

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., Қазбекова 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: гибридігі архитектура 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
Қарабадиев Е., Колесникова К., Хлевная Ю. HybridKazASR: Rover көпмодельді біріктіру және морфемеге негізделген тілдік модельдеуді пайдаланатын қазақ тілін автоматты тану гибридігі 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). 212–227

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.435>

IRSTI 31.15.37
UDC 621.546.06

© **Kerimkhulle S.E.¹, Adalbek A.^{*1}, Baizakov N.A.², Shodorova N.N.³, 2026.**

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan;

²Information and Computing Center, Astana, Kazakhstan;

³Department of Programs, Sustainable Innovation and Technology,
Astana, Kazakhstan.

E-mail: adalbek_a@enu.kz

PIECEWISE LOGISTIC AND FUZZY MODELING OF KAZAKHSTAN'S GDP DYNAMICS (1990–2024)

Kerimkhulle Seyit — Professor, Faculty of Information Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan,

E-mail: kerimkhulle_sye@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5886-6064>;

Adalbek Alibek — PhD student, Faculty of Information Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan,

E-mail: adalbek_a@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8543-2192>;

Baizakov, Nauryz — Deputy Director of the Information and Computing Center, Astana, Kazakhstan,

E-mail: n.baizakov@statdata.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1346-400X>;

Shodorova Nailya — Department of Programs, Sustainable Innovation and Technology, Astana, Kazakhstan,

E-mail: nailya.shodorova@sitf.group, <https://orcid.org/0009-0006-8606-9181>.

Abstract. Currently, the digitization of all sectors is developing rapidly, including the national economy, which has become an essential direction of modern socio-economic development. The digitization of the national economy expands opportunities for data-driven decision-making and contributes to reducing dependence on subjective judgments of decision-makers, thereby supporting stable and balanced economic development. However, effective analysis, forecasting, and management of complex macroeconomic systems require intelligent models capable of capturing nonlinear dynamics, structural changes, and uncertainty factors. Therefore, the development of mathematical and information tools for economic time-series analysis remains an important scientific challenge. This study proposes a hybrid methodological framework combining piecewise logistic modeling and possibilistic fuzzy intervals to analyze the dynamics of the gross domestic product (GDP) of the Republic of Kazakhstan during 1990–2024. The

GDP time series is divided into economically meaningful subperiods (segments), and adaptive three-parameter (3PL) or four-parameter (4PL) logistic models are fitted depending on the number of observations within each segment. Based on the fitted models, a central trajectory is estimated, while uncertainty is represented using residuals in logarithmic space. To quantify uncertainty, a possibilistic approach is applied to construct fuzzy intervals with predefined confidence coverage. Each observation is represented as a triangular fuzzy number (TFN), which is subsequently aggregated at the segment level. A global TFN is obtained through segment-length-weighted aggregation, and its centroid provides an interpretable long-term GDP estimate under uncertainty. The findings demonstrate that the proposed framework effectively captures structural breaks, nonlinear growth trajectories, and uncertainty propagation in macroeconomic time series. Furthermore, the proposed framework can be integrated as a scalable module within intelligent information systems for economic analysis, forecasting, and digital economy management.

Keywords: GDP modeling, piecewise logistic regression, fuzzy numbers, probabilistic uncertainty, Kazakhstan economy, intelligent systems

*For citations: Kerimkhulle S.E.1, Adalbek A.*1, Baizakov N.A.2, Shodorova N.N. Piecewise logistic and fuzzy modeling of Kazakhstan's GDP dynamics (1990–2024). Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.2. – P. 212–227. DOI <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.435>*

© Керімқұл С.Е. ¹, Адалбек А. ^{1*}, Байзаков Н.А. ², Шодорова Н.Н. ³, 2026.

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Ақпараттық-есептеу орталығы, Астана, Қазақстан;

³Бағдарламалар, орнықты инновациялар және технологиялар департаменті, Астана, Қазақстан.

E-mail: adalbek_a@enu.kz

ҚАЗАҚСТАН ЖІӨ ДИНАМИКАСЫН КЕЗЕҢДІК (PIECEWISE) ЛОГИСТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ БҰЛДЫР МОДЕЛЬДЕУ (1990–2024)

Керімқұл Сейіт — профессор, ақпараттық технологиялар факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: kerimkhulle_sye@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5886-6064>;

Адалбек Алибек — PhD студент, ақпараттық технологиялар факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: adalbek_a@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8543-2192>;

Байзаков Наурыз — Ақпараттық-есептеу орталығы директорының орынбасары, Астана, Қазақстан,

E-mail: n.baizakov@statdata.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1346-400X>;

Шодорова Найля — Бағдарламалар, орнықты инновациялар және технологиялар департаменті, Астана, Қазақстан,

E-mail: nailya.shodorova@sitf.group, <https://orcid.org/0009-0006-8606-9181>.

Аннотация. Қазіргі таңда барлық салаларды цифрландыру үрдісі өте қарқынды дамуда, соның ішінде ұлттық экономиканы да цифрландыру заманауи талаптардың өте маңызды бағытына айналып отыр. Ұлттық экономиканы цифрландыру деректерге негізделген басқарушылық шешімдерді қабылдау мүмкіндігін кеңейтіп, шешім қабылдаушы тұлғалардың субъективті бағалауларына тәуелділікті төмендетуге тікелей ықпал етеді. Бұл өз кезегінде ұлттық экономиканың тұрақты және теңгерімді дамуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Ұлттық экономиканың күрделі және көпфакторлы құрылымын тиімді талдау, болжау және басқару үшін бейсызық динамиканы, құрылымдық өзгерістерді және белгісіздік факторларын ескеретін интеллектуалды модельдер қажет. Осыған байланысты экономикалық уақыт қатарларын өңдеуге арналған математикалық және ақпараттық құралдарды жетілдіру өзекті ғылыми мәселелердің бірі болып табылады. Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасының 1990–2024 жылдар аралығындағы жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) даму динамикасын талдау үшін кезеңдік логистикалық модельдеу мен мүмкіндіктік бұлдыр интервалдарды біріктіретін гибриді әдістемелік құрылымды ұсынады. Берілген уақыт қатары экономикалық тұрғыдан мәнді кіші кезеңдерге (сегменттерге) бөлініп, әрбір сегмент үшін бақылаулар санына байланысты бейімделгіш үш параметрлі (3PL) немесе төрт параметрлі (4PL) логистикалық модельдер сәйкестендіріледі. Алынған модельдер негізінде орталық траектория анықталып, логарифмдік кеңістіктегі қалдықтар арқылы анықталмағандық пен белгісіздік сипатталады. Белгісіздікті бағалау үшін мүмкіндіктік тәсіл қолданылып, алдын ала берілген сенімділік деңгейінде қамтуды қамтамасыз ететін бұлдыр интервалдар құрылады. Әрбір уақыт нүктесі үшбұрышты бұлдыр сан (ҮБС) ретінде ұсынылып, кейін сегмент деңгейінде агрегатталады. Барлық сегменттер бойынша алынған нәтижелер сегмент ұзындығы бойынша өлшенген тәсіл арқылы біріктіріліп, жаһандық үшбұрышты бұлдыр сан қалыптастырылады. Оның центроиді белгісіздік жағдайындағы ЖІӨ-нің ұзақ мерзімді интегралды бағасын береді. Алынған нәтижелер ұсынылған тәсілдің макроэкономикалық уақыт қатарларындағы құрылымдық үзілістерді, бейсызық даму траекторияларын және белгісіздіктің таралуын тиімді сипаттайтынын көрсетеді. Сонымен қатар, авторлар ұсынған гибриді әдістемелік құрылым цифрландыру талаптарын қанағаттандыру мақсатында интеллектуалды ақпараттық жүйелердің жеке модулі ретінде интеграцияланып, басқа экономикалық және аналитикалық платформаларға масштабталуы мүмкін. Ұсынылған модель экономикалық талдау, болжау және цифрлық экономиканы басқару міндеттерінде қолдануға перспективалы құрал болып табылады.

Түйін сөздер: ЖІӨ модельдеуі, бөліктік логистикалық регрессия, бұлдыр сандар, ықтималды белгісіздік, Қазақстан экономикасы, интеллектуалды жүйелер

Қаржыландыру. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті қызметкерлерінің бұл жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылады (Грант № AP26196337).

© Керимкулов С.Е.¹, Адалбек А.^{*1}, Байзаков Н.А.²,
Шодорова Н.Н.³, 2026.

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Информационно-вычислительный центр, Астана, Казахстан;

³Департамент программ, устойчивых инноваций и технологий,
Астана, Казахстан.

*E-mail: adalbek_a@enu.kz

КУСОЧНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЕ И НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВВП КАЗАХСТАНА (1990–2024)

Керимкулов Сейт — профессор факультета Информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: kerimkhulle_sye@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5886-6064>;

Адалбек Алибек — PhD-студент факультета Информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: adalbek_a@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8543-2192>;

Байзаков Наурыз — заместитель директора Информационно-вычислительного центра, Астана, Казахстан,
E-mail: n.baizakov@statdata.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1346-400X>;

Шодорова Найля — Департамент программ, устойчивых инноваций и технологий, Астана, Казахстан,
E-mail: nailya.shodorova@sitf.group, <https://orcid.org/0009-0006-8606-9181>.

Аннотация: *Актуальность.* В условиях ускоренной цифровизации экономики возрастает потребность в интеллектуальных моделях анализа, прогнозирования и управления сложными макроэкономическими процессами. Цифровизация народного хозяйства расширяет возможности принятия управленческих решений на основе данных и снижает зависимость от субъективных экспертных оценок. Для эффективного анализа динамики валового внутреннего продукта необходимы математические и информационные инструменты, учитывающие нелинейность, структурные изменения и факторы неопределенности. *Цель.* Разработать гибридную методологическую основу для анализа динамики ВВП Казахстана за 1990–2024 годы на основе кусочно-логистического моделирования и вероятностных нечетких интервалов. *Методы.* В исследовании предложен подход, сочетающий периодическое логистическое моделирование и вероятностные нечеткие интервалы. Временной ряд ВВП разделен на

экономически значимые подпериоды, для каждого из которых в зависимости от количества наблюдений строятся адаптивные трехпараметрические (3PL) или четырехпараметрические (4PL) логистические модели. На основе полученных моделей определяется центральная траектория, а неопределенность и остаточные значения описываются в логарифмическом пространстве. Для оценки неопределенности применяется вероятностный подход и формируются нечеткие интервалы, обеспечивающие охват на заданном уровне доверия. Каждая точка времени представляется в виде треугольного нечеткого числа (TFN), которое далее агрегируется на уровне сегмента. *Результаты и выводы.* Результаты, полученные для всех сегментов, объединяются с использованием подхода, взвешенного по длине сегмента, для формирования глобального треугольного нечеткого числа. Его центроид обеспечивает долгосрочную интегральную оценку ВВП в условиях неопределенности. Полученные результаты показывают, что предложенный подход эффективно характеризует структурные разрывы, нелинейные траектории развития и распространение неопределенности в макроэкономических временных рядах. Гибридная методологическая структура может быть интегрирована в качестве отдельного модуля интеллектуальных информационных систем и масштабирована на другие экономические и аналитические платформы. Предложенная модель является перспективным инструментом для экономического анализа, прогнозирования и управления цифровой экономикой.

Ключевые слова: моделирование ВВП, кусочно-логистическая регрессия, нечеткие числа, вероятностная неопределенность, экономика Казахстана, интеллектуальные системы, макроэкономические временные ряды

Кіріспе. Қазіргі таңда макроэкономикалық жүйелердің даму мен өсу динамикасын зерттеу барысында бейсызық модельдер мен гибридік аналитикалық тәсілдер өте кеңінен қолданылуда. Әсіресе жалпы ішкі өнім (ЖІӨ) сияқты интегралды көрсеткіштер экономикалық өсудің күрделі, кезеңдік және құрылымдық өзгерістерге тәуелді сипатын нақты көрсетеді. Осыған байланысты экономикалық өсуді сипаттауда бөліктік логистикалық өсу модельдері, уақыт қатарларын болжаудың бұлдыр әдістері және нақты деректерге негізделген гибридік тәсілдер маңызды орын алады (Kwasnicki, 2013; Jayathilaka et al., 2022; Chakamera & Pisa, 2021; Saidi et al., 2020; Oancea et al., 2021; Rogachev et al., 2023; Elbatal et al., 2025).

Әдеби шолу. Логистикалық өсу модельдері экономикалық жүйелердің шектеулі ресурстар жағдайындағы эволюциясын нақты сипаттауда тиімді құрал ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, соңғы зерттеулерде ұлттық экономикалық көрсеткіштерді болжауда классикалық статистикалық әдістермен қатар бұлдыр логикаға негізделген модельдер де өте кеңінен қолданылып келеді, себебі олар белгісіздік пен толық емес ақпарат

жағдайында сенімді әрі нақты нәтижелер береді (Oancea et al., 2021; Rogachev et al., 2023). Сонымен бірге экономикалық өсім, логистика және макроэкономикалық көрсеткіштер арасындағы өзара байланыстарды зерттеу экономикалық жүйелердің күрделі табиғатын көрсетеді (Jayathilaka et al., 2022; Saidi et al., 2020).

Дегенмен, көптеген зерттеулерде уақыт қатарлары біртекті деп қарастырылып, құрылымдық үзілістер мен кезеңдік өзгерістер жеткілікті деңгейде ескерілмейді. Бұл өз кезегінде модельдердің дәлдігіне әсер етеді. Осыған байланысты кезеңдік (piecewise) модельдеу және әрбір кезең үшін жеке бейсызық модельдерді қолдану қажеттілігі туындайды. Сонымен қатар, экономикалық деректердегі анықталмағандық пен белгісіздікті сипаттау үшін мүмкіндіктік (possibilistic) және бұлдыр тәсілдерді енгізу өзекті ғылыми мәселе болып табылады (Rogachev et al., 2023; Elbatal et al., 2025).

Осы ғылыми зерттеуде Қазақстан Республикасының ЖІӨ динамикасын талдау үшін кезеңдік логистикалық модельдеу мен бұлдыр интервалдарды біріктіретін интеллектуалды модуль ұсынылады. Ұсынылған тәсіл экономикалық өсудің бейсызық табиғатын, кезеңдік құрылымын және анықталмағандық пен белгісіздік факторларын бір мезгілде ескеруге мүмкіндік береді.

Осылайша, дәстүрлі регрессиялық модельдер мұндай күрделі динамиканы жеткілікті деңгейде сипаттай алмайды. Осыған байланысты соңғы жылдары:

- логистикалық және сигмоидальдық өсу модельдері;
- бұлдыр (fuzzy) және мүмкіндіктік (possibilistic) тәсілдер;
- кезеңдік (piecewise) модельдеу

сияқты әдістер белсенді қолданылуда.

Бұл ғылыми жұмыстың мақсаты – Қазақстанның 1990–2024 жылдар аралығындағы ЖІӨ деректерін кезеңдерге бөліп, әр кезеңге логистикалық модельдер қолдану және нәтижелерді мүмкіндіктік бұлдыр интервалдар мен үшбұрышты бұлдыр сандар (ҮБС) арқылы біріктіріп талдау.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде Қазақстан Республикасының 1990–2024 жылдар аралығындағы жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) жылдық уақыт қатары пайдаланылды. Деректер Дүниежүзілік банк (World Bank) ашық статистикалық базасынан алынған және әрі қарай кезеңдік логистикалық модельдеу мен бұлдыр интервалдарды құру үшін өңделді.

Деректер және кезеңдеу. Бұл зерттеуде Қазақстан Республикасының ағымдағы АҚШ долларымен есептелген ЖІӨ деректері (1990–2024 жж.) пайдаланылды. Уақыт қатары экономикалық тұрғыдан мағыналы сегменттерге бөлінді. Кезеңдеу процедурасы екі еселену қағидасына негізделді, яғни әрбір сегмент ЖІӨ мәні бастапқы деңгейінен шамамен екі есеге артқан алғашқы уақыт нүктесімен аяқталды. Мұндай тәсіл экономикалық өсудің қарқындылығы мен құрылымдық өзгерістерін табиғи түрде айқындауға мүмкіндік береді.

Аталған критерийге сәйкес уақыт қатары келесі кезеңдерге бөлінді:

– 1990–2005: өтпелі кезең және экономикалық құлдыраудан кейінгі баяу қалпына келу;

– 2006–2011: мұнай бағасының өсуімен байланысты жедел экономикалық кеңею;

– 2012–2024: салыстырмалы тұрақты, бірақ сыртқы факторларға сезімтал өсу кезеңі.

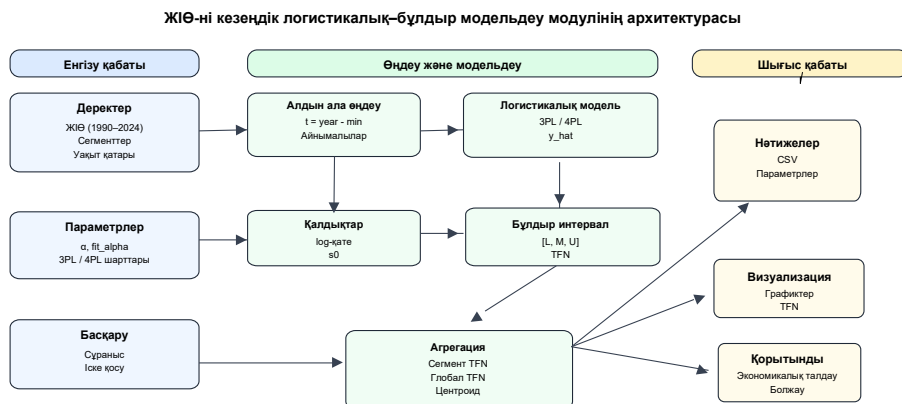
Екі еселену шегіне негізделген кезеңдеу әдісі әрбір сегменттің ішкі экономикалық біртектілігін қамтамасыз етеді және логистикалық модель параметрлерін сенімді бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл тәсіл уақыт қатарындағы құрылымдық үзілістерді формалды түрде анықтауға және әрбір кезеңді дербес экономикалық режим ретінде қарастыруға жағдай жасайды. Әрбір анықталған сегмент үшін жеке логистикалық модель сәйкестендіріліп, кейінгі талдау үшін қолданылды.

Ұсынылған әдіснама классикалық бұлдыр регрессия (fuzzy regression) және ықтималды регрессия (possibilistic regression) теорияларына негізделген және оларды кезеңдік логистикалық модельдеумен біріктіреді. Бұл тәсілдің теориялық негізі алғаш рет бұлдыр регрессия моделін ұсынған Tanaka және оның әріптестерінің еңбектеріне барып тіреледі, онда модель параметрлері бұлдыр сандар ретінде қарастырылады (Tanaka et al., 1982). Кейін бұл тәсіл possibilistic regression бағытында дамытылып, белгісіздік ықтималдық емес, мүмкіндіктік сипатта қарастырылды (Tanaka & Hayashi, 1989).

Осы жұмыста аталған теориялар кезеңдік (piecewise) регрессиямен біріктірілді. Мұндай тәсіл уақыт қатарындағы құрылымдық өзгерістерді автоматты түрде немесе алдын ала анықталған сегменттер арқылы есепке алуға мүмкіндік береді. Бұл бағыттағы маңызды зерттеулердің бірі ретінде бұлдыр кезеңдік регрессия (fuzzy piecewise regression) моделін ұсынған Yu және оның әріптестерінің жұмысы қарастырылады (Yu et al., 2001).

Ұсынылған модульде әрбір сегмент үшін логистикалық өсу моделі сәйкестендіріліп, кейін логарифмдік қалдықтар негізінде мүмкіндіктік интервалдар құрылады. Әрбір уақыт нүктесі үшбұрышты бұлдыр сан ретінде ұсынылып, сегменттік және глобалдық деңгейде агрегатталады. Бұл тәсіл уақыт қатарын тек нүктелік бағалау арқылы емес, белгісіздік интервалымен бірге сипаттауға мүмкіндік береді.

Осы әдіс интеллектуалды жүйе құрамындағы модуль ретінде жүзеге асырылады және макроэкономикалық уақыт қатарларын бейсызық және белгісіздік жағдайында талдауға бағытталған. Модульдің жұмыс логикасы үш негізгі кезеңнен тұрады: деректерді енгізу, өңдеу және нәтижелерді шығару (Сурет 1).



Сурет 1 – Қазақстанның ЖІӨ динамикасын бөліктік логистикалық және ықтималдық тұрғыдан бұлдыр модельдеуге арналған интеллектуалды жүйе модулінің архитектурасы (1990–2024)

Енгізілетін мәліметтер қабаты. Жүйенің бірінші қабаты бастапқы деректер мен модель параметрлерін қабылдауға арналған. Бұл қабатқа келесі ақпараттар енгізіледі:

- Макроэкономикалық уақыт қатары: 1990–2024 жылдар аралығындағы Қазақстанның ЖІӨ мәндері (ағымдағы АҚШ долларымен);
- Сегментация құрылымы: уақыт қатары алдын ала экономикалық интерпретацияға сәйкес бірнеше кезендерге бөлінеді;
- Модель параметрлері:
 - α – бұлдыр интервал деңгейі;
 - fit_alpha – қамту деңгейін анықтайтын параметр;
- Жүйелік басқару сигналдары: қолданушының сұранысы немесе аналитикалық сценарий.

Бұл қабат интеллектуалды жүйенің сыртқы интерфейсмен байланысып, есептеу процесінің бастапқы шарттарын анықтайды.

Өндеу және модельдеу қабаты. Екінші қабат жүйенің негізгі есептеу ядросы болып табылады және бірнеше өзара байланысты модульдерден тұрады:

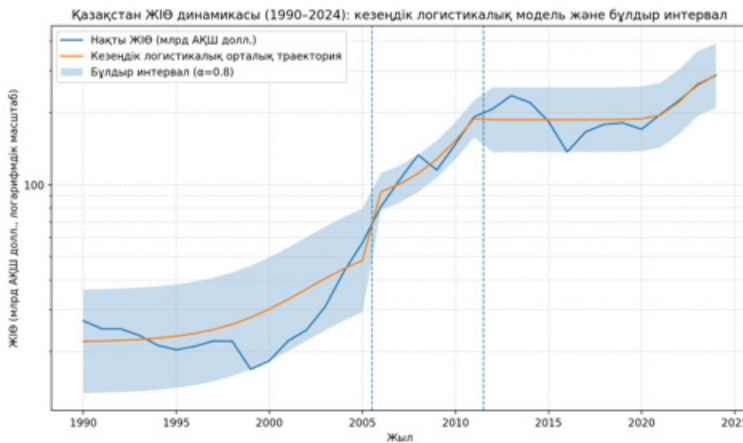
- (a) Деректерді алдын ала дайындау;
- (b) Кезеңдік логистикалық сәйкестендіру;
- (c) Қалдықтарды және белгісіздікті бағалау;
- (d) Бұлдыр интервал және үшбұрышты бұлдыр сандар (ҮБС);
- (e) Агрегация және интегралды бағалау;
- (f) Итерациялық тексеру механизмі.

Шығыс және қорытынды нәтижелер қабаты. Соңғы қабатта есептеу нәтижелері бірнеше форматта ұсынылады:

- (a) Құрылымдалған деректер;
- (b) Параметрлік бағалар;

(с) Визуализация.

Нәтижелер. Ұсынылған кезеңдік логистикалық-бұлдыр модель нәтижелері Қазақстан Республикасының 1990–2024 жылдар аралығындағы жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) динамикасын кешенді түрде сипаттауға мүмкіндік берді. Нәтижелердің негізгі көрінісі Сурет 2–те ұсынылған, онда ЖІӨ-нің нақты мәндері, кезеңдік логистикалық модель арқылы алынған орталық траектория және оған сәйкес бұлдыр интервал көрсетілген.



Сурет 2 – Қазақстан Республикасының ЖІӨ динамикасы (1990–2024): кезеңдік логистикалық модель және мүмкіндіктік бұлдыр интервал

2–суретте 1990–2024 жылдардағы Қазақстанның ЖІӨ динамикасы бөліктік логистикалық көрініспен және логарифмдік доменде салынған ықтималдық дәлізбен бірге көрсетілген. Негізгі әдіснамалық қадам – экономикалық тұрғыдан түсіндірілетін ережені қолдана отырып, өсу режимдерін (сегменттерін) анықтау: режим ЖІӨ деңгейі s жылынан басталып, бірінші жылы Y_s жылы аяқталады, осылайша $Y_t \geq 2Y_s$. Бұл екі еселенген шекті сегменттеу үш кезеңді береді:

– 1–кезең (1990–2005): алғашқы екі еселену тек 2005 жылы ғана болады, бұл екі еселенудің ұзаққа созылуын (15 жыл) білдіреді.

– 2–кезең (2006–2011): екінші екі еселенуге 2011 жылға қарай (5 жыл) қол жеткізіледі, бұл жылдам кеңею циклін көрсетеді.

– 3–кезең (2012–2024): екі еселену шартына 2024 жылға дейін қол жеткізілмейді, бұл жоғары деңгейлі, бірақ баяу және тұрақсыз режимді көрсетеді.

Бұл сегменттеу тек статистикалық ғана емес, сонымен қатар экономикалық тұрғыдан да маңызды: ол әрбір режимді екі еселік масштабты өсуге жету үшін қажетті уақытпен байланыстырады, осылайша кеңею жылдамдығын байқалатын құрылымдық ерекшелік ретінде қорытындылайды. Маңыздысы, бірінші және үшінші кезеңдер макроэкономикалық турбуленттілік

кезеңдеріне ие, ал екінші кезең салыстырмалы түрде тұрақты жоғары өсу аралығын көрсетеді.

ЖІӨ траекторияларының бөліктік логистикалық көрінісі. Әрбір анықталған кезеңде ЖІӨ сызықтық емес өсу үлгілерін (S -тәрізді динамика) анықтау үшін логистикалық типтегі траекториямен жуықталады. Әрбір сегменттегі орталық жол төрт параметрлі логистикалық (4PL) арқылы беріледі,

$$\hat{Y}(t) = A + \frac{K - A}{1 + \exp[-r(t - t_0)]}$$

немесе қысқа сегменттер үшін шамадан тыс параметрлеуді болдырмау үшін сегменттің минимумында A бекітілген үш параметрлі логистика (3PL):

$$\hat{Y}(t) = A_{fixed} + \frac{K - A_{fixed}}{1 + \exp[-r(t - t_0)]}$$

мұнда A – төменгі шекара (floor), K – жоғарғы асимптота, r – өсу қарқыны және t_0 – иілу уақыты (inflection time). Бөлшектік (piecewise) тәсіл (Сурет 2) Қазақстанның ЖІӨ эволюциясын бірыңғай тегіс процесс ретінде сипаттауға болмайтынын түсіндіреді: керісінше, ол режимге тән динамиканы әртүрлі «орталықтары» мен қарқындарымен көрсетеді (Кесте 1). Мәндер: ЖІӨ – млрд АҚШ доллары; r – жылдық қарқын; t_0 – календарлық жыл (инфлексия уақыты); көбейткіш m ; $\alpha = 0.5$ деңгейіндегі дәліздің мультипликаторы:

Кесте 1 — Қазақстан ЖІӨ динамикасының кезеңдік логистикалық модель параметрлері және бұлдыр интервал сипаттамалары (1990–2024)

Regime (years)	n (years)	Doubling lag	Logistic spec	A (bn)	K (bn)	r	t_0 (year)	Multiplier m ($\alpha = 0.5$)
R1: 1990–2005	16	15	4PL	21.90	61.20	0.407	2003.26	1.648
R2: 2006–2011	6	5	3PL (A fixed)	81.00 (fixed)	963.13	0.453	2015.34	1.196
R3: 2012–2024	13	≥ 12 (not reached)	4PL	187.53	292.75	1.756	2022.41	1.366

Ескерту: R2 (2006–2011) сегменті қысқа шығын 3PL логистикасы K және t_0 -ды үлгі сыртында “экстраполяциялау” мүмкін; бұл режим үшін ең интерпретацияланатын параметр – r және “band” тарлығы (көбейткіш).

1–режим (1990–2005) өтпелі кезеңге және ерте қалпына келуге сәйкес келеді. ЖІӨ 1990 жылдардың басында төмендеді және 1990 жылдардың аяғында баяу болып қала береді, 1998 жыл шамасында Ресей қаржы дағдарысының аймақтық әсерлеріне сәйкес айқын бұзылулар байқалды. Логистикалық сәйкестік 2005 жылға қарай алғашқы екі еселенумен

аяқталатын тегіс қалпына келу жолын қамтамасыз етеді. Ұзақ екі еселену кешігуі экономиканың өтпелі қысқаруды өтеу және тұрақты номиналды кенеюді орнату үшін он жылдан астам уақыт қажет болғанын көрсетеді.

2–режим (2006–2011) ең жылдам екі еселену кідірісін көрсетеді (5 жыл). Орталық жол 2006 жылғы базалық деңгейден 2011 жылғы деңгейге дейін күрт көтеріледі. Бұл режим 2009 жылы айтарлықтай ауытқуды (әлемдік қаржы дағдарысын) қамтиды, онда байқалған ЖІӨ өсу жолынан төмен түсіп, содан кейін тез қалпына келеді. Режимнің 2011 жылға қарай екі еселенуге қол жеткізуі осы кезеңде жоғары тұрақтылықты және шоктан кейінгі қалпына келтірудің күшті мүмкіндігін көрсетеді.

3–режим (2012–2024) күшті құбылмалылықпен және толық емес екі еселенумен сипатталатын жоғары деңгейлі режимді білдіреді. Байқалған ЖІӨ 2013 жылы шыңына жетеді, 2014–2016 жылдары төмендейді (мұнай бағасының құлдырауы және сыртқы күйзелістер, соның ішінде валюта бағамын түзету), содан кейін біртіндеп қалпына келеді. 2020 жыл шамасында тағы бір үзіліс байқалады (COVID-19 күйзелісі), содан кейін ЖІӨ 2021–2024 жылдары күрт өседі. Жақында болған күрт өсуге қарамастан, 2012 жылғы базалық деңгейден екі еселену шарты 2024 жылға қарай орындалмайды, бұл «жылдам масштабтаудан» «баяулау эпизодтарымен ауытқып отыратын өсуге» ауысуды көрсетеді, бұл кеңею жаһандық жағдайлармен және тауар цикліне тәуелділікпен шектелетін жетілген номиналды деңгейге сәйкес келеді.

Жалпы алғанда, 2–сурет бөліктік (piecewise) логистикалық орталықтың әрбір режимде түсіндірілетін «құрылымдық үрдіс» (structural trend) ретінде әрекет ететінін растайды, ал 1998, 2009, 2014–2016 және 2020 жылдардағы ауытқулар ЖІӨ–ні режим жолынан уақытша ығыстыратын ірі макроэкономикалық күйзелістерге сәйкес келеді.

Логарифмдік домендегі (log domain) мүмкіндікті (possibilistic) айқын емес дәліз. Модельдеу құбырының негізгі үлесі логистикалық орталықтың айналасында мүмкіндікті (possibilistic) айқын емес жолақты құру болып табылады (2–сурет). Ықтималдық (probabilistic) болжамдарды (мысалы, қалыпты қалдықтар немесе тұрақты дисперсия) таңудың орнына, белгісіздік логарифмдік түрлендірілген кеңістіктегі абсолютті ауытқулардан алынған ықтималдық үлестірімі ретінде ұсынылады:

$$z_t = \ln(Y_t), \hat{z}_t = \ln(\hat{Y}_t), e_t = |z_t - \hat{z}_t|.$$

Әрбір режим үшін s_0 масштабтық параметрі таңдалған калибрлеу деңгейінде $\delta = \max_t e_t$: максималды абсолютті логарифмдік қалдық (absolute log-residual) $\alpha_{fit} \in [0,1]$ арқылы калибрленеді:

$$s_0 = \frac{\delta}{1 - \alpha_{fit}}.$$

Содан кейін, берілген α -кесу (α -cut) үшін (2-суретте көрсетілген), логарифмдік кеңістіктегі бұлдыр дәліз келесідей анықталады:

$$|z - \hat{z}| \leq (1 - \alpha)s_0.$$

Бастапқы шкала бойынша қайта оралу мультипликативті белгісіздік дәлізін береді:

$$Y \in [\hat{Y} \exp(-(1 - \alpha)s_0), \hat{Y} \exp((1 - \alpha)s_0)].$$

Бұл форма макроэкономикалық деректер үшін өте қолайлы, себебі күйзелістер көбінесе мультипликативті түрде әрекет етеді (валюта бағамының өзгеруі, сауда шарттарының әсері), ал логарифмдік масштабтағы дәліз абсолютті ауытқуларға емес, салыстырмалы (пайыздық) белгісіздікке сәйкес келеді. Берілген есепті іске асыруда ($\alpha = \alpha_{fit} = 0.5$) дәліз құрылым арқылы бақыланатын мәндерді толық шектеуге қол жеткізеді, яғни барлық бақылаулар тандалған деңгейде бұлдыр диапазонда болады. Экономикалық тұрғыдан алғанда, бұл әрбір режимде сенімді «тұрақты дәлізді» қамтамасыз етеді: логистикалық орталыққа жақын жылдарды трендке жақын (құрылымдық тұрғыдан тұрақты) деп түсіндіруге болады, ал дәліз шекараларына жақындаған жылдар күйзелісті немесе ерекше күйзелістерді көрсетеді (мысалы, 2009, 2015–2016, 2020).

Дәліз ендерін режимдер бойынша салыстыру қосымша түсінік береді: ерте өтпелі режим ең кең салыстырмалы бұлыңғырлықты көрсетеді (терең құрылымдық өзгерістер мен тұрақсыздықты көрсетеді), 2006-2011 жылдардағы кеңею режимі ең тар жолақты тудырады (неғұрлым үйлесімді өсу), ал 2012 жылдан кейінгі режим қайтадан кеңейген белгісіздік көрсетеді (соққыға сезімтал жетілу фазасы). Демек, бұлыңғыр жолақ жай ғана визуализация емес, режимге тәуелді тұрақтылық индикаторы болып табылады.

Бұлыңғыр дәліздерден үшбұрышты бұлыңғыр сандарға дейін: режим деңгейіндегі және жаһандық (global) көрсеткіштер. Салыстырмалы талдау үшін дәлізді іске қосу үшін жыл сайын t үшбұрышты бұлыңғыр санға бейнеленеді:

$$\hat{Y}_t = (L_t, M_t, U_t),$$

мұнда

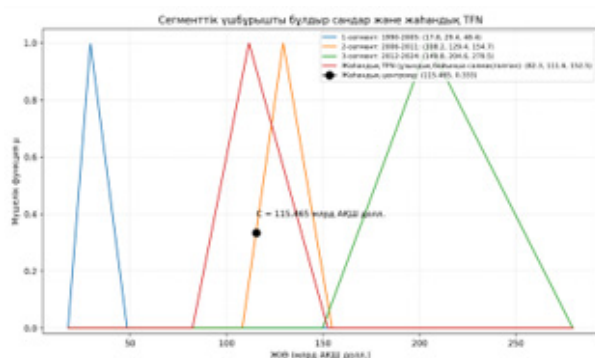
$$M_t = \hat{Y}_t, L_t = \hat{Y}_t \exp(-(1 - \alpha)s_0), U_t = \hat{Y}_t \exp((1 - \alpha)s_0).$$

Осылайша, логистикалық орталық модальды (ең шындыққа жақын) (most plausible) M_t мәніне айналады, ал α -кесілген дәліз шекаралары сол/оң жақ

тіректер (L_t, U_t) болады. 2-суретте әрбір режимдегі жылдық үшбұрыш бұлдыр сандарды орташалау арқылы алынған әрбір режим үшін бір агрегаттық үшбұрыш бұлдыр сандар көрсетілген (жылына тең салмақтар):

$$\tilde{Y}_{reg} = \left(\frac{1}{n} \sum_{t \in reg} L_t, \frac{1}{n} \sum_{t \in reg} M_t, \frac{1}{n} \sum_{t \in reg} U_t \right).$$

Режимнің үшбұрыш бұлдыр сандары (3-сурет) айқын реттілікті көрсетеді: 1-режим ең төменгі модальды деңгейге және ең кең салыстырмалы белгісіздікке ие, 2-режим таралуды тар таралумен жоғары деңгейлерге ауыстырады, ал 3-режим ең жоғары модальды деңгейді, бірақ ең кең абсолютті таралуды береді, бұл номиналды шаманың жоғарылығына және соққыға негізделген дисперсияға сәйкес келеді.



Сурет 3 – Қазақстан ЖІӨ динамикасындағы белгісіздік: мүмкіндіктік бұлдыр интервалдың графикалық көрінісі

Әрі қарай, 1990-2024 жылдар аралығындағы кезеңді қорытындылау үшін жаһандық (global) үшбұрыш бұлдыр саны есептеледі. Екі толықтырушы агрегация қағидаты ақпараттық болып табылады:

1. n_j (әр режим жылдары) режимінің ұзақтығын пайдаланып режимнің үшбұрыш бұлдыр сандарынан құрылған, ұзындығы бойынша үлестірілген (length-weighted) құрылымдық жаһандық (global) үшбұрыш бұлдыр сандар:

$$\tilde{Y}_G^{(len)} = \left(\frac{\sum_j n_j L_j}{\sum_j n_j}, \frac{\sum_j n_j M_j}{\sum_j n_j}, \frac{\sum_j n_j U_j}{\sum_j n_j} \right).$$

2. Үшбұрыш бұлдыр сандар үшбұрышының ауданына пропорционалды салмақтары бар жылдық үшбұрыш бұлдыр сандарынан тікелей құрылған белгісіздікке сезімтал (аудан бойынша салмақталған) (area-weighted) жаһандық (global) ҮБС:

$$w_t = \frac{U_t - L_t}{2}, \tilde{Y}_G^{(area)} = \left(\frac{\sum_t w_t L_t}{\sum_t w_t}, \frac{\sum_t w_t M_t}{\sum_t w_t}, \frac{\sum_t w_t U_t}{\sum_t w_t} \right).$$

3-суретте режимдік ҰБС және ұзындық бойынша өлшенген жаһандық ҰБС көрсетілген.

Үшбұрыш бұлдыр сандар центроиды арқылы тепе-теңдік деңгейі және тұрақты дәліз. Үшбұрыш бұлдыр сандарынан бірыңғай айқын индикатор алу үшін үшбұрышты мүшелік функциясының геометриялық центроидын қолданамыз. $(L, 0)$, $(M, 1)$, $(U, 0)$ төбелері бар кез келген үшбұрыш бұлдыр сандары $\tilde{Y} = (L, M, U)$ үшін оның центроиды:

$$Y^* = \frac{L + M + U}{3}, \mu^* = \frac{1}{3}.$$

3-суретте центроид кара нүкте ретінде көрсетілген. Біз Y^* -ті модельденген режим(дер)ге сәйкес келетін анық емес тепе-теңдік деңгейі (немесе «орталық тұрақты деңгей») ретінде түсіндіреміз, ал $[L, U]$ таңдалған α -деңгейде тұрақты дәлізді қамтамасыз етеді. Бұл жылдарды түсіндірудің жұмыс ережесін береді:

– **Тепе-теңдікке жақын:** Y_t мәні Y^* мәніне жақын (немесе дәлірек айтқанда, M мәніне жақын) болуы режимнің құрылымдық үрдісімен сәйкестікті көрсетеді.

– **Стресс/теңгерімсіздік:** L немесе U маңындағы Y_t экономиканың тұрақты дәліз шекарасында жұмыс істеп тұрғанын көрсетеді, бұл көбінесе ерекше күйзелістерге немесе қызып кету фазаларына байланысты.

– **Дәлізден тыс аномалия:** егер таңдалған α кезінде $Y_t \notin [L, U]$ болса, бұл қолайлы ықтималдық белгісіздік шеңберінен тыс ерекше ауытқуды білдіреді (қазіргі калибрлеуде шеңбер шектеуді қамтамасыз ету үшін таңдалған).

Қазақстан ЖІӨ-нің сегменттік және жаһандық деңгейлер бойынша үшбұрышты бұлдыр сандары және олардың центроидтық бағалары Кесте 2-де ұсынылған.

Кесте 2 — Қазақстан ЖІӨ үшін үшбұрышты бұлдыр сандар және центроид көрсеткіштері, $\alpha = 0.5$

Regime / Global	TFN (L, M, U) in bn current US\$	Centroid Y^* (bn)	Weighting/ aggregation
R1 (1990–2005)	(17.85, 29.40, 48.44)	31.90	Equal-years within regime
R2 (2006–2011)	(108.16, 129.36, 154.71)	130.74	Equal-years within regime
R3 (2012–2024)	(149.75, 204.57, 279.47)	211.26	Equal-years within regime
GLOBAL (length-weighted)	(82.32, 111.60, 152.47)	115.46	Regime length (n_years)
GLOBAL (area-weighted)	(122.34, 165.98, 225.86)	171.39	Yearly TFN area $(U - L)/2$

Ескерту: GLOBAL (length-weighted) – уақыт бойынша “құрылымдық орташа” деңгей; GLOBAL (area-weighted) – белгісіздігі (дәліз ені) үлкен жылдарды көбірек ескеретін “тәуекел-сезімтал” деңгей.

Талқылау. Ұсынылған модельдеу нәтижелері Қазақстан ЖІӨ динамикасының құрылымдық және бейсызық сипатын нақты көрсетеді. Екі еселену шегіне негізделген сегменттеу экономикалық тұрғыдан интерпретацияланатын өсу режимдерін анықтауға мүмкіндік берді: екі еселену уақытының 15 жылдан 5 жылға дейін қысқаруы 2000 жылдардағы жедел өсімді сипаттаса, 2012 жылдан кейін екі еселенудің болмауы баяу және тұрақсыз өсу фазасына өтуді білдіреді. Кезеңдік логистикалық модель әр режим үшін бейсызық өсу траекториясын сипаттап, 1998, 2009, 2014–2016 және 2020 жылдардағы ауытқуларды уақытша сыртқы соққылар ретінде түсіндіреді. Сонымен қатар, логарифмдік кеңістіктегі қалдықтарға негізделген мүмкіндіктік бұлдыр интервал белгісіздікті ықтималдық болжамдарға тәуелсіз түрде сипаттап, оның ені режим тұрақтылығының маңызды көрсеткіші ретінде қарастырылады.

Әрі қарай бұлдыр интервалдарды үшбұрышты бұлдыр сандарға және олардың центроидтарына түрлендіру ЖІӨ-нің интегралды бағаларын алуға мүмкіндік береді. Ұзындық бойынша және аумақ бойынша өлшенген жаһандық үшбұрыш бұлдыр сандардың айырмашылығы «орташа деңгейдің» агрегация тәсіліне тәуелді екенін көрсетеді, яғни құрылымдық және тәуекел-сезімтал бағалаулардың айырмашылығы анықталады. Алынған нәтижелер заманауи зерттеулермен сәйкес келеді: логистикалық модельдер экономикалық динамиканы сипаттауда тиімді (Ray, 2024), ал бұлдыр регрессия белгісіздік жағдайында сенімді бағалаулар береді (Pandelara et al., 2022). Сонымен қатар, экономикалық жүйелердегі бейсызық байланыстар (Li et al., 2021) және fuzzy тәсілдердің шешім қабылдаудағы маңызы (Profiroiu et al., 2025) ұсынылған әдістің қолданбалы құндылығын растайды.

Қорытынды. Бұл жұмыста Қазақстан Республикасының 1990–2024 жылдар аралығындағы ЖІӨ динамикасын талдау үшін кезеңдік логистикалық модельдеу мен мүмкіндіктік бұлдыр интервалдарды біріктіретін жана гибриді тәсіл ұсынылды. Ұсынылған әдіс уақыт қатарын құрылымдық сегменттерге бөліп, әрбір кезең үшін бейімделгіш логистикалық модельдерді қолдану арқылы экономикалық өсудің бейсызық сипатын нақты сипаттауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, екі еселену шегіне негізделген сегменттеу экономикалық даму кезеңдерін анықтауда тиімді құрал болып табылады. Сонымен қатар, логарифмдік қалдықтарға негізделген мүмкіндіктік бұлдыр интервал белгісіздікті сенімді сипаттап, классикалық ықтималдық тәсілдерге балама ретінде ұсынылады. Үшбұрышты бұлдыр сандар мен олардың центроидтарын қолдану ЖІӨ-нің интегралды бағаларын алуға және экономикалық жүйенің ұзақ мерзімді тепе-теңдік деңгейін анықтауға мүмкіндік береді.

Ұсынылған тәсілдің негізгі артықшылығы – құрылымдық үзілістерді, бейсызық өсуді және белгісіздікті бір мезгілде есепке алуында. Бұл оны макроэкономикалық талдау, болжау және шешім қабылдау міндеттерінде

қосымша құрал ретінде қолдануға үлкен мүмкіндік береді. Болашақ зерттеулерде ұсынылған модельді салалық деңгейде кеңейту, сондай-ақ жасанды интеллект әдістерімен біріктіру оның қолданбалы мүмкіндіктерін одан әрі арттыра алады.

References

- Kwasnicki W. (2013) Logistic growth of the global economy and competitiveness of nations. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(1). — P. 50–76 pp. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.07.007>. (in Eng.)
- Jayathilaka R., Jayawardhana C., Embogama N., Jayasooriya S., Karunarathna N., Gamage T., & Kuruppu N. (2022) Gross domestic product and logistics performance index drive the world trade: A study based on all continents. *PLOS ONE*, 17(3), e0264474 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264474>. (in Eng.)
- Chakamera C., & Pisa N.M. (2021) Associations Between Logistics and Economic Growth in Africa. *South African Journal of Economics*, 89(3). — P. 417–438 pp. <https://doi.org/10.1111/saje.12272>. (in Eng.)
- Saidi S., Mani V., Mefteh H., Shahbaz M., & Akhtar P. (2020) Dynamic linkages between transport, logistics, foreign direct investment, and economic growth: Empirical evidence from developing countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141. — P. 277–293 pp. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.020>. (in Eng.)
- Oancea B., Pospíšil R., Jula M.N., & Imbrișcă C.-I. (2021) Experiments with Fuzzy Methods for Forecasting Time Series as Alternatives to Classical Methods. *Mathematics*, 9(19), 2517 p. <https://doi.org/10.3390/math9192517>. (in Eng.)
- Rogachev A.F., Simonov A.B., Ketko N.V., & Skiter N.N. (2023) Fuzzy Algorithmic Modeling of Economics and Innovation Process Dynamics Based on Preliminary Component Allocation by Singular Spectrum Analysis Method. *Algorithms*, 16(1). — 39 p. <https://doi.org/10.3390/a16010039>. (in Eng.)
- Elbatal I., Sarwar M., Jamal F., Daniyal M., Hussain Z., & Ben Ghorbal A. (2025) Modelling on gross domestic product annual growth rate data by using time series, machine learning, and probability models. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 18(2), 101481 p. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2025.101481>. (in Eng.)
- Tanaka H., Uejima S., & Asai K. (1982) Linear Regression Analysis with Fuzzy Model. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 12. — P. 903–907 pp. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1982.4308925>. (in Eng.)
- Tanaka H., & Hayashi I. (1989) Possibilistic Linear Regression Analysis for Fuzzy Data. *European Journal of Operational Research*, 40, 389–396 pp. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90431-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90431-1). (in Eng.)
- Yu J.R., Tzeng G.-H., & Li H.-L. (2001) General fuzzy piecewise regression analysis with automatic change-point detection. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(2). — P. 247–257 pp. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00384-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00384-4). (in Eng.)
- Li X., Chen F., & Wang W. (2021) Impact of Logistics Development on Economic Growth: An Empirical Research from Guangdong Province in China. *Complexity*, 2021. — 9950935 p. <https://doi.org/10.1155/2021/9950935>. (in Eng.)
- Pandelara D., Kristjanpoller W., Michell K., & Minutolo M.C. (2022) A fuzzy regression causality approach to analyze relationship between electrical consumption and GDP. *Energy*, 239(Part E). — 122459 p. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122459>. (in Eng.)
- Profiroiu C.M., Profiroiu A.G., Constantin D.-L., Nica I., Delcea C., & Brișcariu M.R. (2025) Assessing regional economic performance: Fuzzy multi-criteria decision making and panel regression approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 100. — 102245 p. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2025.102245>. (in Eng.)
- Ray A.K. (2024) Logistic Forecasting of GDP Competitiveness. *Global Economy Journal*, 24(01n04). — 2450008 p. <https://doi.org/10.1142/S2194565924500088>. (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.