MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

KAZAKHSTAN

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

INTERNATIONAL UNIVERSITY SINCE 2009

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Published since 2020.
Volume 7. 3 (27). 2026
July–September

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 3 (27). 2026
Шілде-Қыркүйек

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Издается с 2020 г.
Том 7. 3 (27). 2026
Июль-Сентябрь

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

EDITOR-IN-CHIEF:
Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:
Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD:
Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)
Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)
Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)
Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)
Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)
Bolatbek Rysbaiuly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)
Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)
Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)
Bakhtgerei Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)
Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)
Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)
Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)
Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)
Damilya Yeskendirova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)
Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)
Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)
Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)
Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)
Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)
Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)
Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)
Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)
Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)
Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)
Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association “UKRNET,” Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)
Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

MANAGING EDITOR
Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

International Journal of Information and Communication Technologies
Periodicity: 4 times a year.
Languages: Kazakh, Russian, English
DOI prefix: 10.54309
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".
Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0
Journal website: https://journal.iitu.edu.kz
Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).
Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Лучио Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайулы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнеса медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Дамеля Максутовна Ескендирова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Тынымбаев Сахибай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Тадеуш Валлас – PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белощицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Префикс DOI: 10.54309
Мерзімділігі: жылына 4 рет.
Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.
Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".
Журнал сайты: https://journal.iitu.edu.kz
Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады
Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).
Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайулы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамеля Максутовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникаций и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай – PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахибай – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Тадеуш Валлас – PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белощицкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Префикс DOI: 10.54309
Периодичность: 4 выпусков в год.
Язык издания: казахский, русский, английский.
Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социо-экономических систем".
Сайт журнала: https://journal.iitu.edu.kz
Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0
Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).
Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

A Adalbek, S.Ye. Kerimkhulle, K.D. Kuliev, O. Mekesh, Zh.Zh. Khamitova
DEVELOPMENT OF RESULT-ORIENTED DATA SMOOTHING MODELS AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTIVENESS 11
A.T. Iskakova, G.E. Kurmankulova, K. Gromaszek, K.O. Togzhanova, R.S. Algozhayeva
APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING FOR PREDICTIVE PLANNING AND RESOURCE EFFICIENCY IN PRODUCTION SYSTEMS 30
A.B. Kassymova, R.K. Uskenbayeva, Zh.A. Sydykov, D. Omirzak, S. Kalibekov
ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT CHATBOT FOR SMART CITY: AI-BASED RECEIVING, ANALYSIS AND ROUTING OF CITIZEN REQUESTS 46
O.M. Olzhayev, B.S. Omarov, A. Suliman
YOLO-CBAM: A LIGHTWEIGHT NEURAL NETWORK MODEL WITH INTEGRATED ATTENTION MECHANISM FOR ROAD DAMAGE ANALYSIS 66
K. Yermagambetova, A. Sarsekeyeva, Y. Akhlassov
OVERCOMING FRAGMENTATION IN THE CLASSIFICATION OF DIGITAL CULTURAL HERITAGE: AN INTEGRATIVE MULTIDIMENSIONAL MODEL 78

INFORMATION TECHNOLOGY

D. Abzhanova, S. Sharipova
ARCHITECTURE AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF A DIGITAL PLATFORM FOR MONITORING AND DATA EXCHANGE ON TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES IN THE ZHAMBYL REGION 101
A. Aitanuly, O.A. Ussatova
ENHANCING TWO-FACTOR AUTHENTICATION FOR CLOUD HEALTHCARE SECURITY: THE ROLE OF DEEP LEARNING 122
O. Alseitov, O. Kuchanskyi
PHYSICS-INFORMED HYBRID LEARNING FOR HOURLY POWER-PLANT EMISSIONS: A MULTI-POLLUTANT BENCHMARK WITH UNCERTAINTY AND TRANSFER 141
A.M. Akhmetova, D.O. Baizhanova, Zh.N. Alisheva, B.A. Shaimov
ADAPTIVE OUTPUT ROUTER FOR NATURAL LANGUAGE MODELS CONSIDERING KEY PERFORMANCE INDICATORS 160
A.K. Aitim
AUTOMATIC AND SEMI-AUTOMATIC ANNOTATION OF KAZAKH TEXT CORPORA 180
Z.E. Balabayev, S.V. Biloshchytska
HANDWRITTEN TEXT RECOGNITION FOR CHAGATAI MANUSCRIPTS: COMPARING CRNN TRAINING FROM SCRATCH AND TRANSFORMER-BASED TRANSFER LEARNING 198
D.B. Baumuratova, T.K. Zhukabayeva, K.A. Abdrakhmanov, Z. Ahmad, A.A. Seitov
A NEURO-DIGITAL LEARNING MODEL FOR AI DRIVEN DIGITAL TRANSFORMATION IN HIGHER EDUCATION 219
T. Daoyun, G.A. Amirkhanova, Fu Yanwei, Y. Faruzkyzy
MULTIMODAL SEMANTIC MANIPULATION IN FAKE VIDEOS AND ITS INFLUENCE MECHANISM ON USERS' PERCEIVED TRUST 241
Zh. Doumchariyev, J. Tussupov, A. Akynbekova, M. Khassanova, M. Kassim
ENSEMBLE AND HYBRID LEARNING FOR DIGITAL TWIN MILK CLASSIFICATION 258
K.Z. Igibayev, A.Kh. Kozbakova, O. Auelbekov , T. Merembayev, K. Yessentayev
STUDY OF A DYNAMIC MIXING DEVICE IN A BIOREACTOR USING IOT TECHNOLOGIES 279
A.N. Ismukanova, G. Kochshanova, D.V. Pleskachev, Zh. Sarsenbayeva, P. Schmidt
AUTOMATED CLASSIFICATION OF SCIENTIFIC DATA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRANSFORMER ARCHITECTURES AND HYBRID APPROACHES 306
T. Zh. Kamalov, Ali Abd. Almisreb, Mohammed A. Saleh
INVESTIGATION OF HYBRID QUANTUM-CLASSICAL ALGORITHMS FOR MACHINE LEARNING 323
B. Karimkyzy, K.G. Karasenko, N.A. Alisherov, N.M. Muratbek, A. Karim

KEY PUBLICATIONS OF 2021–2025 ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE MANUFACTURING AND DIAGNOSTICS OF MEDICAL DEVICES FOR GLYCEMIC MONITORING: A THEMATIC ANALYTICAL REVIEW 338
S.K. Kumyzbaeva, K.E. Baglanbaev, K.S. Sarkyt, M.Zh. Konyrova
THREE-PHASE TRAINING OF INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT FOR A HYBRID ENERGY SYSTEM WITH A CLIMATE-AWARE STATE REPRESENTATION 357
N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, E. Benkhelif, B. Tassuov
RESEARCH ON THE ROBUSTNESS OF ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS TO ADVERSARIAL ATTACKS IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS FOR IOT NETWORKS 369
M. Nurtas, G. Kapyshev
A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE PREPROCESSING AND INTEGRATION OF GEOSPATIAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR MINERAL PROSPECTIVITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING 392
A. Neftissov, A. Biloshchytskyi, I. Kazambayev, A. Medetkhan, L. Kirichenko
ENERGY EFFICIENT MICROCLIMATE STABILIZATION FOR SEALED ARCHIVAL STORAGE ENCLOSURES 405
A.Zh. Omurtayeva, U.T. Makhazhanova, A.K. Adilova, Sh.K. Yelezhanova, J. Kultan
AN ADAPTIVE NEURAL-FUZZY MODEL FOR ASSESSING INVESTMENT RISKS IN THE AGRI-INDUSTRIAL COMPLEX: ODERNISATION OF THE DECISION-SUPPORT ARCHITECTURE THROUGH THE INTEGRATION OF MACHINE LEARNING 421
N. Shazhdekeyeva, A. Mukhanbetkaliyeva, A. Abdigaliyeva, A. Zhanekeshova, L. Nurgaliyeva
COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF COLLABORATIVE FILTERING IN THE DEVELOPMENT OF A MOVIE RECOMMENDER SYSTEM 445
S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, M. Rakhmetov
AN INTELLIGENT PIPELINE DEFECT DETECTION SYSTEM USING AN IN-PIPE ROBOT 461

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

S.Z. Daruish, A.U. Utegenova, A.U. Kalizhanova, Zh.Zh. Zhumabekova
MACHINE LEARNING FOR POLLUTION CLASSIFICATION IN ROCKET BOOSTER IMPACT AREAS 480
S.N. Issabayeva, A.K. Rysbayeva, Zh.B. Ibrayeva, N.R. Mussabekov, N.Sh. Akimzhan
MACHINE LEARNING-BASED CYBERATTACK DETECTION IN OT-NETWORKS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF NETWORK ANOMALY CLASSIFICATION METHODS 495
G. Shangytbayeva, A.N. Amanov, M.K. Issenova, G.E. Berikkhanova, K.O. Shakerkhan
INFORMATION SECURITY IN GOVERNMENT CLOUD SERVICES: RISK ASSESSMENT AND PROTECTION STRATEGIES 512
Ye. N. Tursynbek, N. Albanbay, D. Djenouri
OPTIMISATION OF COMMUNICATION COSTS IN TWO-TIER FEDERATED LEARNING FOR CYBERATTACK DETECTION IN IOT NETWORKS 529
A. Tastemirov, S.B. Mukhanov, S.T. Amanzholova, B. Aldosh
A COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR ACTIVE DIRECTORY THREAT DETECTION: FEATURE-LEAKAGE CONTROL AND CROSS-SCENARIO VALIDATION ON WINDOWS SECURITY EVENT LOGS 545

МАЗМҰНЫ
ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

А Адалбек, С.Е. Керімқұл, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова
ДЕРЕКТЕРДІҢ НӘТИЖЕ БАҒДАРЛАНҒАН ТЕГІСТЕУ МОДЕЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ 11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, Конрад Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева
ӨНДІРІС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ БОЛЖАМДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ 30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А. Сыдыков, Д. Өмірзақ, С. Калибеков
SMART CITY ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЧАТ-БОТ АРХИТЕКТУРАСЫ: АЗАМАТТАРДЫҢ

ӨТІНІШТЕРІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҚАБЫЛДАУ, ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒЫТТАУ 46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman
YOLO-CBAM: ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЗЕЙІН МЕХАНИЗМІ БАР ЖЕҢІЛ САЛМАҚТЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІ 66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов
ЦИФРЛЫҚ МӘДЕНИ МҰРАНЫ ЖІКТЕУДЕГІ ФРАГМЕНТАЦИЯНЫ ЕҢСЕРУ: ИНТЕГРАТИВТІ КӨПӨЛШЕМДІ МОДЕЛЬ 78

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова
ЖАМБЫЛ ӨҢІРІНІҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕР АЛМАСУҒА АРНАЛҒАН ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАНЫҢ АРХИТЕКТУРАСЫ МЕН ПРАКТИКАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ 101
А.Айтанұлы, О.А. Усатова
БҰЛТТЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ ЕКІ ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯНЫ ЖАҚСАРТУ: ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ 122
О. Альсеитов, О. Кучанский
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ САҒАТТЫҚ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ФИЗИКАЛЫҚ ЗАҢДЫЛЫҚТАРДЫ ЕСКЕРЕТІН ГИБРИДТІ ОҚЫТУ: БЕЛГІСІЗДІК ПЕН ТАСЫМАЛДАУДЫ ЕСКЕРЕТІН КӨПЛАСТАУЫШТЫ БЕНЧМАРК 141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов
КРІ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАБИҒИ ТІЛ МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ШЫҒЫС МАРШРУТТАУЫНЫҢ АДАПТИВТІ ЖҮЙЕСІ 160
Ә.Қ. Әйтім
ҚАЗАҚ МӘТІНДІК КОРПУСТАРЫН АВТОМАТТЫ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ АВТОМАТТЫ АННОТАЦИЯЛАУ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
ШАҒАТАЙ ҚОЛЖАЗБАЛАРЫНЫҢ МӘТІНІН ТАНУ: CRNN-ДІ НӨЛДЕН БАСТАП ОҚЫТУ МЕН ТРАНСФОРМЕР НЕГІЗІНДЕГІ ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ 198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов
ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ AI НЕГІЗДЕЛГЕН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯҒА АРНАЛҒАН НЕЙРО-ЦИФРЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛІ 219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузқызы
ФЕЙК ВИДЕОЛАРДАҒЫ МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ МАНИПУЛЯЦИЯНЫҢ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫҢ ҚАБЫЛДАЙТЫН СЕНІМІНЕ ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМІ 241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим
ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕГІ СҮТ САПАСЫН АНСАМБЛЬДІК ЖӘНЕ ГИБРИДТІ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ЖІКТЕУ 258
Қ.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Әуелбеков, Т. Мерембаев, Қ. Есентаев
БИОРЕАКТОРДА IoT ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ДИНАМИКАЛЫҚ АРАЛАСТЫРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ 279
А.Н. Исмуканова, Г.Кощанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҒЫЛЫМИ ДЕРЕКТЕРДІ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ ЖІКТЕУ: ТРАНСФОРМЕР АРХИТЕКТУРАЛАРЫ МЕН ГИБРИДТІ ТӘСІЛДЕРДІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ 306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ КВАНТТЫҚ-КЛАССИКАЛЫҚ АЛГОРИТМДЕРІН ЗЕРТТЕУ 323
Б. Кәрімқызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Әлішеров, Н.М. Мұратбек, А. Кәрім
2021–2025 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ГЛИКЕМИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГКЕ АРНАЛҒАН МЕДИЦИНАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ӨНДІРУ ЖӘНЕ ДИАГНОСТИКАЛАУДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІ БОЙЫНША НЕГІЗГІ ЖАРИЯЛАНЫМДАР 338
С. К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Саркыт, М. Конырова
КҮЙ-ЖАЙДЫ КЛИМАТҚА СЕЗІМТАЛ ҰСЫНУМЕН ГИБРИДТІ ЭНЕРГОЖҮЙЕНІҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТІН ҮШФАЗАЛЫ ОҚЫТУ 357
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов

IOT-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ БАСЫП КІРУДІ АНЫҚТАУЖҮЙЕЛЕРІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ АНСАМБЛЬДІ КҮЛГІЛЕРІНІҢ БӘСЕКЕЛЕС ШАБУЫЛДАРҒА ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ 369
М. Нұртас, Ғ. Капышев
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫЛЫҒЫН БОЛЖАУ ҮШІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ АЛДЫН АЛА ӨҢДЕУ ЖӘНЕ БІРІКТІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ 392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко
ГЕРМЕТИКАЛЫҚ АРХИВТІК САҚТАУ ҚАПТАМАЛАРЫНДА МИКРОКЛИМАТТЫ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ТҰРАҚТАНДЫРУ 405
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я. Култан
АГРОӨНЕРКӘСІПТІК КЕШЕНДЕГІ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН БЕЙІМДЕЛГІШ НЕЙРОНДЫҚ-БҰЛДЫР МОДЕЛЬ: МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ СӘУЛЕТІН ЖАҢҒЫРТУ 421
Н. Шаждекеева, А. Мұханбетқалиева, А. Әбдіғалиева, А. Жанекешова, Л. Нұрғалиева
ФИЛЬМДЕРДІ ҰСЫНУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ КЕЗІНДЕГІ КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ 445
С. Шармұханбет, Г. Тұрмұханова, О. Финдик, В. Махатова, М. Рахметов
ҚҰБЫРІШІЛІК РОБОТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚҰБЫР АҚАУЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІ 461

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова
ЗЫМЫРАН ТАСЫМАЛДАУШЫЛАРДЫҢ ҚҰЛАУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУМЕН ЖІКТЕУ 480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ ОТ-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ: ЖЕЛІЛІК АНОМАЛИЯЛАРДЫ ЖІКТЕУ ӘДІСТЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ 495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан
МЕМЛЕКЕТТІК ОРГАНДАРДЫҢ БҰЛТТЫ СЕРВИСТЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК: ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ СТРАТЕГИЯЛАРЫ 512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури
IOT ЖЕЛІЛЕРІНДЕ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ЕКІ ДЕҢГЕЙЛІ ФЕДЕРАЦИЯЛАНҒАН ОҚЫТУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ШЫҒЫНДАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ 529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов
ACTIVE DIRECTORY ЖҮЙЕСІНДЕ ҚАУІПТЕРДІ АНЫҚТАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ: WINDOWS ҚАУІПСІЗДІК ОҚИҒАЛАРЫ ЖУРНАЛДАРЫНДА БЕЛГІ ЖЫЛЫСТАУЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ КРОСС-СЦЕНАРЛЫҚ ВАЛИДАЦИЯ 545

СОДЕРЖАНИЕ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИСОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А Адалбек, С.Е. Керимкулов, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова
РАЗРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ 11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, К. Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ 30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А.Сыдыков, Д. Омирзак, С. Калибеков
АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТА ДЛЯ SMART CITY: ПРИЁМ, АНАЛИЗ И МАРШРУТИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЙ ГРАЖДАН НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, A.Suliman
YOLO-CBAM: ЛЕГКОВЕСНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОРОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ 66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов
ПРЕОДОЛЕНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ В КЛАССИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ:

ИНТЕГРАТИВНАЯ МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ 78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова
АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ МОНИТОРИНГА И ОБМЕНА ДАННЫМИ О ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСАХ ЖАМБЫЛСКОГО РЕГИОНА 101
А. Айтанулы, О.А. Усатова
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 122
О. Альсеитов, О. Кучанский
ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННОЕ ГИБРИДНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПОЧАСОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ БЕНЧМАРК С ОЦЕНКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ И ПЕРЕНОСИМОСТЬЮ МОДЕЛЕЙ 141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов
АДАПТИВНЫЙ МАРШРУТИЗАТОР ВЫВОДА С УЧЕТОМ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 160
Ә.Қ. Әйтім
АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ КАЗАХСКИХ ТЕКСТОВЫХ КОРПУСОВ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА ШАГАТАЙСКИХ РУКОПИСЕЙ: СРАВНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ CRNN С НУЛЯ И ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ТРАНСФОРМЕРОВ 198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов
НЕЙРО-ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ AI 219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузкызы
МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МАНИПУЛЯЦИИ В ФЕЙКОВЫХ ВИДЕО НА ВОСПРИНИМАЕМОЕ ДОВЕРИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим
КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ АНСАМБЛЕВЫМИ И ГИБРИДНЫМИ МЕТОДАМИ 258
К.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Ауелбеков, Т. Мерембаев, К. Есентаев
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В БИОРЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ IoT 279
А. Н. Исмуканова, Г.Кощанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМЕРНЫХ АРХИТЕКТУР И ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ 306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 323
Б. Каримкызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Алишеров, Н.М. Муратбек, А. Карим
КЛЮЧЕВЫЕ ПУБЛИКАЦИИ 2021–2025 ГОДОВ ПО МЕТОДАМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОИЗВОДСТВЕ И ДИАГНОСТИКЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ГЛИКЕМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 338
С.К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Сарқыт, М.Ж. Конырова
ТРЁХФАЗОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С КЛИМАТО-ОСВЕДОМЛЁННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ 357
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К СОСТЯЗАТЕЛЬНЫМ АТАКАМ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ IOT-СЕТЕЙ 369
М. Нуртас, Г. Капышев
МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕГРАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНО-

СТИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ГЕРМЕТИЧНЫХ АРХИВНЫХ ХРАНИЛИЩАХ 405
А.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я.Култан
АДАПТИВНАЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: МОДЕРНИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 421
Н. Шаждекеева, А. Муханбеткалиева, А. Абдигалиева, А. Жанекешова, Л. Нургалиева
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬМОВ 445
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, М. Рахметов
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРИТРУБНОГО РОБОТА 461

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ 480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан
ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ОТ-СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ 495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ: ОЦЕНКА РИСКОВ И СТРАТЕГИИ ЗАЩИТЫ 512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури
ОПТИМИЗАЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ЗАТРАТ В ДВУХУРОВНЕВОМ ФЕДЕРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕРАТАК В IOT-СЕТЯХ 529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ В ACTIVE DIRECTORY: КОНТРОЛЬ УТЕЧКИ ПРИЗНАКОВ И КРОСС-СЦЕНАРНАЯ ВАЛИДАЦИЯ НА ЖУРНАЛАХ БЕЗОПАСНОСТИ WINDOWS 545

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS
ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИСОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 11–29
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.001

DEVELOPMENT OF RESULT-ORIENTED DATA SMOOTHING MODELS AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTIVENESS

A Adalbek[1]*, S.Ye. Kerimkhulle[1], K.D. Kuliev[2], O. Mekesh[3], Zh.Zh. Khamitova[1]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;
[2]Samarkand State University named after Sh.Rashidov, Samarkand, Uzbekistan;
[3]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan.
E–mail: alibek.adalbek@gmail.com

Alibek Adalbek — PhD candidate of the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
E–mail: alibek.adalbek@gmail.com, https://orcid.org/0000–0001–8543–2192;
Seyit Ye. Kerimkhulle — Professor of the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000–0002–5886–6064;
Komil D. Kuliev — Professor, of the Department «Mathematical physics and functional analysis», Samarkand State University named after Sh.Rashidov, Samarkand, Uzbekistan
https://orcid.org/0000–0002–1111–456X;
Oralbek Mekesh — Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0001-7816-8856;
Zhainagul Zh. Khamitova — PhD candidate of the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0009-0005-3351-7449.

© A. Adalbek, S.Y. Kerimkhulle, K.D. Kuliev, O. Mekesh, Zh.Zh. Khamitova

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Abstract. This study examines four widely used algorithms for smoothing fluctuating data: Simple Exponential Smoothing, Moving Average, Random Walk, and Savitzky–Golay. Their effectiveness was evaluated using root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), and signal-to-noise ratio (SNR). The evaluation was conducted using Kazakhstan's gross domestic product (GDP) data for 1990–2024 obtained from official World Bank sources. The developed software module enables users to smooth time series and discrete measurements using four methods and adjust estimation parameters to identify optimal settings. It also supports data visualization and export in CSV, XLSX, JSON, and PDF formats. The Savitzky–Golay filter achieved the lowest RMSE (5.27) and the highest SNR (28.49 dB). The scientific novelty lies in integrating four smoothing algorithms into a unified web-based architecture with flexible parameter control, support for multiple input formats, and comparative evaluation using RMSE, MAE, MAPE, and SNR. The module can be applied to time-series preprocessing and economic forecasting.

Keywords: time series, Savitzky–Golay, exponential smoothing, Moving Average, GDP, estimation parameters, intelligent systems

For citation: Adalbek A., Kerimkhulle S.Y., Kuliev K.D., Mekesh O., Khamitova Zh.Zh. (2026). Development of result-oriented data smoothing models and analysis of their effectiveness // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 11–29. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.001. (In Kaz.).

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26196337).*

ДЕРЕКТЕРДІҢ НӘТИЖЕ БАҒДАРЛАНҒАН ТЕГІСТЕУ МОДЕЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ

А Адалбек[1]*, С.Е. Керімқұл[1], К.Д. Кулиев[2], О. Мекеш[3], Ж.Ж. Хамитова[1]

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

[2]Ш. Рашидов атындағы Самарқан мемлекеттік университеті, Самарқан, Өзбекстан;

[3]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан.

E–mail: alibek.adalbek@gmail.com

Адалбек Алибек — «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының PhD докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
E–mail: alibek.adalbek@gmail.com, https://orcid.org/0000–0001–8543–2192;

Керімқұл Сейіт Есілбайұлы — «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

https://orcid.org/0000–0002–5886–6064;
Кулиев Комил Данабаевич — «Математикалық физика және функционалдық талдау» кафедрасының профессоры, Ш. Рашидов атындағы Самарқан мемлекеттік университеті, Самарқан, Өзбекстан
https://orcid.org/0000–0002–1111–456X;
Мекеш Оралбек — «Жоғары математика» кафедрасының аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0001-7816-8856;
Хамитова Жайнагуль Жанаткызы — «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының PhD докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
https://orcid.org/0009-0005-3351-7449.

© А. Адалбек, С.Е. Керімқұл, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова

Аннотация. Зерттеуде ауытқымалы деректерді тегістеуге арналған кеңінен қолданылатын төрт алгоритм қарастырылады: қарапайым экспоненциалды тегістеу, жылжымалы орташа, кездейсоқ жүріс және Савицкий–Голей сүзгісі. Әдістердің тиімділігі орташа квадраттық қате (RMSE), орташа абсолюттік қате (MAE), орташа абсолюттік пайыздық қате (MAPE) және сигнал/шу қатынасы (SNR) көрсеткіштері арқылы бағаланды. Бағалау үшін Дүниежүзілік банктің ресми дереккөздерінен алынған Қазақстанның 1990–2024 жылдардағы жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) деректері пайдаланылды. Әзірленген бағдарламалық модуль уақыттық қатарлар мен дискретті өлшемдерді төрт әдіс арқылы тегістеуге және оңтайлы мәндерді анықтау үшін бағалау параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, модуль нәтижелерді визуализациялауды және деректерді CSV, XLSX, JSON және PDF форматтарында экспорттауды қолдайды. Савицкий–Голей сүзгісі орташа квадраттық қатенің ең төменгі мәнін (RMSE = 5,27) және сигнал/шу қатынасының ең жоғары көрсеткішін (SNR = 28,49 дБ) көрсетті. Зерттеудің ғылыми жаңалығы төрт тегістеу алгоритмін параметрлерді икемді реттеуді, әртүрлі кіріс деректер форматтарын қолдауды және RMSE, MAE, MAPE және SNR көрсеткіштері бойынша әдістерді салыстырмалы бағалауды қамтамасыз ететін бірыңғай веб-архитектураға біріктірумен сипатталады. Әзірленген модуль уақыттық қатарларды алдын ала өңдеуде және экономикалық болжау жүйелерінде қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: уақыт қатарлары, Савицки–Голай сүзгісі, қарапайым экспоненциалды тегістеу, жылжымалы орта, ЖІӨ, бағалау параметрлері, интеллектуалды жүйелер

Дәйексөздер үшін: Адалбек А., Керімқұл С.Е., Кулиев К.Д., Мекеш О., Хамитова Ж.Ж. (2026). Деректердің нәтиже бағдарланған тегістеу модельдерін әзірлеу және олардың тиімділігін талдау // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 11–29. https://doi.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

org/10.54309/IJICT.2026.27.3.001. (Қаз. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Алғыс. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (Грант № AP26196337).*

РАЗРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А Адалбек[1]*, С.Е. Керимкулов[1], К.Д. Кулиев[2], О. Мекеш[3], Ж.Ж. Хамитова[1]

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан;

[2]Самаркандский государственный университет им. Ш.Рашидова, Самарканд, Узбекистан;

[3]Казахский агротехнический научно-исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан.

E-mail: alibek.adalbek@gmail.com

Адалбек Алибек — докторант кафедры информационных систем Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан
E-mail: alibek.adalbek@gmail.com, https://orcid.org/0000–0001–8543–2192;

Керимкулов Сейт Есилбаевич — профессор кафедры информационных систем Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан
https://orcid.org/0000–0002–5886–6064;

Кулиев Комил Данабаевич — профессор кафедры «Математическая физика и функциональный анализ», Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова, Самарканд, Узбекистан;

Мекеш Оралбек — старший преподаватель кафедры высшей математики Казахского научно-исследовательского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан
https://orcid.org/0000-0001-7816-8856;

Хамитова Жайнагуль Жанаткызы — докторант кафедры информационных систем Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан
https://orcid.org/0009-0005-3351-7449.

© А. Адалбек, С.Е. Керимкулов, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова

Аннотация. В исследовании рассматриваются четыре широко используемых алгоритма сглаживания флуктуирующих данных: простое экспоненциальное сглаживание, скользящее среднее, случайное блуждание и фильтр

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Савицкого–Голея. Эффективность методов оценивалась с использованием среднеквадратичной ошибки (RMSE), средней абсолютной ошибки (MAE), средней абсолютной процентной ошибки (MAPE) и отношения сигнал/шум (SNR). Для оценки использовались данные о валовом внутреннем продукте (ВВП) Казахстана за 1990–2024 годы, полученные из официальных источников Всемирного банка. Разработанный программный модуль позволяет сглаживать временные ряды и дискретные измерения с помощью четырёх методов, а также настраивать параметры оценки для определения оптимальных значений. Модуль поддерживает визуализацию результатов и экспорт данных в форматах CSV, XLSX, JSON и PDF. Фильтр Савицкого–Голея продемонстрировал наименьшую среднеквадратичную ошибку (RMSE = 5,27) и наибольшее отношение сигнал/шум (SNR = 28,49 дБ). Научная новизна исследования заключается в интеграции четырёх алгоритмов сглаживания в единую веб-архитектуру, обеспечивающую гибкую настройку параметров, поддержку различных форматов входных данных и сравнительную оценку методов по показателям RMSE, MAE, MAPE и SNR. Разработанный модуль может применяться для предварительной обработки временных рядов и в системах экономического прогнозирования.

Для цитирования: Адалбек А., Керимкулов С.Е., Кулиев К.Д., Мекеш О., Хамитова Ж.Ж. (2026). Разработка результативно-ориентированных моделей сглаживания данных и анализ их эффективности // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 11–29. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.001. (На каз.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. *Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26196337).*

Кіріспе.

Ұлттық экономикалық көрсеткіштердің уақыт қатарлары көбіне кездейсоқ тербелістер мен маусымдық ауытқуларға (Savitzky et al., 1964) жиі ие болады. Мұндай деректерді талдау барысында бастапқы деректердің тұрақсыздығы болжам дәлдігіне теріс әсер етеді. Сондықтан да бастапқы деректерге тегістеу әдістерін қолдану ғылыми зерттеу нәтижелерінің сенімділігін барынша арттырады. Соңғы кездері жылжымалы орташа, экспоненциалды тегістеу және Савицки–Голей сияқты тегістеу әдістері статистикалық талдау мен машиналық оқыту жүйелерінде кеңінен қолданыла бастады (Savitzky et al., 1964; Hening et al., 2022).

Дегенмен, қолданыстағы зерттеулер көбіне бір ғана тегістеу тәсілімен (Önder et al., 2013) шектеледі, сонымен осы тәсілдерді салыстырған зерттеулерде бар (Kaneko et al., 2015), бірақ оларда параметрлерін икемді түрде басқару мүмкіндігі аз. Осыған байланысты бұл зерттеу төрт классикалық әдісті біріктіретін, бірнеше деректер форматтарын қолдайтын, параметрлерді автоматты басқаруды, визуализацияны, экспорттау функцияларын және бірыңғай статистикалық баға-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

лауды қамтамасыз ететін бірыңғай тегістеу модулін әзірлеу арқылы үлес қосады (Petropoulos et al., 2022; Önder et al., 2013).

Ғылыми зерттеулерде (Тураров т.б., 2023)қаржылық болжам жасау кезінде уақыт қатарларын тегістеу және трендтерді анықтау үшін жылжымалы орташа сияқты әдістер қолданылады, ал (Адамбекова т.б., 2019) зерттеуде қор индексі деректері де айнымалы және шуылы көп болғандықтан, авторлар орташа мәндер арқылы тегістеу, яғни жылжымалы орта элементтерін қолданады. Сонымен бірге (Утибаев т.б., 2019)зерттеуінде ауылшаруашылық өндірісінің динамикасын зерттеген, яғни маусымдық және жылдық өзгерістерді тегістеу үшін жылжымалы орташа және корреляциялық әдістер пайдаланылған. Демек, бұл мысалдар экономикалық және өндірістік статистикада тегістеу әдістерінің қолданылуын нақтылайды.

Бұл ғылыми зерттеуде ұсынылып отырған модуль – уақыт қатарлары мен дискретті өлшеулерден келетін деректерді бағалау параметрлеріне сай тегістеу әдісін таңдауға арналған бағдарламалық компонент. Модуль қолданушыға төрт тегістеу әдісінің бірін таңдау арқылы деректердегі шу мен кездейсоқ ауытқуларды азайтып, негізгі ақпараттарды жоғалтпай маңызды құрылымды анықтауға және экономикалық болжам жүйелерін оңтайлы жетілдіруде қолдануға мүмкіндік береді. Мақала құрылымы келесідей: 2–бөлімде әдістемелік негіздер, 3–бөлімде эксперименттік нәтижелер мен бағалау нәтижелері берілген, 4–бөлімде қорытынды жасалған.

Әдістер мен материалдар.

Бұл бөлімде қолданушы деректерінің құрылымы мен типіне сәйкес келетін тегістеудің төрт негізгі әдісіне қысқаша теориялық сипаттама берілген, сонымен қатар әдістерді пайдалану қадамдары мен қандай деректерге қолдануға болатыны туралы қысқаша нұсқаулық келтірілген. Енгізілген деректерді тегістеу модулінің архитектурасы 1–суретте сипатталған:

Енді осы архитектураның деректермен жұмыс істеу принциптерін қадам бойынша қарастырайық.

1. Қолданушы деректерді енгізу қабаты (User Input Layer). Бұл қабат қолданушымен жүйе арасындағы интерфейс қызметін атқарады, яғни жүйеге деректерді тізбек түрінде енгізуге болады немесе *.csv, *.xlsx, *.json форматындағы файл ретінде жүктеуге болады. Содан кейін алдын ала көрсетілген форматтарға сәйкестігін тексеру мен валидация жасалады. Енгізілген деректерде мынадай міндетті өрістер болу керек: уақыттық индекс (timestamp немесе integer), өлшеу мәні (float).

Жүйеге енгізілетін деректердің жалпы түрі келесідей:

– *деректер* (data): тізбектелген нүктелер $\{(t_i, x_i)\}_{i=1}^{N}$.

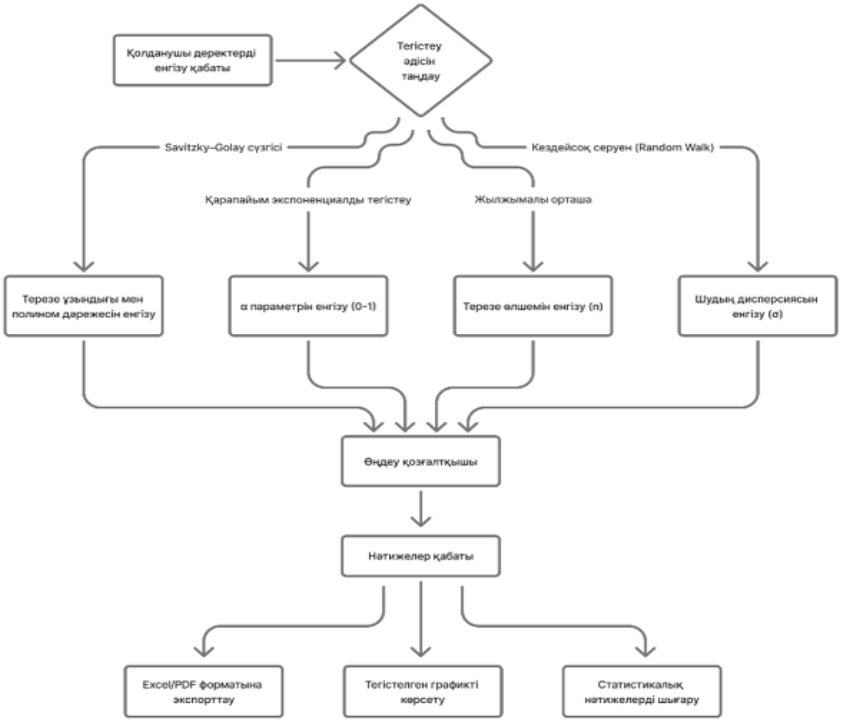
– *деректер метадеректері* (metadata): уақыттық қадам: 1 жыл, өлшем бірлігі: млрд АҚШ доллары, бастапқы статистика: (орташа, медиана, стандарттық ауытқу).

2. Тегістеу әдісін таңдау (Method Selection)

Бұл қабатта қолданушыға ұсынылған төрт әдістің бірін таңдау мүмкін-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

дігін береді: қарапайым экспоненциалды тегістеу, жылжымалы орташа, кездейсоқ жүріс (модель/салыстырмалы базис ретінде), Савицки–Голай сүзгісі. Әдісті таңдау интерфейсі пайдаланушыға әр әдістің қысқаша сипаттамасын және қолдану шарттарын көрсетеді (trend/seasonality болуы, сигналдың спектрлік қасиеттері және т.б.).



Сур. 1. Ұсынылған деректерді тегістеу модулінің жалпы архитектурасы және ақпараттық ағыны

Қолданушыға әдіс таңдауында есептеу мақсатына және бастапқы деректердің статистикалық қасиеттеріне қарай нақты нұсқаулар беріледі. Мысалы:

– Егер есептің мақсаты – соңғы мәнге жанасатын тегістеу болса, яғни соңғы мәнге көбірек салмақ беру керек болса, онда қарапайым экспоненциалды тегістеу ұсынылады.

– Егер есептің мақсаты – берілген сигналдың орташа қозғалысын қарапайым түрде сипаттау болса, онда Moving Average тегістеуі ұсынылады.

– Егер есептің мақсаты – берілген сигнал деңгейіндегі нүктелер арасындағы құрылымды сақтау және сигналдың максимум/минимум нүктелерін бұзбау қажет болса, онда Savitzky–Golay тегістеуі ұсынылады.

– Егер есептің мақсаты – болжанбайтын, кездейсоқ сипаттағы уақыт қатарларын модельдеу болса, онда Random Walk моделі тегістеуі ұсынылады.

3. Әр әдіске тән параметрлер мен олардың семантикасы

3.1 Қарапайым экспоненциалды тегістеу (Simple Exponential Smoothing)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Қолданатын параметрі $\alpha, 0 < \alpha \leq 1$ болып табылады (Woo et al., 2022; Önder et al., 2013; Swari et al., 2021).

Математикалық өрнектелуі:

$$S_t = \alpha x_t + (1-\alpha)S_{t-1}, S_1 = x_1. \quad (1)$$

мұндағы $x_t - t$ – шы нүктедегі бастапқы дерек, $S_t - t$ – шы нүктедегі тегістелген мән, $S_{t-1} - t - 1$- ші нүктедегі тегістелген мән.

Мұнда α мәні – соңғы мәндерге берілетін салмақты басқарады. $\alpha \to 1$ болса соңғы мәндерге тәуелділігі артып, тегістеу «жеңілдейді»; $\alpha \to 0$ болса, тегістеу көп жылдамдықты тербелістерді басады.

Әдетте бастапқы баптаулар: 0.1–0.3 – қатты тегістеу, 0.6–0.9 – жеңіл тегістеу болып табылады.

3.2 Жылжымалы орташа (Moving Average)

Қолданатын параметрі: – терезе өлшемі (оң, бүтін, тақ сан).

Математикалық өрнектелуі (Petropoulos et al., 2022; Hewamalage et al., 2021; Swari et al., 2021):

$$MA_t = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_{t-i}. \quad (2)$$

мұндағы $x_t - t$ – шы нүктедегі бастапқы дерек, $MA_t - t$ – шы нүктедегі тегістелген мән.

Мұнда *n* үлкен болса, тегістеу күшті, әрі кешігу (lag) артады; *n* кішкентай болса сигналдың бастапқы құрылымы сақталады.

3.3 Кездейсоқ жүріс (Random Walk)

Қолданатын параметрі (Önder et al., 2013): σ – қадамдық шуылдың стандарттық ауытқуы (немесе дисперсия σ^2).

Модельдің формуласы:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2). \quad (3)$$

мұндағы x_t– бастапқы позиция, $\varepsilon_t - t$– шы қадамды сипаттайтын кездейсоқ шама.

Мұнда кездейсоқ жүріс – деректердің эволюциясын модельдеу үшін қолданылатын стохастикалық процесс болып табылады және ол өзіндік «тегістеу» емес, керісінше, ол көбіне деректің кездейсоқ прогрессиясын сипаттауға қолданылады.

3.4 Савицки–Голай сүзгісі

Қолданатын параметрі (Savitzky et al., 1964; Schmid et al., 2022; Liang et al., 2022): терезе өлшемі $(window_length)$ оң, бүтін, тақ сан, полином дәрежесі

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

$(polyorder)$ $(0 \leq polyorder < window_length)$ көп жағдайда $polyorder = 2$ немесе 3 деп жиі қолданылады.

Математикалық өрнектелуі:

$$y_t = \sum_{j=-m}^{m} c_j x_{t-j}. \tag{4}$$

мұндағы $y_t - t-$ нүктесіндегі тегістелген мән, $x_t - t -$ нүктесіндегі бастапқы мән, c_j – конволюция коэффициенті, $m-$ тегістеу терезесінің өлшемінің жартысы, яғни отралық нүктеден $(m-1)/2$ нүкте сол және оң жағынан алынады.

Бұл әдіс бастапқы сигналдың локальды құрылымын сақтап, жиілік компоненттерін тиімді үлестіреді, әсіресе спектрлік өлшеулер, сигналдағы максимум/минимум нүктелерін сақтау маңызды болған кезде өте қолайлы.

3.5 Қалдықтарды талдау мен есептеу тиімділігі

Әрбір тегістеу әдісі үшін қалдықтар (Residual = Original − Smoothed) толық есептелді. Қалдықтардың орташа мәні, стандарттық ауытқуы, Дарбин–Уотсон статистикасы және Льюнг–Бокс критерийі арқылы қалдықтардың кездейсоқтығы нақты бағаланды (Smyl et al., 2024; Makridakis et al., 2021).

Әрбір тегістеу әдістерінің алгоритмнің орындалу уақыты Python time. perf_counter() функциясы арқылы миллисекундпен өлшенді (Liang et al., 2022; Makridakis, 2024).

4. Өңдеу қозғалтқышы (Processing Engine)

Бұл блок – қолданушының таңдаған әдісіне сәйкес сандық есептеулерді атқаратын орталық компонент болып табылады. Оның қызметтеріне бастапқы деректерді алдын ала масштабтау/нормалау, таңдалған алгоритмнің айрықша имплементациясы, параметрлік тексеру және есептеу нәтижелерінің сақталуы мен тестілеу жатады.

Компонент келесі құрамнан тұрады:

– Препроцессинг модулі: уақыттық интерполяция, масштабтау – таңдалған әдіске қатысты.

– Валидация модулі: параметр бағалаулар, мысалы Савицки–Голай әдісінде терезе өлшемі – тақ сан болуын, қарапайым экспоненциалды тегістеуде диапазоны бірден аспауын қадағалау.

– Алгоритм модульдері: әр әдіс үшін жоғарыда келтірілген формулаларға сәйкес жеке функция немесе класс құрылады.

– Тестілеу және нәтижелердің сапасын бақылау. Бағалау критерийлері RMSE, MAE, MAPE бойынша тегістелген деректердің метрикаларын салыстыру. Мысалы, RMSE критерийлері

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}(x_t - \hat{x}_t)^2} \tag{5}$$

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

формуласы бойынша анықталады. Сонымен қатар, Фридман критерийі арқылы барлық тегістеу әдістері арасындағы айырмашылықтың нақты статистикалық маңыздылығы бағаланды (Demšar, 2006).

5. Нәтижелер қабаты (Output Layer)

Осылайша, тегістеу әдістерін қолданып алынған нәтижелерді қолданушыға визуализация, статистикалық метрикалар және экспорт опциялары форматында ұсынады. Нақтырақ айтқанда:

1. Бастапқы деректерді мен төрт әдіс бойынша алынған барлық мәндерді бір графикте көрнекілейді. Графиктерді салыстырып талдау жасау ыңғайлы.

2. Бастапқы мәндер, тегістелген мәндер, айырмашылық (residuals) бағандарын кесте түрінде ұсынады.

3. Статистикалық қорытындылар жасалады. Мысалы, сигнал–шу қатынасы (SNR)

$$SNR = 10\log_{10}\left(\frac{\sum \hat{x}_t^2}{\sum (x_t - \hat{x}_t)^2}\right) \quad (6)$$

есептеледі.

4. Алынған нәтижелерді *.xlsx, *.csv, *.json және *.pdf форматында тікелей экспорттауға және графиктерді *.png/svg форматында сақтауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер және оларды талқылау.

Алдыңғы бөлімде келтірген теориялық материалдарды Python ортасында нақты практикалық және имплементация түрде жүзеге асырылды. Ол үшін бастапқы дерек ретінде Дүниежүзілік банктің ресми дерекқорынан ағымдағы баға бойынша Қазақстанның 1990–2024 жылдар арасындағы ЖІӨ–нің (жалпы ішкі өнім) статистикасы қолданылды (1–кесте).

1 кесте. Дүниежүзілік банктің ағымдағы баға бойынша Қазақстанның ЖІӨ–нің бастапқы деректер статистикасы, млрд АҚШ доллары, 1990–2024 жж.

(i)	(ii)	(i)	(ii)	(i)	(ii)	(i)	(ii)
1990	26.932	1999	16.871	2008	133.442	2017	166.806
1991	24.923	2000	18.292	2009	115.309	2018	179.340
1992	24.917	2001	22.153	2010	148.047	2019	181.667
1993	23.409	2002	24.637	2011	192.626	2020	171.082
1994	21.251	2003	30.834	2012	207.999	2021	197.112
1995	20.374	2004	43.152	2013	236.635	2022	225.496
1996	21.035	2005	57.124	2014	221.416	2023	262.642
1997	22.166	2006	81.004	2015	184.388	2024	288.406
1998	22.135	2007	104.850	2016	137.278		

(i) – жылдар, (ii) – ЖІӨ, млрд АҚШ доллары.

Ендігі ретте, 1–кестедегі бастапқы деректерді берілген 4 әдіспен тегістеу үшін 2–кестеде көрсетілген бағалау парамертлері арқылы сынақ жүргіземіз (Makridakis et al., 2022; Адамбекова т.б., 2019; Утибаев т.б., 2019).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

2 кесте. Әдістерді бағалау параметрлері

№	Әдіс	Сыналған параметрлер	Түсіндірме
1	Қарапайым экспоненциалды тегістеу	$\alpha \in \{0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90\}$	10% жаңа мән, 90% алдыңғы тренд ескерілген
2	Жылжымалы орташа	$window \in \{3,5,7,9\}$	Әрбір мән әртүрлі тақ жылдық орташа бойынша есептелген
3	Кездейсоқ жүріс	$\sigma \in \{0.5, 1.0, 1.5, 2.0\}$	Тегістелген, бірақ кездейсоқ қозғалыс әсері бар модель
4	Савицки–Голай	$window \in \{3,5,7,9\}$, $polyorder \in \{1,2,3\}$	Полиномдық тегістеу, терезе ұзындығы әртүрлі тақ жыл

Осылайша, тегістеу әдістерінің параметрлері алдын ала жүргізілген зертханалық эксперименттер негізінде таңдалды. Әрбір әдіс үшін бірнеше параметр комбинациялары толық қарастырылып, олардың нақты тиімділігі RMSE, MAE, MAPE және SNR көрсеткіштері (5)–(6) бойынша толық бағаланды (3–кесте).

3 кесте. Зертханалық эксперимент нәтижесі.

Әдіс	Параметрлер	RMSE	MAE	MAPE (%)	SNR (дБ)
(i)	α = 0.1	64,288	45,635	33,606	6,757
(i)	α = 0.25	40,953	27,625	22,730	10,674
(i)	α = 0.5	29,288	20,274	17,354	13,586
(i)	α = 0.75	23,973	17,213	14,843	15,325
(i)	α = 0.9	21,961	16,147	14,039	16,087
(ii)	w = 3	18,596	13,292	11,469	17,778
(ii)	w = 5	30,695	22,819	18,648	13,689
(ii)	w = 7	40,145	30,316	23,143	11,642
(ii)	w = 9	49,124	37,291	27,679	10,193
(iii)	σ = 0.5	115,970	84,279	58,923	1,633
(iii)	σ = 1.0	112,102	82,062	61,715	1,927
(iii)	σ = 1.5	108,312	79,844	64,507	2,226
(iii)	σ = 2.0	104,607	77,827	67,763	2,528
(iv)	w = 3, p = 1	7,287	4,388	4,183	25,669
(iv)	w = 3, p = 2	0,000	0,000	0,000	307,554
(iv)	w = 5, p = 1	12,022	7,611	7,616	21,320
(iv)	w = 5, p = 2	5,267	3,371	2,969	28,489
(iv)	w = 5, p = 3	5,214	3,230	2,837	28,577
(iv)	w = 7, p = 1	16,207	10,780	10,801	18,725
(iv)	w = 7, p = 2	7,996	5,133	4,715	24,862
(iv)	w = 7, p = 3	7,799	4,795	4,612	25,078
(iv)	w = 9, p = 1	19,154	13,114	13,825	17,274
(iv)	w = 9, p = 2	10,811	6,805	6,247	22,242
(iv)	w = 9, p = 3	10,925	6,960	6,212	22,151

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

(i) – қарапайым экспоненциалды тегістеу, (ii) – жылжымалы орташа, (iii) – кездейсоқ жүріс, (iv) – Савицки–Голай сүзгісі. p – полином дәрежесі, w – терезе өлшемі.

Зерттеу нәтижесін алу үшін Python ортасының келесі кітапханалар мен функциялар қолданылды:

1. NumPy – кітапханасы көпөлшемді массивтермен (array), векторлық есептеулермен, математикалық операциялармен жұмыс істеу үшін қолданылды.

2. Pandas – деректерді кестелік (DataFrame) форматта сақтау мен өңдеу үшін пайдаланылды. Бұл кітапхана арқылы бастапқы экономикалық деректер жүктеліп, индекстер, бағандар және тегістеу нәтижелері өңделді.

3. Statsmodels.tsa.holtwinters – модулінен алынған SimpleExpSmoothing класы жәй экспоненциалды тегістеу (Simple Exponential Smoothing) әдісін жүзеге асыру үшін қолданылды.

4. Scipy.signal – модулі сигналдарды өңдеуге арналған функцияларды қамтиды. Зерттеу барысында бұл модульдің savgol_filter функциясы Savitzky–Golay фильтрациясын жүзеге асыру үшін пайдаланылды.

5. Sklearn.metrics – модулінен алынған функциялар (мысалы, mean_squared_error, mean_absolute_error) модельдердің дәлдігін бағалау үшін қолданылды. Осы метрикалар арқылы RMSE, MAE, және MAPE сияқты бағалау көрсеткіштері есептелді.

6. Matplotlib.pyplot – кітапханасы тегістеу нәтижелерін визуализациялау үшін пайдаланылды.

Әрі қарай салыстыру үшін RMSE көрсеткіші ең төмен параметрлері 3–кестеден таңдалды. Зертханалық эксперименттің нәтижесінде келесі параметрлер таңдалды (4–кесте):

4 кесте. Зертханалық эксперименттің нәтижесінде таңдап алынған параметрлер

Әдіс	Параметрлер	RMSE	MAE	MAPE (%)	SNR (дБ)
(i)	α = 0.90	21,961	16,147	14,039	16,087
(ii)	w = 3	18,596	13,292	11,469	17,778
(iii)	σ = 2.0	104,607	77,827	67,763	2,528
(iv)	w = 3, p = 2	0,000	0,000	0,000	307,554

(i) – қарапайым экспоненциалды тегістеу, (ii) – жылжымалы орташа, (iii) – кездейсоқ жүріс, (iv) – Савицки–Голай сүзгісі. p – полином дәрежесі, w – терезе өлшемі.

Енді Python ортасында осы ғылыми зерттеу арналып жазылған кодтан үзінді келтірейік:

1. Қарапайым экспоненциалды тегістеу әдісінің қысқаша коды (1):

```
alpha = 0.90
ses_model = SimpleExpSmoothing(data[«ЖІӨ (млрд $)»]).fit(smoothing_level=alpha, optimized=False)
```

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

```
data[«SimpleExponential»] = ses_model.fittedvalues
```

2. Жылжымалы орташа тегістеу әдісінің қысқаша коды (2):

```
window = 3
data[«MovingAverage»] = data[«ЖІӨ (млрд $)»].rolling(window=window).mean()
```

3. Кездейсоқ жүріс тегістеу әдісінің қысқаша коды (3):

```
np.random.seed(0)
sigma = 2.0
random_walk = [data[«ЖІӨ (млрд $)»][0]]
for i in range(1, len(data)):
    random_walk.append(random_walk[–1] + np.random.normal(0, sigma))
data[«RandomWalk»] = random_walk
```

4. Савицки–Голай тегістеу әдісінің қысқаша коды (4):

```
data[«SavitzkyGolay»] = savgol_filter(data[«ЖІӨ (млрд $)»], window_length=3, polyorder=2)
```

Осы Python ортасын қолданып бастапқы деректерге әртүрлі бағалау параметрлері бойынша тестілеу мен эксперименттер жүргізілді. Бұл зертеуде тек 4–кестегі бағалау параметрлерінің нәтижелері көрсетілді. Осылайша, 4–кестеде көрсетілген бағалау парамертлерін қолданып бастапқы деректерді тегістеу нәтижесі 5–кестеде көрсетілген.

5 кесте. Бағалау параметрлерін қолданып деректерді тегістеу нәтижелері (1990–2024).

Жыл	ЖІӨ (млрд $)	Қарапайым экспоненциалды тегістеу	Жылжымалы орташа	Кездейсоқ жүріс	Савицки–Голай
1990	26.93	26,93	NaN	26,93	26,93
1991	24.92	26,93	NaN	30,46	24,92
1992	24.92	25,12	25,59	31,26	24,92
1993	23.41	24,94	24,42	33,22	23,41
1994	21.25	23,56	23,19	37,70	21,25
1995	20.37	21,48	21,68	41,43	20,37
1996	21.04	20,49	20,89	39,48	21,04
1997	22.17	20,98	21,19	41,38	22,17
1998	22.14	22,05	21,78	41,08	22,14
1999	16.87	22,13	20,39	40,87	16,87
2000	18.29	17,40	19,10	41,69	18,29
2001	22.15	18,20	19,11	41,98	22,15
2002	24.64	21,76	21,69	44,89	24,64
2003	30.83	24,35	25,87	46,41	30,83
2004	43.15	30,19	32,87	46,65	43,15
2005	57.12	41,86	43,70	47,54	57,12

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

2006	81.0	55,60	60,43	48,21	81,00
2007	104.85	78,46	80,99	51,20	104,85
2008	133.44	102,21	106,43	50,79	133,44
2009	115.31	130,32	117,87	51,41	115,31
2010	148.05	116,81	132,27	49,71	148,05
2011	192.63	144,92	151,99	44,60	192,63
2012	208.0	187,86	182,89	45,91	208,00
2013	236.63	205,98	212,42	47,64	236,63
2014	221.42	233,57	222,02	46,15	221,42
2015	184.39	222,63	214,15	50,69	184,39
2016	137.28	188,21	181,03	47,78	137,28
2017	166.81	142,37	162,82	47,87	166,81
2018	179.34	164,36	161,14	47,50	179,34
2019	181.67	177,84	175,94	50,56	181,67
2020	171.08	181,28	177,36	53,50	171,08
2021	197.11	172,10	183,29	53,81	197,11
2022	225.5	194,61	197,90	54,57	225,50
2023	262.64	222,41	228,42	52,79	262,64
2024	288.41	258,62	258,85	48,83	288,41

Әрі қарай 5–кестедегі тегістелген деректердің бағалау метрикасын жүргізілді. Тегістеу әдістерінің алынған тиімділігін бағалау үшін бірнеше стандартты статистикалық метрикалар қолданылды. Бұл метрикалар қолданылған модельдің бастапқы деректерге қаншалықты жуық нәтижелер беретінін және оның шуылға (noise) қаншалықты төзімді екенін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Содан кейін орташа квадраттық қате (5) (RMSE), орташа абсолюттік қате (MAE), орташа пайыздық қате (MAPE), сигнал–шу қатынасы (SNR) параметрлері (6) бойынша бағаланды. Осы қолданған параметрлер негізінде әрбір тегістеу әдісінің тиімділігі салыстырылды, ал нәтижелері 6–кестеде берілді.

Енді 5–кестенің нәтижелері бойынша қарапайым экспоненциалды тегістеу әдісі $(DW = 0{,}944;\ p = 0{,}170)$ қалдықтарда статистикалық маңызды автокорреляцияның болмауымен ең жоғары тұрақтылық көрсетті. Ал Савицки–Голай және өзге әдістердегі $p < 0{,}05$ көрсеткіші модельдердің бастапқы деректерді жоғары дәлдікпен жуықтауына қарамастан, олардың қалдықтарында жүйелі тәуелділіктің сақталғанын айқындайды.

6–кестеде көрініп тұрғандай Савицки–Голай–дәлдік көрсеткіштері (RMSE, MAE, MAPE, SNR) бойынша ең жақсы болып табылады.

Тегістеу әдістерінің сапасын кешенді түрде саралау мақсатында қалдықтардың (residuals) статистикалық сипаттамалары Дарбин–Уотсон және Льюнг–Бокс критерийлері арқылы автокорреляция мен кездейсоқтық тұрғы-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

сынан талданды. 7–кестеде жинақталған бұл көрсеткіштер қалдықтардың статистикалық сенімділігін негіздейді.

6 кесте. Бағалау параметрлері.

Әдіс	RMSE	MAE	MAPE (%)	SNR (dB)
Жылжымалы орташа	18,596	13,292	11,469	17,778
Кездейсоқ жүріс	104,607	77,827	67,763	2,528
Савицки–Голай	0,000	0,000	0,000	307,554
Қарапайым экспоненциалды тегістеу	21,961	16,147	14,039	16,087

7 кесте. Тегістеу әдістерінің қалдықтарын статистикалық талдау нәтижелері.

Әдіс	Қалдықтардың орташа мәні	Қалдықтардың стандарттық ауытқуы	Дарбин–Уотсон статистикасы	Льюнг–Бокс р-мәні
Жылжымалы орташа	7,704	17,188	0,642	0,022
Кездейсоқ жүріс	65,121	83,060	0,042	0,000
Савицки–Голай	0,000	0,000	0,190	0,000
Қарапайым экспоненциалды тегістеу	8,206	20,667	0,944	0,170

Қарастырылған тегістеу әдістерінің есептеу жылдамдығын салыстыру мақсатында әрбір алгоритмнің орындалу уақыты Python бағдарламалау ортасында time.perf_counter() функциясы арқылы нақты өлшенді. Осылайша, есептеу уақыты миллисекундпен анықталды және әр әдіс үшін алдыңғы бөлімде таңдалған ең тиімді параметрлер қолданылды. Есептеу тиімділігінің нәтижелері 8–кестеде келтірілген.

8 кесте. Тегістеу әдістерінің есептеу тиімділігін салыстыру.

Әдіс	Ең тиімді параметрлер	Есептеу уақыты (мс)
Жылжымалы орташа	$w = 3$	1,139
Кездейсоқ жүріс	$\sigma = 2.0$	0,204
Савицки–Голай	$w = 3$, $p = 2$	1,155
Қарапайым экспоненциалды тегістеу	$\alpha = 0.90$	1,496

p – полином дәрежесі, w – терезе өлшемі.

8–кестеден байқағанымыздай жылжымалы орташа, Савицки–Голай сүзгісі және қарапайым экспоненциалды тегістеу әдістерінің орындалу уақыттары сәйкесінше 1,139 мс, 1,155 мс және 1,496 мс болды. Барлық әдістердің есептеу уақыты 2 мс-тан төмен болғандықтан, олардың есептеу күрделілігі қарастырылған деректер көлемі үшін өте төмен деп бағаланды. Сондықтан әдісті таңда-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

уда есептеу уақыты емес, тегістеу сапасын сипаттайтын RMSE, MAE, MAPE және SNR көрсеткіштері негізгі критерий ретінде пайдаланылды.

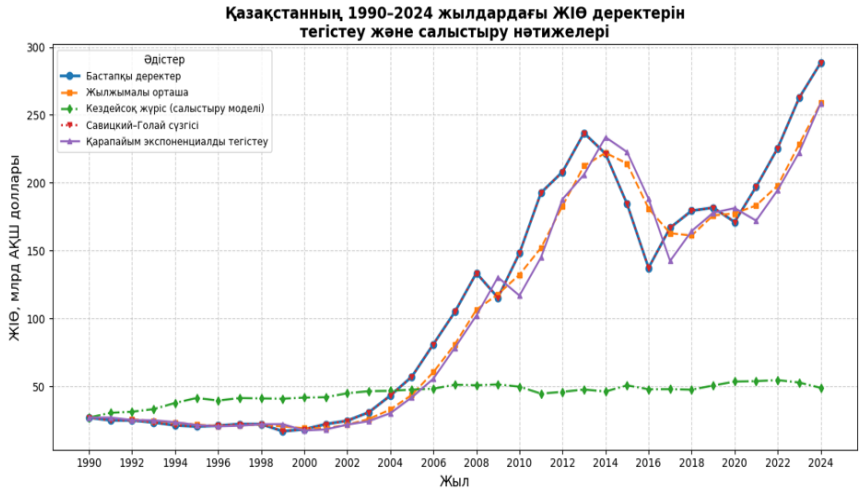
Әдістер арасындағы айырмашылықтың статистикалық маңыздылығын бағалау үшін Фридман критерийі қолданылды. Бұл критерий бірнеше әдістің нәтижелерін бірдей деректер жиынында салыстыруға мүмкіндік беретін параметрлік емес статистикалық тәсіл болып табылады (Demšar, 2006). Фридман тестінің нәтижелері 9–кестеде берілген.

9 кесте. Фридман критерийі бойынша әдістерді статистикалық салыстыру нәтижелері.

Көрсеткіш	Мәні
Фридман статистикасы	85,6182
p-мәні	0
Қорытынды	Әдістер арасындағы айырмашылық статистикалық маңызды

9–кестеден көрініп тұрғандай, Фридман статистикасының мәні 85,6182, ал p-мәні 0 болды. Яғни, бұл әдістер арасындағы айырмашылықтың статистикалық тұрғыдан маңызды екенін көрсетеді. Демек, қарастырылған тегістеу әдістерінің нәтижелері бірдей емес.

Келесі де Python ортасын қолданып бастапқы деректер мен тегістелген деректерді көрнекілейік (визуализация), ал нәтижесі график түрінде 2–суретте көрсетілген.



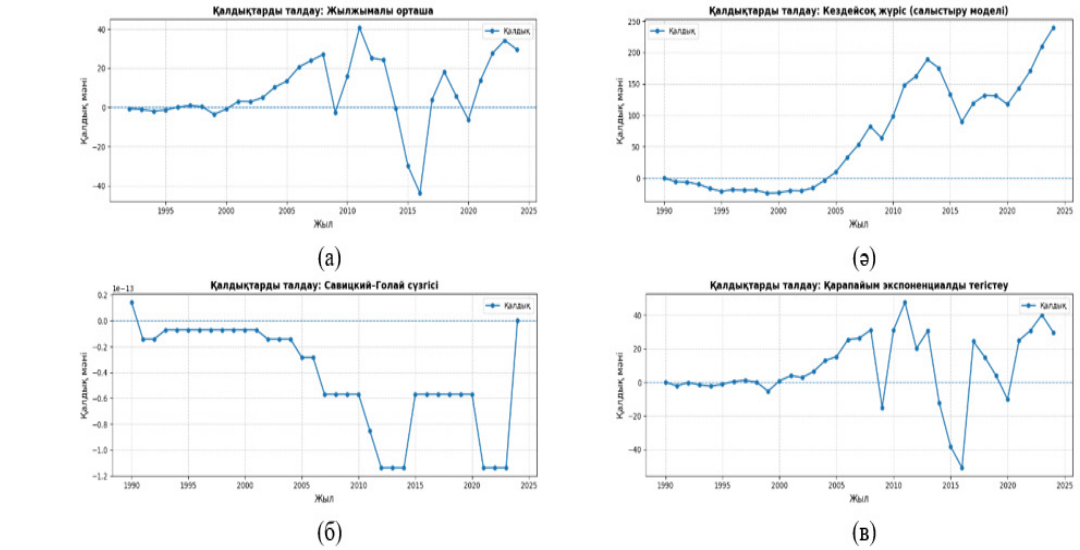
Сур. 2. ЖІӨ уақыт қатарын тегістеу әдістерінің графиктері

Бұл модулде тегістелген деректердің графигімен қатар соңғы нәтижені *.csv, *.xlsx, *.JSON, *.pdf – форматтарында көшіріп алуға мүмкіндігі бар.

Төмендегі 3–суретте жылжымалы орташа, кездейсоқ жүріс, Савицки–Голай сүзгісі және қарапайым экспоненциалды тегістеу әдістері бойынша бастапқы және тегістелген мәндер арасындағы қалдықтардың жылдар бойынша өз-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

геріс динамикасы көрсетілген.



Сур. 3. Қарастырылған тегістеу әдістері бойынша қалдықтардың динамикасы:
(а) – Жылжымалы орташа әдісі бойынша қалдықтар;
(ә) – Кездейсоқ жүріс негізіндегі салыстыру моделі бойынша қалдықтар;
(б) – Савицкий–Голай сүзгісі бойынша қалдықтар;
(в) – Қарапайым экспоненциалды тегістеу әдісі бойынша қалдықтар.

Қорытынды.

Жүргізілген ғылыми зерттеу нәтижесінде Қазақстанның 1990–2024 жылдар аралығындағы ЖІӨ бастапқы деректерін тегістеу үшін қарапайым экспоненциалды тегістеу, жылжымалы орташа, Савицки–Голай сүзгісі және кездейсоқ жүріс негізіндегі базалық салыстыру моделі қолданылды. Әдістердің тиімділігі RMSE, MAE, MAPE, SNR көрсеткіштері мен қалдықтарды талдау және есептеу уақыты арқылы нақты бағаланды.

Қолданылған параметрлерді салыстыру нәтижесінде қарапайым экспоненциалды тегістеу үшін $\alpha = 0.9$, жылжымалы орташа үшін терезе = 3, кездейсоқ жүріс моделі үшін $\sigma = 2.0$, ал Савицки–Голай сүзгісі үшін терезе = 3, полином дәрежесі = 2 ең тиімді параметрлер ретінде зертханалық эксперимент арқылы анықталды. Сонымен қатар, дәлдік метрикалары бойынша Савицки–Голай сүзгісі ең төмен қателікті көрсетті (RMSE ≈ 0, SNR = 307.55 дБ). Алайда бұл нәтиже таңдалған параметрлердің бастапқы деректерді толық дерлік қайта қалпына келтіруімен байланысты болғандықтан, оны нақты тегістеу әсері тұрғысынан сақтықпен түсіндіру қажет деп санаймыз.

Ендігі ретте, жылжымалы орташа әдісі тұрақты және түсіндіруге ыңғайлы нәтиже көрсетті (RMSE = 18.60, MAE = 13.29, MAPE = 11.47%, SNR = 17.78 дБ). Ал қарапайым экспоненциалды тегістеу әдісі (RMSE = 21.96) қалдықтардағы автокорреляция тұрғысынан салыстырмалы түрде тұрақты болып шықты,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

себебі Льюнг–Бокс тестінің p-мәні 0.170 болып, 0.05 деңгейінен жоғары шықты. Кездейсоқ жүріс моделі жоғары қателік көрсеткендіктен, ал бұл ғылыми жұмыста тек базалық салыстыру моделі ретінде қарастырылды.

Алайда есептеу тиімділігі бойынша барлық әдістер дерлік 2 мс-тан төмен уақытта орындалды, сондықтан қарастырылған бастапқы деректер көлемі үшін олардың есептеу күрделілігі төмен деп бағаланды. Жалпы алғанда, ұсынылған модуль бірнеше тегістеу әдісін бір архитектурада біріктіріп, параметрлерді икемді таңдауға, нәтижелерді салыстыруға, қалдықтарды талдауға және визуализациялауға мүмкіндік береді (Demšar, 2006; Ljung et al., 1978). Болашақта бұл архитектураны интеллектуалды ақпараттық жүйенің веб-модулі ретінде енгізу және әртүрлі экономикалық уақыт қатарларында қосымша сынақтан өткізу жоспарланады.

REFERENCES

Adambekova, A. A., & Omir, A. Zh. (2019). Stock Market Indices: Analysis and Features of Application // Central Asian Economic Review. No. 5. — Pp. 54–66. [In Kaz.].

Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets // Journal of Machine Learning Research. — Vol. 7. — Pp. 1–30. [In Eng.].

Hewamalage, H., Bergmeir, C., & Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting: Current status and future directions // International Journal of Forecasting. — Vol. 37. — No. 1. — Pp. 388–427. [In Eng.].

Hening, A., Tran, K. Q., & Ungureanu, S. C. (2022). The effects of random and seasonal environmental fluctuations on optimal harvesting and stocking // Journal of Mathematical Biology. — Vol. 84. — No. 6. — Pp. 41. [In Eng.].

Kaneko, H., & Funatsu, K. (2015). Smoothing–combined soft sensors for noise reduction and improvement of predictive ability // Industrial & Engineering Chemistry Research. — Vol. 54. — No. 50. — Pp. 12630–12638. [In Eng.].

Liang, H., Zhao, X., & Guo, Y. (2022). Noise Reduction Method for the Ring LaserGyro Signal Based on Ceemdan and the Savitzky–Golay Algorithm // Fluctuation and Noise Letters. — Vol. 21. — No. 01. Article 2250005. [In Eng.].

Long, X., Schmidt, D. F., Bergmeir, C., & Smyl, S. (2024). Fast Gibbs sampling for the local and global trend Bayesian exponential smoothing model // International Journal of Forecasting / preprint version. [In Eng.].

Liang, H., Zhao, X., & Guo, Y. (2022). Noise reduction method for the ring laser gyro signal based on CEEMDAN and the Savitzky–Golay algorithm // Fluctuation and Noise Letters. — Vol. 21. — No. 01. Article 2250005. [In Eng.].

Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. Biometrika. — Vol. 65. — No. 2. — Pp. 297–303. [In Eng.].

Makridakis, S., Fry, C., Petropoulos, F., & Spiliotis, E. (2021). The future of forecasting competitions: Design attributes and principles // International Journal of Forecasting. [In Eng.].

Makridakis, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, V., Chen, Z., Gaba, A., Tsetlin, I., & Winkler, R. L. (2022). The M5 uncertainty competition: Results, findings and conclusions // International Journal of Forecasting. — Vol. 38. — No. 4. — Pp. 1365–1385. [In Eng.].

Makridakis, S. (2024). The M6 forecasting competition: Bridging the gap between forecasting and investment decisions // International Journal of Forecasting. [In Eng.].

Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2022). The M5 accuracy competition: Results, findings and conclusions // International Journal of Forecasting. — Vol. 38. — No. 4. — Pp. 1346–1364. [In Eng.].

Önder, E., Bayır, F., & Hepsen, A. (2013). Forecasting macroeconomic variables using artificial neural network and traditional smoothing techniques // Journal of Applied Finance and Banking. — Vol. 3. — No. 4. — Pp. 73–104. [In Eng.].

Petropoulos, F., Apiletti, D., Assimakopoulos, V., Babai, M. Z., Barrow, D. K., Ben Taieb, S., et al. (2022). Forecasting: theory and practice // International Journal of Forecasting. — Vol. 38. — No. 3. — Pp. 705–871. [In Eng.].

Savitzky, A., & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and differentiation of data by simplified least squares

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

procedures // Analytical Chemistry. — Vol. 36. — No. 8. — Pp. 1627–1639. [In Eng.].

Schmid, M., Rath, D., & Diebold, U. (2022). Why and how Savitzky–Golay filters should be replaced // ACS Measurement Science Au. — Vol. 2. — No. 2. — Pp. 185–196. [In Eng.].

Swari, M. H. P., Handika, I. P. S., & Satwika, I. K. S. (2021, October). Comparison of simple moving average, single and modified single exponential smoothing. In 2021 IEEE 7th Information Technology International Seminar (ITIS) (pp. 1-5). IEEE. [In Eng.].

Smyl, S., Bergmeir, C., Dokumentov, A., Long, X., Wibowo, E., & Schmidt, D. F. (2024). Local and global trend Bayesian exponential smoothing models. International Journal of Forecasting. [In Eng.].

Turarov, D. R., & Issayeva, A. A. (2023). Financial Forecasting Using Stochastic Models: Evidence from the Kazakhstan Commodity Exchange. Journal of Economic Research & Business Administration. — Vol. 146. — No. 4. [In Kaz.].

Utibayev, B. S., & Utibayeva, G. B. (2019). Analysis of the Sustainability of Grain Production Using Statistical Methods. Problems of AgriMarket. No. 1. Pp. 129–135. [In Russ.].

Woo, G., Liu, C., Sahoo, D., Kumar, A., & Hoi, S. C. H. (2022). ETSformer: Exponential smoothing transformers for time-series forecasting. Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning (ICML). [In Eng.].

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Собственник:
АО «Международный университет информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

Главный редактор:
Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:
Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:
Калабай Замзагуль Ертугановна

Сайт журнала: https://journal.iitu.edu.kz
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.09.2026.
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание АО "Международного университета информационных технологий"