мәселе, деректер жиынтығы Non-IID (бірдей бөлінбеген) сипатта болуы мүмкін. Деректер жиынтығының мазмұны және құрылымы біркелкі болмауы оқу процесін қиындатады және модель дәлдігіне әсер етуі мүмкін (Orabi et al., 2025; Kumarappan et al., 2024).

Екінші мәселе, бұл оқыту процесіне қатысатын клиент санының артуы. Яғни клиент саны артқан сайын оқыту процесіне кететін уақытта өседі, бұл уақыт өнімділігіне қарама-қайшы әсерін береді. Тағы бір айта кететін жайт, бұл модель архитектурасын дұрыс таңдай білу мәселесі. Мәселен DistilBERT сияқты модельдерде оқыту процесі тез болғанымен дәлдігі төмен болуы мүмкін. Ал BERT және ALBERT модельдері жақсы нәтиже бергенімен оларды оқыту көбірек есептеу ресурстарын және уақытты қажет етеді.

Әдеби шолу. Қазіргі кезде көптеген ғалымдар федеративті оқыту (ФО) әдісі бойынша белсенді түрде зерттеу жұмыстарын жүргізуде. Федеративті оқыту әдісі қандай ортада жиі қолданылатының түсіну үшін 1 кестеде әдеби шолу ұсынылған.

Кесте 1 – Федеративті оқыту әдісі негізіндегі әдеби шолу

Жылы	Автор(лар)	Жұмыс атауы	Зерттеудің мақсаты
2023	Xin'ao Wang, Huan Li, Ke Chen, Lidan Shou	FedBFPT: An Efficient Federated Learning Framework for BERT Further Pre-training	BERT модельі қолданылды. Негізгі мақсаты есептеу ресурстарының шығындарын азайту болды.
2023	Mohanad Sarhan, Siamak Layeghy, Nour Moustafa, Marius Portmann	Cyber Threat Intelligence Sharing Scheme Based on Federated Learning for Network Intrusion Detection	Желілік шабуылдарды анықтауға негізделген. Яғни бірнеше ұйым арасындағы желілік шабуылдарды анықтауға арналған модель құрды.
2024	Aradhana Sahu, K. Aanandha Saravanan	Federated LSTM Model for Enhanced Anomaly Detection in Cyber Security	Аномалияларды анықтау негізінде жұмыс жасалды. LSTM және федеративті оқыту әдісі қолданылды.
2025	B. Olanrewaju-George, B. Praunggono	Federated learning-based intrusion detection system for IoT using unsupervised and supervised DL models	IoT құрылғыларындағы аномалияларды анықтау. Яғни федеративті оқыту әдісі негізінде аномалия анықтау жүйесін құру.
2024	Arash Heidari, Nima Jafari Navimipour, Hasan Dag, Samira Talebi	A Novel Blockchain-Based Deepfake Detection Method Using Federated and Deep Learning Models	Федеративті оқыту әдісі негізінде дипфейк анықтау жүйесін құру. Сонымен қатар CNN әдісін қолдану.

2024	Tijana Markovic, Miguel Leon, David Buffoni, Sasikummar Punnekkat	Random Forest with Differential Privacy in Federated Learning for Network Attack Detection and Classification	Желілік шабуылдарды анықтау. Қосымша дифференциалды құпиялылық әдісін қолдану.
2017	H. Brendan McMahan, Daniel Ramage, Seth Hampson	Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data	Шығындарды азайту мақсатында федеративті оқыту әдісін қолдану.

Федеративті оқыту әдісін алғаш рет клиенттерді оқыту кезіндегі коммуникация тиімділін арттыру мақсатында енгізді (Konečný et al., 2015). Негізгі мақсаты ретінде құпиялықты қамтамасыз ету және оқыту кезінде жеке деректердің ағып кетуіне жол бермеу болды. Енгізудегі қиындықтар: деректер жиынтығының клиенттер арасында біркелкі емес бөлінуі. Бұл модель дәлдігін және сенімділін төмендетті.

Zhao et al. (2018), Hsu et al. (2019) және Listo Zec et al. (2020) FedAvg алгоритмінің және non-IID(біркелкі емес) клиенттік деректерінің федеративті ортадағы әсерін зерттеген. McMahan et al.(2017) және Hard et al.(2018) федеративті ортада дифференциалды құпиялылық әдісін мобильді пернетақта мәтінін болжау тапсырмалары үшін қолданды.

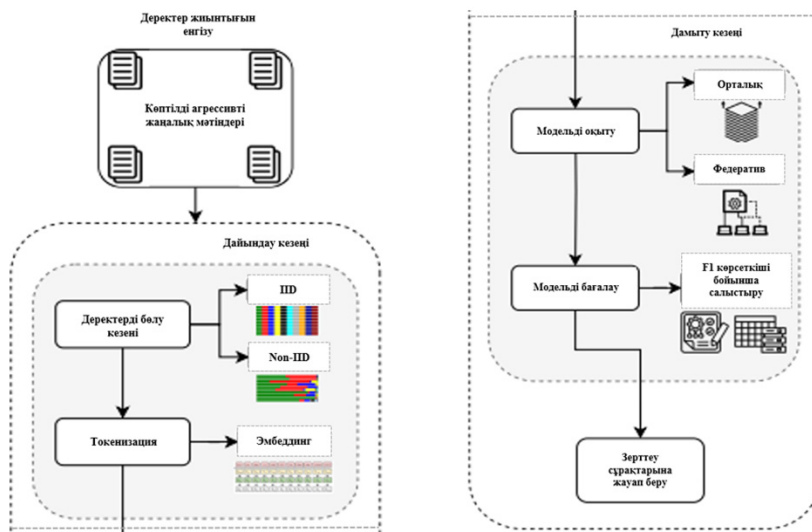
Сонымен қатар зерттеу жұмысы BERT, DistilBERT, ALBERT сияқты трансформер архитектурасына бағытталған. Яғни аталған модельдердің федеративті ортадағы жұмыс істеу тиімділігін анықтауға негізделген.

BERT (Devlin et al., 2019) жасырылған сөзді табуға мүмкіндік беру үшін кіріс токендерінің 15%-ын жасырады. Ол SEP және CLS токендерін қолданады. SEP – екі сөйлемді бөлу үшін, ал CLS – келесі сөйлемді болжау үшін қолданылады.

DistilBERT – BERT-тің оңтайландырылған нұсқасы (Sanh et al., 2020). BERT тиімділігінің шамамен 97%-ын сақтайды. Ол жылдам жұмыс істеуге және аз жақты алуға арналған. BERT-тен басты айырмашылығы екі есе аз қабаттар санын құрайды. Мәселен BERT – 12 қабатты қамтыса, DistilBERT – 6 қабаттан тұрады.

ALBERT (Lan et al., 2020) – BERT-тің тағы бір модификациясы. Алайда ол DistilBERT-ке қарама-қарсы мақсатпен жасалған. Яғни ALBERT қабаттар санын сақтай отырып модельдің көлемін сығу арқылы айтарлықтай азайтады. Ол небәрі 45 МБ құрайды және кез-келген мобильді құрылғыға сыяды. Ол тек жақты үнемдейді, орындалу уақытын емес.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Оқыту процесін ұйымдастыру үшін DistilBERT, BERT, ALBERT модельдері қолданылды. Сонымен қатар салыстыру жұмыстары әділ болу үшін барлық модельдер бір деректер жиынтығын қолданады. Модельдерді оқыту 1-суретте көрсетілген архитектура негізінде жүзеге асырылды. Жалпы бұл архитектураны Riedel P. (2023) өз еңбектерінде ұсынған.



Сурет 1 – Федеративті оқыту процесінің құрылымы мен орындалу реттілігі

Бірінші қадам: деректер жиынтығы екі әдіс көмегімен таратылады. 1-ші: IID – деректер біркелкі таратылады. 2-ші: non-IID – деректер біркелкі емес, яғни әрбір клиенттің деректер құрамы және көлемі әртүрлі болады. Екінші қадам: мәтіндік токенизация орындалады. Мәтінді өндеудің ең алғашқы қадамы және маңызды қадамы. Ол тұтас сөйлемді жекелеген кішкентай бөлшектерге бөледі. Бұл процессті токендерге бөлу деп айтады. Токенизациядан кейінгі келесі міндетті қадам – эмбеддинг. Эмбеддинг әрбір токенді сандар жиынтығына айналдырады. Үшінші қадам: модельді оқыту кезеңі. Бұл кезеңде федеративті оқыту әдісі арқылы берілген модельді оқытады. Соңғы қадам: талдау нәтижелері. Яғни федеративті оқытудағы трансформер модельдердің өнімділігі туралы қорытынды жасау.

FedAvg алгоритмі.

FedAvg – федеративті оқыту кезінде клиенттердің жергілікті жаңартуларын біріктіретін негізгі әдіс. Федеративті оқытудағы жиі қолданылатын алгоритм. FedAvg әдісі 1-ші формула бойынша жүзеге асады:

$$\Delta v^{t+1} = \sum_{k=1}^K \left(\frac{F_k}{F} * \Delta v_k^t \right), \tag{1}$$

мұндағы K мәні клиенттердің саны, F_k мәні k -клиенттегі орындалған үлгілер саны. F айнымалысы деректер жиынтығының жалпы саны. Δv_k^t мәні t -раунд барысында k -клиенттен алынған модель жаңартуы.

Деректер жиынтығының сипаттамасы.

English Profanity Words – деректер жиынтығы қолданылды. Ол 73 572 қысқа ағылшын тіліндегі хабарламалардан тұрады. Әрбір хабарлама агрессивті (1) немесе агрессивті емес (0) деп жіктелді, яғни бинарлы жіктеу

негізінде жүзеге асады. Мысал ретінде 2-суретте деректер жиынтығындағы бастапқы 5 жолы көрсетілген. Деректер жиынтығына осы сілтеме бойынша қол жеткізе аласыз: <https://www.Kaggle.com/datasets/aiymomar/english-profanity-words>

	text	is_offensive
0	You don't know where your boyfriend is at on a Saturday night? LOL He fucking other bitches that's where he's at	1
1	@EricWithAHotDad bitch I'm done with school	1
2	"Hi) Asshole Detected Award Major Suckage detected in your personality "	1
3	Received and responded. Regards,	0
4	" The OTRS email didn't give a more specific author. Do I replace it or ought I to keep it? :ChatMe! "	0

Сурет 2 – Деректер жиынтығы

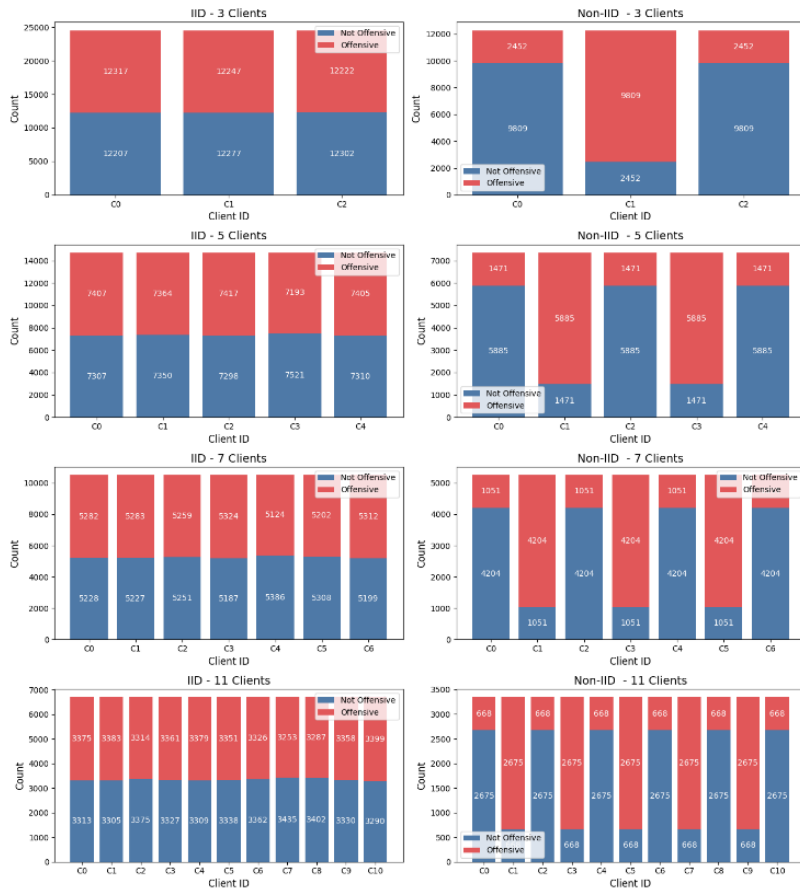
Деректер жиынтығын оқытпас бұрын тазалау жұмыстарын жүргіземіз. Мысалы: бос орындар, эмодзи, кездейсоқ таңбалар сияқты қажеті жоқ элементтерді өшіреміз. Содан кейін Transformers кітапханасынан алынған BertTokenizer, AlbertTokenizer және DistilBertTokenizer токенизаторлары қолданылады. 3-суретте әр жолдың DistilBERT моделі талап ететін форматқа түрлендірілгенің көрсек болады.

	input_ids \		attention_mask	label
0	[101, 2017, 2123, 2102, 2113, 2073, 2115, 6898...		[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ...	1
1	[101, 4388, 24415, 4430, 4140, 14697, 7743, 10...		[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, ...	1
2	[101, 7632, 22052, 11156, 2400, 2350, 11891, 4...		[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, ...	1
3	[101, 2363, 1998, 5838, 12362, 102, 0, 0, 0, 0...		[1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ...	0
4	[101, 1996, 27178, 2869, 10373, 2134, 2102, 25...		[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ...	0

Сурет 3 – DistilBERT моделіне арналған токенизация нәтижесі

4-суретте 3,5,7,11 клиент арасында деректер қалай бөлінгені көрсетілген. Сол жақтағы графикте IID (деректерді біркелкі бөлу) әдісі көрсетілген. Оң жақтағы графикте Non-IID (деректерді біркелкі емес бөлу) әдісі көрсетілген.

IID жағдайында әрбір клиенттің екі кластағы деректер саны бірдей болады. Яғни агрессивті және агрессивті емес мәтіндер бірдей көлемде беріледі. Non-IID жағдайда бір клиентте агрессивті мәтін көбірек болу мүмкін, екінші клиентте керсінше агрессивті емес мәтін көп болу мүмкін. Яғни деретер жиынтығындағы класстар біркелкі емес бөлінеді клиенттер арасында.



Сурет 4 – Деректердің екі әдіс бойынша бөлінуі (3,5,7,11 клиент)

Біздің жағдайда Non-IID арқылы шамамен 80/20% бойынша бөлдік. Мысалы: кейбір клиенттер агрессивті мазмұнды бағытталған хабарламаларды пайдалануы мүмкін, ал басқалары керсінше бейтарап хабарламаларды пайдалануы мүмкін. Бұл жалпы пайдаланушылардың қызығушылықтары, мінез-құлқы, жазу стильдері бойынша әртүрлі болатын нақты ортаға көбірек сәйкес келеді.

Эксперимент нәтижелері. Бұл бөлімде модельдерді оқыту үшін қолданылған негізгі параметрлерді анықтадық. Мәселен федеративті оқытудағы раунд саны – 30; эпоха саны – 3; batch өлшемі –16; оптимизатор – Adam; тізбек ұзындығы – 128 болды.

Нәтижесінде келесі көрсеткіштер алынды:

1. DistilBERT әдісі клиент саны артқан кезде тұрақсыз нәтиже берді:
 - IID жағдайында 3 клиент болған кезде – 90% дәлдік көрсетті;
 - IID жағдайында 11 клиентке өскенде 76%-ға дейін төмендеді;
 - Non-IID жағдайында нәтижелер қатты төмендеді 74%-ға.

2. BERT тұрақты өнімділік көрсетті:

- IID жағдайында 3 клиентпен 95%;
- IID жағдайында 11 клиентпен 88%;
- Non-IID жағдайында дәлдік 85%.

3. ALBERT ең жоғары көрсеткішке ие болды. IID жағдайында 11 клиенттің өзінде, 93% дәлдікті көрсетті. Ал Non-IID жағдайында 89%-ды құрады.

Нәтижесінде клиент санының артуы, деректердің біркелкі емес таралуы барлық модельдердің дәлдігін төмендететінің 2-кестеде көрсек болады. Нақты айтқанда ең сезімтал әдіс DistilBERT болды. Ал кез келген ортаға бейім және төзімді әдіс ALBERT болды.

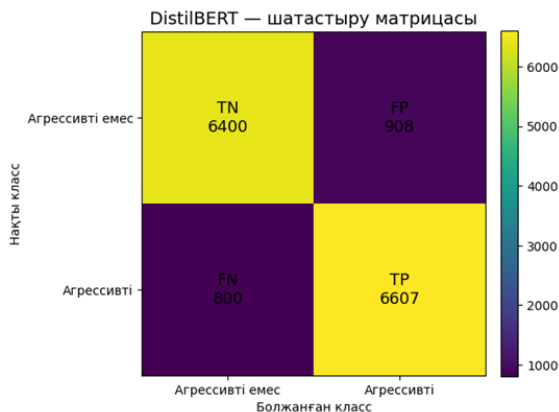
Кесте 2 – Оқыту параметрлері

Number of clients	DistilBERT		BERT		ALBERT	
	IID	Non-IID	IID	Non-IID	IID	Non-IID
3	0.9078	0.8974	0.9581	0.9395	0.9892	0.9593
5	0.8785	0.8583	0.9392	0.9187	0.9796	0.9492
7	0.8078	0.7875	0.9088	0.8983	0.9592	0.9188
11	0.7674	0.7471	0.8885	0.8578	0.9388	0.8987

Модельдердің жұмыс істеу өнімділігін қателесу матрицасын пайдалану арқылы бағаладық. Нәтижесінде:

1. DistilBERT(5-сурет):

- 6400 агрессивті емес және 6607 агрессивті хабарламаны дұрыс анықтады;
- 908 агрессивті емес хабарламаны агрессивті деп қате жіктеді;
- 800 агрессивті хабарламаны танымады.

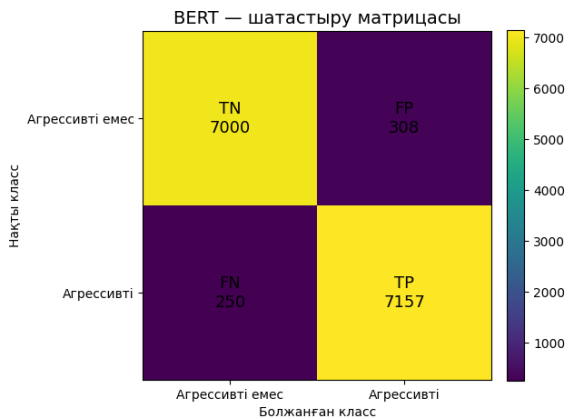


Сурет 5 – DistilBERT шатастыру матрицасы

2. BERT(6-сурет):

- 7000 агрессивті емес және 7157 агрессивті хабарламаны дұрыс анықтады;

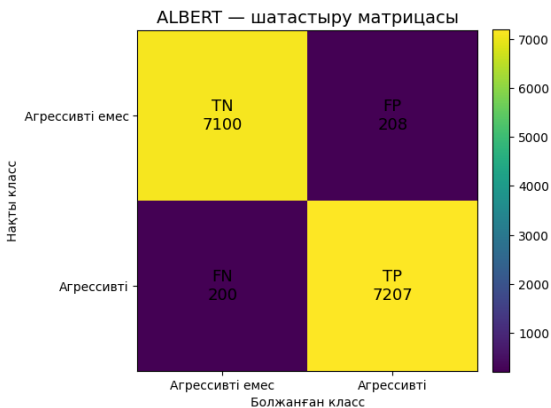
- 308 агрессивті емес хабарламаны агрессивті деп қате жіктеді;
- 250 агрессивті хабарламаны танымады.



Сурет 6 – BERT шатастыру матрицасы

3. ALBERT (7-сурет):

- 7100 агрессивті емес және 7207 агрессивті хабарламаны дұрыс анықтады;
- 208 агрессивті емес хабарламаны агрессивті деп қате жіктеді;
- 200 агрессивті хабарламаны танымады.



Сурет 7 – ALBERT шатастыру матрицасы

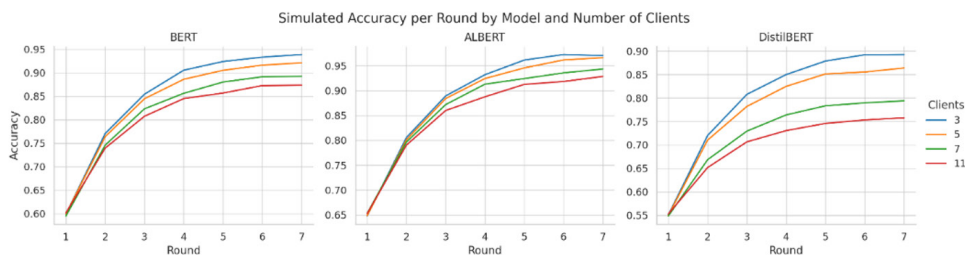
Алынған талдау нәтижелері көрсеткендей ALBERT моделі ең жоғары тиімділікті көрсетті. Бұл модельдегі жалған позитивтердің саны 208, ал жалған негативтердің саны небәрі 200 болды. BERT моделі де жоғары тиімділікті көрсетті, бірақ оның жалған позитивті көрсеткіштері ALBERT-ке қарағанда жоғары болды. DistilBERT моделі жеңіл және жылдам болғанымен

салыстырмалы тұрғыда көрсеткіштері өте төмен болды. Нәтижесінде ALBERT моделі ең тұрақты және дәл көрсеткіш берді (4-кесте).

Кесте 4 – Қателесу матрица көрсеткіштері

Model	TN	FP	FN	TP
DistilBERT	6400	908	800	6607
BERT	7000	308	250	7157
ALBERT	7100	208	200	7207

8-суретте раунд санына байланысты көрсетілген модельдердің көрсеткіштерін графикалық тұрғыда ұсынылған. Бұл нәтижелер негізінде модельдердің федеративті оқыту ортасында қолайлы нәтиже беретінің көрсетеді.

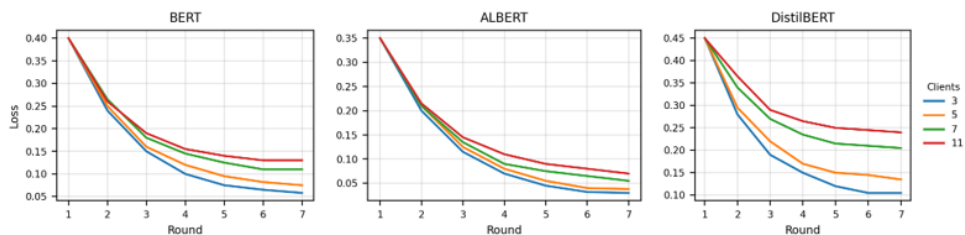


Сурет 8 – Раунд саны бойынша өзгерістер графикасы

Графиктерде байқағандай клиент саны артқан сайын барлық модельдерде дәлдік көрсеткіші төмендейді. Бірақта ең осалы DistilBERT моделі екені анық көрсетілген. Бұл федеративті оқытуда және деректер біркелкі емес болған кезде дұрыс модельді таңдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Суретте федеративті оқытудың барлық кезеңдерінде BERT, ALBERT және DistilBERT модельдерінің дәлдігі көрсетілген. Нәтижелерге сәйкес дәлдік мәні раундтар санының артуына байланысты барлық модельдерде біртіндеп өсті. Сонымен қатар, клиенттердің саны аз болса жоғары дәлдік көрсетті. Біздің жағдайда 3 клиенттің қатысуымен барлық модельдер ең жоғары дәлдікке қол жеткізді. Клиенттер саны 5, 7, 11-ге дейін өскен кезде дәлдік біршама төмендеді. Бұл клиенттер арасындағы деректердің біркелкі бөлінбеуіне (non-IID) байланысты.

Модельдер арасында ALBERT жоғары нәтиже берді. Соңғы раундтарда 0,97-ге жетті. BERT моделі де жоғары нәтижелерге қол жеткізіп, соңғы раундтарда 0,94-ке жетті. DistilBERT жылдам болғанымен төмен нәтиже берді. Оның дәлдігі BERT және ALBERT модельдеріне қарағанда төмен болды(9-сурет).



Сурет 9 – Раунд саны бойынша Loss графикасы

Loss графигі барлық модельдердегі оқу раундтарының санының артуымен қатенің мәні біртіндеп төмендейтінін көрсетеді. BERT моделінде шығындар бастапқы раундта 40% болды. Бірақ 7-раундта ол клиенттер санына байланысты 58%-дан 13%-ға дейін төмендеді. 3 клиентте 58% болды. 11 клиентте 13% болды. ALBERT моделіндегі Loss мәндері бастапқы раундта 35% болса, онда соңғы раундта 3 клиентте 30%, 5 клиентте 38%, 7 клиентте 55% және 11 клиентте 70% дейін төмендеді. Бұл Федеративті оқыту кезінде ең тұрақты оқу динамикасын көрсетеді. Distilbert моделінде бастапқы раундтағы шығындар 45% болды. 7 раундта бұл көрсеткіш 3 клиент – 10%, 5 клиент – 13%, 7 клиент – 20% және 11 клиент – 24% көрсетті. BERT және ALBERT модельдеріне қарағанда қателер жоғары болды.

Жалпы Loss нәтижелеріне келетін болсақ, ALBERT моделінде ең аз қателік байқалды, одан кейін BERT, ал DistilBERT ең жоғары шығын мәндерін көрсетті. Сонымен қатар, шығындар мәні барлық модельдердегі клиенттер санының өсуіне байланысты өсті. Бұл оқыту кезінде клиенттердің көбеюі және деректердің біркелкі бөлінбеуіне әсер ететінін көрсетеді.

Талқылау. Нәтижелер трансформерлік модельдерін федеративті оқытудағы мәтінді жіктеу тапсырмасында тиімді пайдалануға болатындығын көрсетті. Зерттеу BERT, ALBERT, DistilBERT модельдерін қарастырды. Олардың әртүрлі клиент көлеміне байланысты өнімділігін салыстырды.

Модельдер арасында ең жақсы нәтиже ALBERT моделі көрсетті. Соңғы раундта оның дәлдігі 93–97% болды. BERT моделінде бұл көрсеткіш 87–94% деңгейінде, ал DistilBERT моделінде дәлдік шамамен 76–89% болды. Алынған нәтижелерге сүйене отырып ALBERT федеративті ортадағы ең тұрақты, тиімді модель болды. BERT сенімді нәтижелерге қол жеткізді. DistilBERT жеңіл және жылдам модель болғанымен, ол басқа екі модельге қарағанда дәлдігі бойынша нашар нәтиже көрсетті. Клиенттердің көбеюі модельдердің нәтижелеріне әсер ететіні байқалды. Клиенттер саны аз болған кезде дәлдік жоғары болады, ал клиенттер саны артқан сайын көрсеткіш аздап төмендейді. Бұл Федеративті оқытудың басты қиындықтарының бірі.

Шағастыру матрицалары да бұл тұжырымды растайды. ALBERT моделі жіктеу қателіктерінің ең аз санын көрсетті. Ол оның агрессивті және агрессивті емес мәтіндерді сенімді түрде ажырату қабілетін көрсетеді. BERT

моделі де жақсы нәтиже көрсетті. DistilBERT моделінде салыстырмалы түрде көп жіктеу қателері болды. Сондықтан ALBERT жоғары дәлдікті қажет ететін тапсырмаларда тиімдірек екенің көрсетті. DistilBERT шектеулі ресурстар жағдайында қолдануға болатын жеңіл балама ретінде қарастырылуы мүмкін.

Қорытынды. Бұл зерттеу жұмысында біз федеративті оқыту жағдайында DistilBERT, BERT, ALBERT модельдерінің жұмысын талдадық. Олардың дәлдік көрсеткіші клиент санына және деректердің біркелкі, біркелкі емес құрылымда болуына байланысты екенін зерттедік.

Қорытындылай келе, DistilBERT ең аз дәлдікті көрсетті. IID деректері кезінде (3-клиент) 90% дәлдік көрсетті. Клиент саны артқан сайын көрсеткіш төмендеп, 76%-ға дейін түсті (11-клиент). Non-IID жағдайда дәлдік 70% болды. DistilBERT жіберген қателіктер саныда көп болды: 800 агрессивті хабарламаны танымады.

BERT тұрақты сипатқа ие болды. IID жағдайында дәлдігі 95%-дан (3-клиент) 88%-ға (11-клиент) дейін өзгерді. Non-IID жағдайында 93%-дан 85%-ға дейін төмендеді. Қателік саны DistilBERT-пен салыстырғанда айтарлықтай аз болды.

ALBERT ең жоғары көрсеткіштерді берді. IID деректерінде дәлдігі 98%-дан (3-клиент) 93%-ға (11-клиент) түсті. Non-IID деректерінде дәлдік 95%-дан (3-клиент) 89%-ға (11-клиент) дейінгі көрсеткішті берді. Қателер саны да өте төмен болды: 200 агрессивті хабарламаны танымады.

Болашақта федеративті оқытудағы қауіпсіздік мәселелерін тереңірек қарастыратын боламыз. Мәселен гомоморфты шифрлау, дифференциалды құпиялылық әдістерін қосымша қарастырамыз. Сонымен қатар әртүрлі есептеу қуаты бар құрылғыларда модельдердің қалай жұмыс істейтінін бағалау ойымызда бар. Бұл модельдердің жылдамдығын арттыруға, ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

References

Cozac R., Hasic H., & Choong J.J. (2025) kMoL: An open-source machine and federated learning library for drug discovery. *Journal of Cheminformatics*, 17(7). 22 p. DOI: [10.1186/s13321-025-00967-9](https://doi.org/10.1186/s13321-025-00967-9) (in Eng.).

Orabi M.M., Emam O., & Fahmy H. (2025) Adapting security and decentralized knowledge enhancement in federated learning using blockchain technology: Literature review. *Journal of Big Data*, 12. — 55 p. DOI: [10.1186/s40537-025-01099-5](https://doi.org/10.1186/s40537-025-01099-5) (in Eng.).

Kumarappan J., Rajasekar E., & Vairavasundaram S. (2024) Federated learning enhanced MLP–LSTM modeling in an integrated deep learning pipeline for stock market prediction. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17. — 267 p. DOI: [10.1007/s44196-024-00680-9](https://doi.org/10.1007/s44196-024-00680-9) (in Eng.).

Wang X., Li H., Chen K., & Shou L. (2023) FedBFPT: An efficient federated learning framework for BERT further pre-training. *Proceedings of the 32nd International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*. — P. 4344–4352 (in Eng.).

Sarhan M., Layeghy S., Moustafa N., & Portmann M. (2023) Cyber threat intelligence sharing scheme based on federated learning for network intrusion detection. *Journal of Network and Systems Management*, 31(3). DOI: [10.1007/s10922-022-09691-3](https://doi.org/10.1007/s10922-022-09691-3) (in Eng.).

Sahu A., El-Ebiary Y.A. B., Saravanan K.A., Thilagam K., Devi G.R., Gopi A., & Taloba A.I.

(2024) Federated LSTM model for enhanced anomaly detection in cyber security: A novel approach for distributed threat. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(6). — P. 1237–1249 (in Eng.).

Olanrewaju-George B., & Pranggono B. (2025) Federated learning-based intrusion detection system for the Internet of Things using unsupervised and supervised deep learning models. *Cyber Security Applications*, 3, 100068. DOI: 10.1016/j.csa.2024.100068 (in Eng.).

Heidari A., Navimipour N.J., Dag H., Talebi S., & Unal M. (2024) A novel blockchain-based deepfake detection method using federated and deep learning models. *Cognitive Computation*, 16. — P. 1073–1091. DOI: 10.1007/s12559-024-10255-7 (in Eng.).

Markovic T., Leon M., Buffoni D., & Punnekkat S. (2024) Random forest with differential privacy in a federated learning framework for network attack detection and classification. *Applied Intelligence*, 54. — P. 8132–8153. DOI: 10.1007/s10489-024-05589-6 (in Eng.).

McMahan H.B., Moore E., Ramage D., Hampson S., & Agüera y Arcas B. (2017) Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 54. — P. 1273–1282 (in Eng.).

Konečný J., McMahan B., & Ramage D. (2015) Federated optimization: Distributed optimization beyond the datacenter. *arXiv preprint arXiv:1511.03575* (in Eng.).

Zhao Y., Li M., Lai L., Suda N., Civin D., & Chandra V. (2018) Federated learning with non-IID data. *arXiv preprint arXiv:1806.00582* (in Eng.).

Hsu T.-M. ., Qi H., & Brown M. (2019) Measuring the effects of non-identical data distribution for federated visual classification. *arXiv preprint arXiv:1909.06335* (in Eng.).

Listo Zec E., Mogren O., Martinsson J., Sütfield L.R., & Gillblad D. (2020) Federated learning using a mixture of experts. *arXiv preprint* (in Eng.).

McMahan H.B., Moore E., Ramage D., Hampson S., & Agüera y Arcas B. (2017) Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 54. — P. 1273–1282 (in Eng.).

Hard A., Rao K., Mathews R., Beaufays F., Augenstein S., Eichner H., Kiddon C., & Ramage D. (2018) Federated learning for mobile keyboard prediction. *CoRR*, abs/1811.03604 (in Eng.).

Devlin J., Chang M.-W., Lee K., & Toutanova K. (2019) BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 1. — P. 4171–4186 (in Eng.).

Sanh V., Debut L., Chaumond J., & Wolf T. (2020) DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter. *arXiv preprint* (in Eng.).

Lan Z., Chen M., Goodman S., Gimpel K., Sharma P., & Soricut R. (2020) ALBERT: A lite BERT for self-supervised learning of language representations. *arXiv preprint* (in Eng.).

Riedel P., Reichert M., von Schwerin R., Hafner A., Schaudt D., & Singh G. (2023) Performance analysis of federated learning algorithms for multilingual protest news detection using pre-trained DistilBERT and BERT. *IEEE Access*, 11. — P. 134009–134022. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3334910 (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**www.nauka-nanrk.kz
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

Managing Editor: *A.Shormakova*
Editors: *D.S. Alenov, T. Apendiev*
Computer layout: *G.D. Zhadyranova*

Signed for print: June 15, 2026
Format: 70×90 1/16. 26.5 printed sheets. Order No. 2.