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

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 160–179
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.009

ADAPTIVE OUTPUT ROUTER FOR NATURAL LANGUAGE MODELS CONSIDERING KEY PERFORMANCE INDICATORS

A.M. Akhmetova[1], D.O. Baizhanova[1], Zh.N. Alisheva[2], B.A. Shaimov[1]*
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
[2]Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com

Ardak Akhmetova — PhD, acting Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan https://orcid.org/0009-0000-2605-7206;
Dina Baizhanova — senior lecturer, departament "Artificial intelligence" Faculty of "Information technology and artificial intelligence", Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-6109-8174;
Zh.N. Alisheva — PhD, Associate Professor, Head of the IT Department, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-0929-4984;
Beknur Shaimov — departament "Artificial intelligence" Faculty of "Information technology and artificial intelligence", Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-2199-9628.

© A.M. Akhmetova, D.O. Baizhanova, Zh.N. Alisheva, B.A. Shaimov

Abstract. This paper proposes a KPI-oriented cascade router for multi-class text classification that sequentially employs lightweight, medium-sized, and heavyweight models depending on the confidence level of the prediction. The relevance of this study stems from the need to jointly manage classification accuracy and computational costs in applied natural language processing (NLP) systems, where relying exclusively on the most accurate models is often inefficient in terms of response time and inference cost. The experiments were conducted on the WOS-11967 corpus, which contains 11,967 scientific texts. To ensure proper parameter tuning and independent evaluation, a two-stage protocol with separate VAL and FINAL subsets was employed. The lightweight, medium-sized, and heavyweight models differ in their text representation methods and computational complexity, while routing between them is based on confidence thresholds. For the lightweight and medium-sized models, confidence was defined

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

as the difference between the two highest decision function values. The thresholds were selected on the VAL subset while accounting for the computational budget constraint governed by parameter α. The results demonstrate that the proposed cascade can accelerate inference compared with the heavyweight model, with a moderate reduction in accuracy, while maintaining a controlled trade-off between performance and computational cost. The practical significance of this work lies in the potential application of the proposed approach in systems where balancing accuracy, speed, and resource constraints is essential.

Keywords: KPI-oriented cascade router, text classification models, natural language processing (NLP), computational budget, cascade model

For citation: Akhmetova A.M., Baizhanova D.O., Alisheva Zh.N., Shaimov B.A. (2026). Adaptive output router for natural language models considering key performance indicators // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 160–179. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.009. (In Russ.)

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

КРІ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАБИҒИ ТІЛ МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ШЫҒЫС МАРШРУТТАУЫНЫҢ АДАПТИВТІ ЖҮЙЕСІ

А.М. Ахметова[1], Д.О. Байжанова[1], Ж.Н. Алишева[2], Б.А. Шаймов[1]*

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
[2]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com

Ахметова Ардақ — PhD, Жасанды интеллект және үлкен деректер кафедрасының қауымдастырылған профессоры міндетін атқарушы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0009-0000-2605-7206;
Байжанова Дина — Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект факультетінің Жасанды интеллект кафедрасының аға оқытушысы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0002-6109-8174;
Әлішева Ж. Н. — PhD, қауымдастырылған профессор, Ақпараттық технологиялар кафедрасының меңгерушісі, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-0929-4984;
Шаимов Бекнұр — Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект факультетінің Жасанды интеллект кафедрасы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-2199-9628.

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

© А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов

Аннотация. Мақалада мәтіндерді көпкласты жіктеу міндетіне арналған, болжам сенімділігінің деңгейіне қарай жеңіл, орташа және күрделі модельдерді ретімен қолданатын KPI-ге бағдарланған каскадты маршрутизатор ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі қолданбалы табиғи тілді өңдеу (NLP) жүйелерінде жіктеу дәлдігі мен есептеу шығындарын өзара үйлесімді басқару қажеттілігімен айқындалады. Мұндай жүйелерде тек ең дәл модельдерді пайдалану жауап беру уақыты мен инференс құны тұрғысынан көбіне тиімсіз болып табылады. Эксперименттер құрамында 11 967 ғылыми мәтін бар WOS-11967 корпусында жүргізілді. Параметрлерді дұрыс баптау және тәуелсіз бағалау үшін VAL және FINAL ішкі жиындары бөлек пайдаланылатын екі кезеңді хаттама қолданылды. Жеңіл, орташа және күрделі модельдер мәтінді ұсыну тәсілі мен есептеу күрделілігі бойынша ерекшеленеді, ал олардың арасындағы маршруттау сенімділік шектеріне негізделеді. Жеңіл және орташа модельдер үшін сенімділік шешім функциясының ең жоғары екі мәнінің айырмасы ретінде анықталды. Шекті мәндер бюджет шектеуін ескере отырып, α параметрі арқылы VAL жиынында таңдалды. Алынған нәтижелер ұсынылған каскадтың күрделі модельмен салыстырғанда инференсті жеделдетуге мүмкіндік беретінін және дәлдіктің қалыпты төмендеуі жағдайында сапа мен есептеу құны арасындағы басқарылатын тепе-теңдікті сақтайтынын көрсетеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы ұсынылған тәсілді дәлдік, жылдамдық және ресурстық шектеулер арасындағы теңгерім маңызды болып табылатын жүйелерде қолдану мүмкіндігімен байланысты.

Түйінді сөздер: KPI-ге бағдарланған каскадты маршрутизатор, мәтінді жіктеу модельдері, табиғи тілді өңдеу (NLP), есептеу бюджеті, каскадты модель

Дәйексөздер үшін: Ахметова А.М., Байжанова Д.О., Алишева Ж.Н., Шаймов Б.А. (2026). KPI көрсеткіштерін ескере отырып, табиғи тіл модельдеріне арналған шығыс маршруттауының адаптивті жүйесі // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 160–179. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.009. (Орыс. тіл.).

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

АДАПТИВНЫЙ МАРШРУТИЗАТОР ВЫВОДА С УЧЕТОМ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

А.М. Ахметова[1], Д.О. Байжанова[1], Ж.Н. Алишева[2], Б.А. Шаймов[1]*

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
[2]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан.
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com

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

Ахметова Ардак — PhD, исполняющая обязанности ассоциированного профессора кафедры искусственного интеллекта и больших данных, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0009-0000-2605-7206;
Байжанова Дина — старший преподаватель кафедры искусственного интеллекта факультета информационных технологий и искусственного интеллекта,
https://orcid.org/0000-0002-6109-8174;
Алишева Ж. Н. — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой информационных технологий, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;
https://orcid.org/0000-0003-0929-4984;
Шаимов Бекнур — кафедра искусственного интеллекта факультета информационных технологий и искусственного интеллекта, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: bekashaymovartukuli@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-2199-9628.

© А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов

Аннотация. В статье предложен KPI-ориентированный каскадный маршрутизатор для задачи многоклассовой классификации текстов, последовательно использующий лёгкую, среднюю и тяжёлую модели в зависимости от уровня уверенности предсказания. Актуальность работы определяется необходимостью согласованного управления точностью классификации и вычислительными затратами в прикладных NLP-системах, где применение только наиболее точных моделей часто оказывается неэффективным по времени ответа и стоимости инференса. Эксперименты выполнены на корпусе WOS-11967, содержащем 11 967 научных текстов. Для корректной настройки и независимой оценки использован двухэтапный протокол с раздельными подвыборками VAL и FINAL. Лёгкая, средняя и тяжёлая модели различаются способом представления текста и вычислительной сложностью, а маршрутизация между ними осуществляется на основе порогов уверенности. Для лёгкой и средней моделей уверенность определялась как разность между двумя наибольшими значениями функции решения. Подбор порогов выполнялся на VAL с учётом бюджетного ограничения, задаваемого параметром α. Полученные результаты показывают, что предложенный каскад позволяет ускорить инференс по сравнению с тяжёлой моделью при умеренном снижении точности, сохраняя управляемый компромисс между качеством и вычислительной стоимостью. Практическая значимость работы состоит в возможности применения предложенной схемы в системах, где важен баланс между точностью, скоростью и ресурсными ограничениями.

Ключевые слова: KPI-ориентированный каскадный маршрутизатор, модели текстовой классификации, NLP, вычислительный бюджет, каскадная модель, kpi

Для цитирования: Ахметова А.М., Байжанова Д.О., Алишева Ж.Н.,

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

Шаймов Б.А. (2026). Адаптивный маршрутизатор вывода с учетом ключевых показателей эффективности для моделей естественного языка // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 160–179. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.009. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Методы обработки естественного языка эволюционируют быстро. Особенно это касается алгоритмов автоматической классификации текстов. Однако рост точности неизбежно влечет за собой увеличение вычислительных затрат. Ресурсоемкость растет. На практике развертывание тяжеловесных архитектур часто оказывается экономически нерентабельным. Именно поэтому исследователи обращаются к адаптивным маршрутизаторам вывода и каскадным моделям (Taha et al., 2025).

Логика подобной схемы достаточно прозрачна. В единый конвейер объединяются несколько классификаторов разной степени сложности. Они функционируют строго последовательно. При этом легкие алгоритмы быстро обрабатывают тривиальные примеры. Сложные тексты, требующие глубокого анализа, передаются более точным, но вычислительно дорогим сетям.

Мы исследуем задачу текстовой классификации именно через призму каскадного подхода. Полученные эмпирические результаты детально сопоставляются с показателями изолированных моделей. Нас интересует строгая оценка эффективности многоуровневой архитектуры. Требовалось определить рациональную стратегию маршрутизации между тремя уровнями классификаторов. В качестве экспериментальной базы задействован набор данных WOS-11967. Нами были спроектированы три базовые конфигурации: легкая, средняя и тяжелая. Разработанный каскад интегрирует их воедино.

Стоит отметить, что активация каждого последующего этапа жестко контролируется. Чтобы оптимизировать компромисс между итоговой точностью и вычислительной стоимостью, мы ввели пороговые значения уверенности, а также бюджетный параметр α. Как именно эти метрики смещают баланс системы? Текст подробно описывает механизмы реализации базовых компонентов и общую структуру самого каскада. Вычислены предельные значения точности. Зафиксированы аппаратные потолки стоимости для рассматриваемых конфигураций. На практике итоговые тесты многоуровневой архитектуры проводились при широком варьировании пороговых полей и значений параметра α.

Целью исследования является разработка и оценка каскадного маршрутизатора для многоклассовой классификации текстов, обеспечивающего управляемый компромисс между точностью и вычислительной стоимостью. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: построение трёх базовых моделей различной вычислительной сложности, определение меры уверенности для маршрутизации между уровнями каскада, подбор порогов на валидационной выборке с учётом бюджетного ограничения α и независимая оценка итоговой

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

конфигурации на выборке FINAL.

Литературный обзор

Сектор интеллектуальных систем сегодня следует вектору на усложнение алгоритмических структур. Данная тенденция обусловлена ростом требований к качеству обработки данных. Однако по мере ужесточения требований к точности и глубине обработки данных вычислительная стоимость моделей превращается в серьезный барьер для их широкого внедрения. Ресурсоемкость растет. При этом современные исследования в области классификации данных подтверждают: наличие высокоточного решения еще не гарантирует его успеха в эксплуатации. Зачастую интеграция мощных архитектур в реальные производственные циклы ограничена критическими требованиями к задержке и чрезмерными затратами на аппаратную базу (Taha et al., 2025).

Мировой научный вектор смещается. Все чаще исследователи предпочитают адаптивные архитектуры традиционным монолитным моделям. Это закономерный переход. Одной из наиболее перспективных стратегий в данном направлении считается применение каскадных схем и механизмов раннего выхода. Они позволяют управлять нагрузкой в динамике. Простые запросы эффективно обрабатываются легковесными алгоритмами. При этом значительные мощности резервируются исключительно для наиболее трудоемких случаев. Однако проектирование таких систем сопряжено с поиском строгого математического баланса между итоговой точностью и стоимостью вычислений. Требуются надежные рычаги управления. На практике оператору необходимы инструменты для корректировки этого компромисса через измеримые переменные - бюджетный параметр α и пороги достоверности. Мы сосредоточились на проектировании каскадной схемы, ориентированной на максимизацию ключевых показателей эффективности. Базовой платформой для тестирования стала задача текстовой классификации. Стоит отметить, что предложенная концепция управления бюджетом универсальна. Она может быть успешно интегрирована в самые разные домены машинного обучения.

Систематизация подходов к классификации остается приоритетным направлением в области интеллектуальной обработки данных. Исследование Аллама и др. предлагает детальный обзор трансформации этой сферы - от классических методов до глубокого обучения (Allam et al., 2025). Авторы справедливо указывают на фундаментальную проблему. Дилемма между вычислительной нагрузкой и точностью прогнозов на реальных данных. Это представляет существенную проблему для практического применения моделей. Наша работа развивает идеи Аллама и соавторов в части оптимизации масштабируемости процессов. Однако стоит отметить одну деталь. Большинство существующих подходов трактуют классификаторы как изолированные инструменты. В настоящей работе рассматривается гипотеза о том, что достижение заданных KPI требует перехода от выбора единой модели к многоуровневой архитектуре. Приоритет - многоуровневые системы. Использование каскадного метода позволяет объединить достоинства разномасштабных архитектур в рамках единого решения. Фактически,

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

обзор Аллама и др. служит теоретическим фундаментом для внедрения адаптивных структур с динамически управляемым бюджетом вычислений (Allam et al., 2025).

Работа Джалиля и др. подтверждает выбор мультиномиального наивного Байеса и линейной SVM (метода опорных векторов) в качестве надежных базовых компонентов, однако авторы ограничиваются поиском «идеального» единого классификатора. Анализ этой статьи позволяет сделать вывод, что потенциал этих алгоритмов более полно раскрывается в составе иерархических структур, а не при использовании их изолированно. Это послужило обоснованием для их включения в предлагаемый каскад в качестве лёгкого и среднего уровней, что расширяет границы эффективности отдельных методов за счет их интеграции в адаптивный маршрутизатор с управляемым α-бюджетом (Jaleel et al., 2022).

Разработка методов классификации данных, описанных в глобальных обзорах Allam и др. и Taha и др., подтверждает переход от классических алгоритмов к алгоритмам нейронных сетей, но подчеркивает острую проблему их масштабируемости и вычислительных затрат. Исследование Jaleel и др. проверяет эффективность многочленных методов наивного Байеса и SVM для текстовых данных, а работа Граффа и др. доказывает, что простые подходы остаются конкурентоспособными и экономически эффективными даже в эпоху трансформаторов. Анализ этих работ позволяет сделать вывод, что потенциал этих моделей наиболее полно раскрывается не в их изолированном применении, а в рамках иерархических структур. Это стало обоснованием включения классических методов в предлагаемый каскад как «легкого», так и «среднего» уровней. Таким образом, если существующие исследования направлены на поиск «идеального» единого классификатора, то исследование расширяет границы существующих подходов, интегрируя различные парадигмы в адаптивный маршрутизатор с управляемым α-бюджетом для оптимизации целевых ключевых показателей эффективности (Allam et al., 2025; Jaleel et al., 2022; Graff et al., 2025).

Важным аспектом эффективности систем классификации является схема взвешивания признаков, которая была подробно изучена в работе Танга и др. Авторы предлагают улучшенную схему взвешивания контролируемых терминов, которая использует категориальную информацию для создания более точных векторных представлений. Их результаты доказывают, что оптимизация входных данных может значительно повысить точность даже без усложнения классификатора. Однако основным недостатком такого подхода в контексте высоконагруженных систем является его статичность: предлагаемая схема применяется ко всем входящим данным одинаково, без учета динамики вычислительных затрат и текущего бюджета ресурсов. В настоящем исследовании эта проблема решается путем интеграции идей Танга и др. в адаптивную структуру. В работе используется взвешивание качественных признаков в качестве основы для «простого» каскадного уровня. Это позволяет повысить надежность базовой модели, чтобы она могла самостоятельно обрабатывать большинство запросов. Таким образом, там, где метод Танга и др. просто повышает точность, предлагаемый алгоритм

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

использует эту точность для активации «раннего выхода», который при поддержке параметра α превращает статическое взвешивание в инструмент для активной экономии вычислительной мощности (Tang et al., 2022).

Теоретический фундамент интеллектуального анализа данных и методов классификации детально проработан в труде Заки и Мейры. Исследование фундаментально. Авторы предлагают исчерпывающий математический разбор алгоритмов, включая SVM и наивные байесовские классификаторы, с акцентом на метриках производительности. Стоит признать: понимание этих базовых механизмов обучения критически важно для проектирования отказоустойчивых систем. В работе использованы данные положения при систематизации критериев точности.При этом существует методологический нюанс. Большинство классических руководств рассматривают алгоритмы как изолированные математические абстракции. На практике они редко затрагивают вопросы интеграции разнородных моделей ради оптимизации ресурсов. В настоящей работе сохраняется теоретический базис авторов, но адаптируем его под нужды каскадных структур. Очевидно, что традиционные подходы к оценке целесообразно расширить через введение бюджетного параметра α. Это позволяет перевести статические алгоритмы в категорию элементов адаптивной прикладной системы (Zaki et al., 2014).

В работе Тан и др. предлагается метод взвешивания контролируемых терминов, который значительно повышает точность классификации за счет использования категориальной информации. Однако предлагаемый подход ограничен использованием фиксированных вычислительных затрат для всех типов данных. Изучение этой статьи привело меня к выводу, что потенциал такого точного взвешивания наиболее эффективен на уровне «легкого» каскада. Интеграция их метода в мою архитектуру позволила мне создать механизм «раннего выхода», в котором высокая точность базовой линии при поддержке параметра α сводит к минимуму доступ к моделям высокого уровня, превращая фиксированное улучшение функции в динамический инструмент экономии ресурсов (Responsible and Sustainable AI, 2025).

Работа Аль-Хелали и коллег сосредоточена на интеграции легковесных алгоритмов машинного обучения. Это актуально для классификации текстов в реальном времени. Основной упор сделан на устройства с дефицитом аппаратных мощностей. Ученые демонстрируют значительный потенциал оптимизированного многочленного наивного байесовского классификатора. При должной настройке он обеспечивает высокую производительность. При этом постоянный доступ к облачным вычислениям не требуется. На практике использование экономичных моделей в условиях нехватки ресурсов подтверждает свою целесообразность. Подобные выводы напрямую коррелируют с концепцией «базового» каскадного уровня. Однако большинство представленных решений ограничено рамками одного устройства или единственной модели. Изолированность снижает гибкость. Анализ работы привел к важному заключению. Для достижения пиковой эффективности недостаточно простого переноса алгоритма на конечное устройство. Требуется его интеграция в контур динамического управления. Сто-

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

ит отметить, что именно этот тезис позволил обосновать включение легких классификаторов в структуру предлагаемой трехуровневой архитектуры (Al-Helali et al., 2025).

Вне архитектурных рамок современные подходы зачастую демонстрируют дефицит операционной гибкости. Это критично. Их оптимизационные механизмы остаются статичными, что исключает быструю адаптацию к динамике вычислительного бюджета без повторного обучения. Наблюдается и методологический разрыв. Пропасть между оптимизацией классических алгоритмов и современными нейронными сетями по-прежнему велика. На практике предлагаемая гибридная система призвана нивелировать эти несоответствия. В работе управление ресурсами отделено от логики классификации от непосредственной логики классификации, внедрив внешний параметр α. Такой подход гарантирует прозрачность принимаемых решений. Система обретает способность к мгновенной подстройке под заданные ключевые показатели эффективности. Смена приоритетов происходит без деградации структуры (Zeng et al., 2024).

Многообещающий подход к управлению ресурсами представлен в работе Гамильтона и Фулпа, описывающих бюджетные последовательные классификаторы. Авторы используют эволюционные методы для создания систем, работающих в условиях жестких ограничений по времени и памяти, внедряя варианты раннего завершения для устранения избыточных вычислений. Данная работа подтверждает важность многокритериальной оптимизации, которая напрямую связана с задачами управления KPI. В отличие от сложного эволюционного поиска структур, предложенного авторами, наша архитектура предлагает более прозрачный механизм регулирования. Использование прямого внешнего управления через параметр α позволяет адаптировать принципы бюджетной классификации к мгновенным изменениям в операционной среде, сохраняя при этом простоту интерпретации и настройки системы (Hamilton et al., 2022).

Важным дополнением к архитектурным аспектам является проблема надежности оценки достоверности модели, исследованная в работе Холм и др. Авторы проводят сравнительный анализ использования стандартного Softmax и метода отсева по методу Монте-Карло для аппроксимации неопределенности в задачах классификации текстов. В исследовании подчеркивается, что выбор метода оценки достоверности напрямую влияет на баланс между вычислительными затратами и качеством прогнозов. Эти результаты подтверждают необходимость использования математически обоснованных пороговых значений для принятия решения о досрочном выходе. В отличие от Холм и др., которые сосредоточены на анализе внутренней неопределенности нейронных сетей, в работе используется концепция уверенности как связующее звено между различными уровнями каскада. Это позволяет использовать быстрые оценки уверенности на начальных этапах каскада, компенсируя их возможную неточность с помощью внешнего α-контроллера. Таким образом, предлагаемый метод превращает теоретические оценки достоверности в практический инструмент для динамического управления потоками данных в многоуровневой системе (Holm et al., 2023).

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

Архитектура адаптивных систем с ранним доступом к компонентам подробно декомпозирована в исследовании Ласкаридиса и др. Авторы систематизируют ключевые вызовы индустрии. Рассматриваются различные аспекты: от конфигурации точек выхода до специфики обучения. Адаптивный логический вывод здесь позиционируется как фундаментальный метод преодоления ограничений вычислительной глубины современных нейросетей. Данный обзор подчеркивает актуальность нашего подхода. Он выявляет дефицит универсальных стратегий управления каскадами в реальном времени. При этом Ласкаридис и соавторы концентрируются преимущественно на внутренней методологии построения отдельных сетей с промежуточными выходами. Предложенная нами архитектура расширяет эту концепцию до уровня межмодельного взаимодействия. Это расширяет область применимости рассматриваемого подхода. Вместо манипуляций с глубиной единственной сети мы используем каскад принципиально разнородных алгоритмов. Внешнее регулирование через параметр α позволяет преодолеть проблему статического проектирования, на которую указывают авторы. На практике это позволяет сформировать концепцию маршрутизатора, ориентированного на целевые ключевые показатели эффективности. Такая структура гармонично сочетает адаптивность с экономическим обоснованием вычислительных затрат (Laskaridis et al., 2021).

Развитие концепции контролируемого выхода продолжено в работе Мотлаха и др., посвященной классификации с возможностью отказа. Авторы предлагают математическую основу для устранения зон «случайного угадывания» в пространстве решений нейронных сетей, используя пороговые значения, специфичные для класса Softmax. Этот подход направлен на максимизацию точности в выбранной области данных путем делегирования неопределенных случаев механизму сбоя. Этот механизм соответствует логике «раннего выхода» в предлагаемой системе, но существующие модели ROC чаще всего ограничены бинарным сценарием. Это подтверждает необходимость расширения этой логики до многоуровневого каскада. В то время как Motlagh и др. предлагают просто исключить предсказание, предлагаемый метод выводит запрос на более мощный вычислительный уровень. Таким образом, идеи об ограничении области уверенного принятия решений служат обоснованием для введения динамических пороговых значений, которые в данной работе масштабируются с помощью параметра α для управления всей иерархией моделей (Naturally constrained reject option classification, 2024).

Подводя итог обзору литературы, можно констатировать, что современная наука успешно решила задачи построения индивидуальных высокоточных моделей и сформулировала основные принципы адаптивного логического вывода. Тем не менее, остается заметный разрыв между теоретическими методами оптимизации и потребностями реальных систем в эксплуатационной гибкости. Большинство существующих решений остаются либо статичными, либо чрезмерно сложными для мгновенной перенастройки под текущие ресурсы. Исследование, представленное в этой статье, направлено на преодоление этого пробела, пред-

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

лагая архитектуру, в которой управление бюджетом вычислений и точностью отделено от внутренней логики моделей и интегрировано в гибкий интерфейс управления ключевыми показателями эффективности с помощью внешнего параметра α.

Материалы и методы.

В работе исследовалась каскадная схема многоклассовой классификации текстов на корпусе WOS-11967, содержащем 11 967 текстовых документов научной тематики, распределённых по тематическим классам. Для формирования обучающей и тестовой выборок исходный набор данных был разделён стратифицированным образом в отношении 80:20. Далее тестовая часть дополнительно разбивалась на две равные подвыборки: VAL и FINAL. Подвыборка VAL использовалась для подбора параметров каскада, тогда как FINAL применялась исключительно для независимой итоговой оценки качества найденной конфигурации. Такой протокол позволяет снизить риск переобучения на этапе настройки порогов маршрутизации и обеспечивает более корректную оценку обобщающей способности модели (Kowsari et al., 2018).

Для эксперимента мы обучили три базовые модели, различающиеся по уровню вычислительной сложности: легкую (Light), среднюю (Medium) и тяжелую (High). Каждая из них ориентирована на решение идентичной задачи многоклассовой классификации. Основные различия между ними кроются в методах представления текстовых данных и архитектурной глубине самих классификаторов. На этапе предобработки все входные последовательности проходили через стандартные процедуры нормализации. Речь идет о приведении символов к нижнему регистру и очистке текста. При этом последующая трансформация в векторные формы выполнялась уже специфическими средствами соответствующих векторизаторов. Стоит отметить, что такой подход обеспечил единообразие исходных данных при сохранении уникальности внутренних механизмов каждой модели. Таким образом, иерархия сложности выстраивалась от простых структур к наиболее ресурсоемким.

Лёгкая модель (Light) была построена на основе представления Bag-of-Words с использованием только униграмм. Для ограничения размерности пространства признаков применялся словарь фиксированного размера (max_features = 1000), а также отсечение слишком редких и слишком частотных терминов (min_df = 5, max_df = 0.85). В качестве классификатора использовался мультиномиальный наивный байесовский классификатор с параметром сглаживания α = 5.0. Такая конфигурация ориентирована на минимальную вычислительную стоимость и быстрое получение предсказания, даже если это сопровождается снижением точности по сравнению с более сложными моделями (Kim et al., 2006).

Средняя модель (Medium) реализована как конвейер из трёх этапов: векторизация текста с помощью TF-IDF по словам с использованием 1–2-грамм, последующее понижение размерности методом Truncated SVD и классификация с помощью линейного метода опорных векторов. Для TF-IDF-представления использовались ограничения max_features = 2000, min_df = 4, max_df = 0.85, a

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

также сублинейное масштабирование частот терминов. После построения разреженного TF-IDF-пространства выполнялось сжатие признакового пространства до 96 компонент, что позволяет сократить вычислительные затраты и одновременно сохранить значимую часть дискриминативной информации. На заключительном этапе применялся LinearSVC с коэффициентом регуляризации C = 0.15. По сравнению с лёгкой моделью данная конфигурация обеспечивает более высокое качество классификации при умеренной вычислительной стоимости (Hastie et al., 2009).

Конфигурация тяжелой модели (High) нацелена на достижение предельной точности за счет расширенного представления текстовых данных. В основе лежит формирование гибридного признакового пространства. Оно включает TF-IDF векторы по словам (диапазон 1–2-грамм) и символьные TF-IDF признаки (3–5-грамм). При этом размерность словарей была зафиксирована на уровнях 50 000 для словных и 30 000 для символьных паттернов соответственно. После этапа конкатенации признаков итоговая классификация делегируется линейному SVM с коэффициентом регуляризации C = 2.0. Такой подход оправдан. Параллельный учет словных и символьных n-грамм позволяет захватывать как общую лексическую семантику, так и специфические локальные шаблоны. Это критически важно для обеспечения устойчивости классификатора при работе со сложными научными корпусами.

Три описанных модуля легли в основу иерархической каскадной архитектуры. Ключевой принцип системы - серийная обработка объекта. Текст поступает на вход легкого классификатора. Если уровень достоверности прогноза преодолевает установленный предел TL, процесс завершается, и результат признается финальным. Однако при низком доверии объект транслируется на средний уровень. Логика повторяется. Если уверенность средней модели оказывается выше порога TM, система выдает ее предсказание. В противном случае финальный вердикт выносит тяжелая модель. Подобная маршрутизация позволяет эффективно фильтровать потоки данных. Простые случаи закрываются дешевыми алгоритмами. Трудные же примеры автоматически делегируются более прецизионным, пусть и ресурсоемким, инструментам (Aggarwal et al., 2018).

Важным элементом предложенной схемы является способ оценки уверенности предсказания. Для этого использовалась margin-based confidence measure, вычисляемая как разность между двумя наибольшими значениями функции решения для рассматриваемого объекта. Чем больше эта разность, тем более уверенным считается предсказание модели. Такой подход применялся для лёгкой и средней моделей и использовался в качестве критерия маршрутизации внутри каскада.

Для количественной оценки вычислительной стоимости измерялось среднее время обработки одного объекта каждой моделью. Стоимость каскада вычислялась как ожидаемые суммарные затраты на последовательный проход через модели с учётом того, какая доля объектов завершается на каждом уровне. Если обозначить через p_L, p_M и p_H доли объектов, классифицированных соответствен-

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

но на уровнях Light, Medium и High, а через $cost_L$, $cost_M$ и $cost_H$ - среднюю стоимость одного предсказания соответствующей модели, то средняя стоимость каскада определялась как:

$$cost_{cascade} = cost_L + (p_M + p_H) \cdot cost_M + p_H \cdot cost_H \quad (1)$$

Данная формула отражает последовательную природу каскада: каждый объект вначале проходит через лёгкую модель, часть объектов затем дополнительно обрабатывается средней моделью, а наиболее трудные экземпляры доходят до тяжёлой модели.

Подбор порогов t_L и t_M осуществлялся на подвыборке VAL методом полного перебора. В качестве кандидатных значений использовались пороги, полученные по квантилям распределения уверенности моделей. Для каждой пары порогов рассчитывались точность каскада, его средняя стоимость, а также доли объектов, классифицированных на каждом уровне. После этого вводилось бюджетное ограничение через параметр α, определяющий допустимую долю стоимости каскада относительно стоимости тяжёлой модели:

$$cost_{cascade} \leq \alpha \cdot cost_H \quad (2)$$

Параметр α задаёт компромисс между качеством и вычислительными затратами. При малых значениях α допускаются только очень дешёвые конфигурации, что, как правило, приводит к более частому использованию лёгкой модели и снижению точности. При увеличении α каскад получает возможность чаще обращаться к более сложным моделям, вследствие чего качество классификации возрастает, но увеличивается и вычислительная стоимость. В исследовании рассматривались значения α в диапазоне от 0.1 до 1.0, после чего среди всех допустимых по бюджету конфигураций выбиралась та, которая обеспечивала максимальную точность на VAL.

На заключительном этапе найденные на VAL оптимальные пороги переносились без изменений на независимую выборку FINAL, где вычислялись итоговые значения точности, средней стоимости и долей использования моделей разных уровней. Такой двухэтапный протокол оценки позволяет рассматривать полученные результаты как более надёжные и методологически корректные, поскольку параметры каскада подбираются и проверяются на непересекающихся данных.

Эксперименты

Перед анализом каскадной модели рассмотрим, какие результаты можно получить при различных пропорциях использования трёх базовых моделей. В отличие от каскадного подхода, где выбор модели определяется пороговыми значениями TL и TM, здесь выполняется общий анализ: для каждого примера одна из моделей выбирается случайным образом в соответствии с заданными вероят-

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

ностями:

$$w_L, w_M, w_H, \text{ где } w_L + w_M + w_H = 1. \quad (3)$$

Такой подход позволяет оценить верхнюю границу качества, достижимую смешанными стратегиями использования моделей, а также определить, насколько каскадный алгоритм приближается к этому уровню. Для каждой тройки процентных весов (α* L, M, H) проводится моделирование методом Монте-Карло (Sebastiani et al., 2002; Varma et al., 2006).

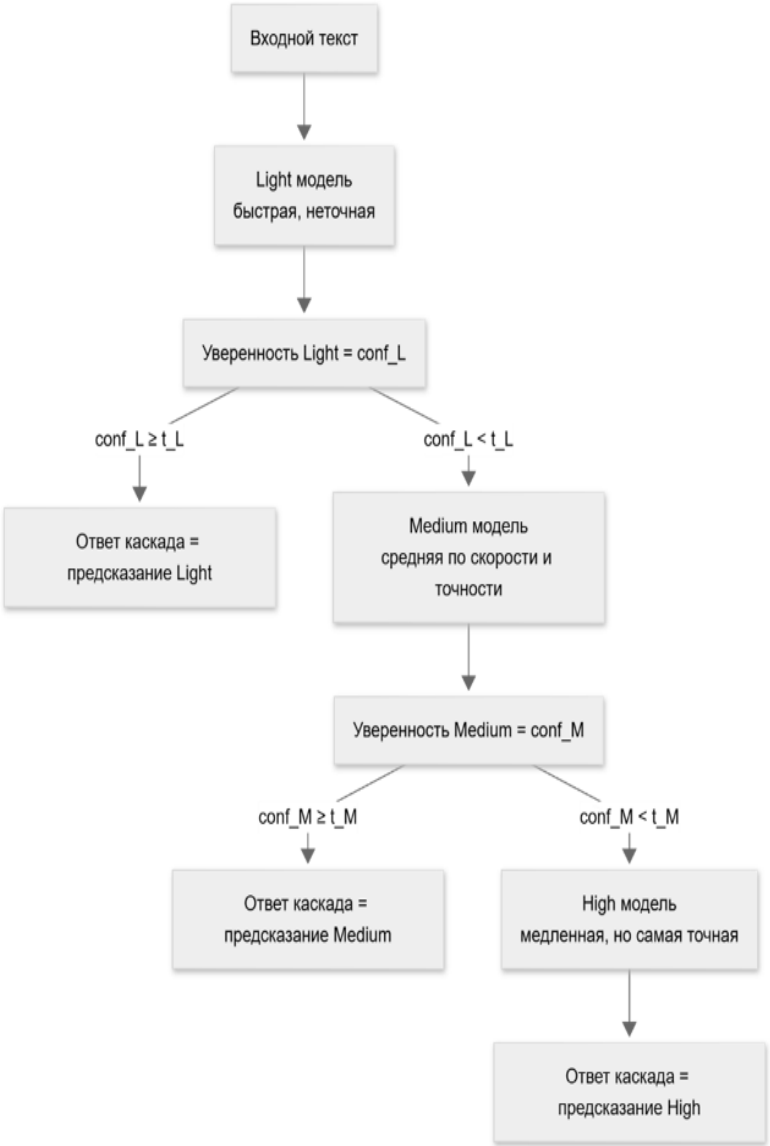


Рис. 1. Блок-схема каскадной модели.

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

Для каскадной модели выполняется полный перебор пороговых значений TL, TM = [0,100], в заданном диапазоне, что даёт 10 000 возможных комбинаций параметров. Полученные конфигурации фильтруются по бюджетному ограничению (α* cost сложной модели). Среди допустимых конфигураций выбирается вариант с максимальной точностью.

Результаты и обсуждение.

В эксперименте в качестве основных метрик использовались точность классификации и среднее время обработки одного примера (cost).

Таблица 1. Характеристики базовых моделей на валидационных данных: точность и среднее время обработки одного примера.

Модели	Точность модели	Среднее время обработки одного примера (вычислительной стоимости)
Лёгкая модель	0.7109	0.000116 сек
Средняя модель	0.8028	0.000227 сек
Сложная модель	0.8789	0.002323 сек

Как видно из Таблицы 1, наиболее тяжёлая модель обеспечивает наивысшую точность, но требует наибольших вычислительных затрат. Лёгкая модель демонстрирует точность около 0.7109, тогда как тяжёлая достигает 0.8789, однако среднее время обработки одного примера возрастает с 0.000116 с до 0.002323 с, то есть примерно в 20 раз. Средняя модель занимает промежуточное положение как по точности, так и по стоимости. Таким образом, уже на уровне базовых моделей наблюдается классический компромисс между качеством классификации и скоростью обработки (Voskergian et al., 2024).

Верхнюю границу достижимой точности можно оценить с помощью оракульного подхода, при котором для каждого примера засчитывается правильный ответ, если его корректно предсказала хотя бы одна из моделей. Такой эксперимент даёт точность около 0.8988 и задаёт теоретический максимум для рассматриваемого набора базовых моделей. Лучшие конфигурации каскада уступают этому уровню, поскольку маршрутизация основана только на оценке уверенности и не обладает знанием правильного ответа для каждого объекта. Следовательно, разрыв между оракульной и фактической точностью отражает предел улучшения, который в принципе может быть достигнут при более точной стратегии маршрутизации.

Результаты оценки каскадной модели при различных значениях параметра α на выборке VAL представлены в Таблице 2. Таблица показывает, как при изменении α меняются итоговая точность, средняя стоимость обработки и доли обращений к лёгкой, средней и тяжёлой моделям. По мере увеличения α каскад чаще использует более сложную модель; при меньших значениях α система в большей степени опирается на лёгкие уровни.

Таблица 2. Точность, средняя вычислительная стоимость и доли использования лёгкой, средней и тяжёлой моделей для оптимальных конфигураций

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

каскада на выборке VAL при различных значениях параметра α.

alpha	Accuracy	Cost (сек)	L доля	M доля	H доля
0.1	0.79616	0.0002	51.96%	47.11%	0.91%
0.2	0.84127	0.00042	49.03%	40.18%	10.77%
0.3	0.85464	0.00062	34.00%	46.61%	19.38%
0.4	0.8655	0.00082	14.03%	59.06%	26.90%
0.5	0.87051	0.001	26.98%	36.17%	36.84%
0.6	0.87385	0.00124	22.05%	30.32%	47.61%
0.7	0.87636	0.00141	26.98%	16.29%	56.72%
0.8	0.87886	0.00158	6.59%	30.82%	62.57%
0.9	0.87886	0.00158	6.30%	31.20%	62.50%

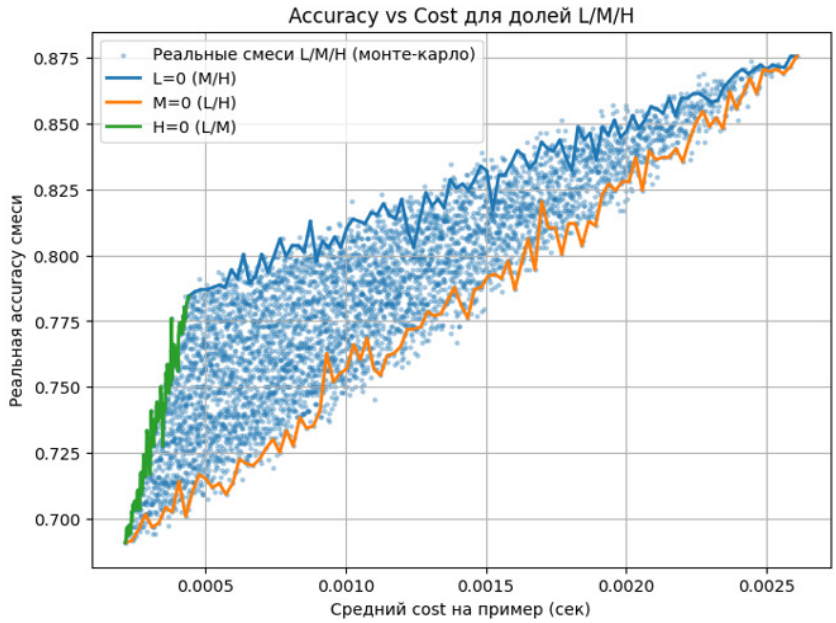


Рис. 2. На графике показана зависимость между средней стоимостью обработки одного примера и точностью для различных комбинаций вкладов лёгкой (L), средней (M) и тяжёлой (H) моделей. Синие точки получены методом Монте-Карло: для каждого текста случайным образом выбирается одна из моделей L/M/H с заданными вероятностями.

Следует отметить, что при больших значениях α различия между соседними конфигурациями могут исчезать или становиться минимальными. Это связано с тем, что после достижения некоторого уровня бюджетное ограничение перестаёт быть активным, и оптимальная конфигурация уже определяется дискретной сеткой порогов TL и TM. Поэтому дальнейшее увеличение α не обязательно приводит к изменению структуры каскада или росту точности.

Полученные результаты показывают, что каскадная модель может работать примерно в 2–5 раз быстрее тяжёлой модели при снижении точности всего на 1–5%. Это подтверждает основную идею каскадного подхода: простые примеры обрабатываются лёгкими моделями, а более сложные передаются на по-

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

следующие уровни, что позволяет снизить средние вычислительные затраты при сохранении высокого качества классификации.

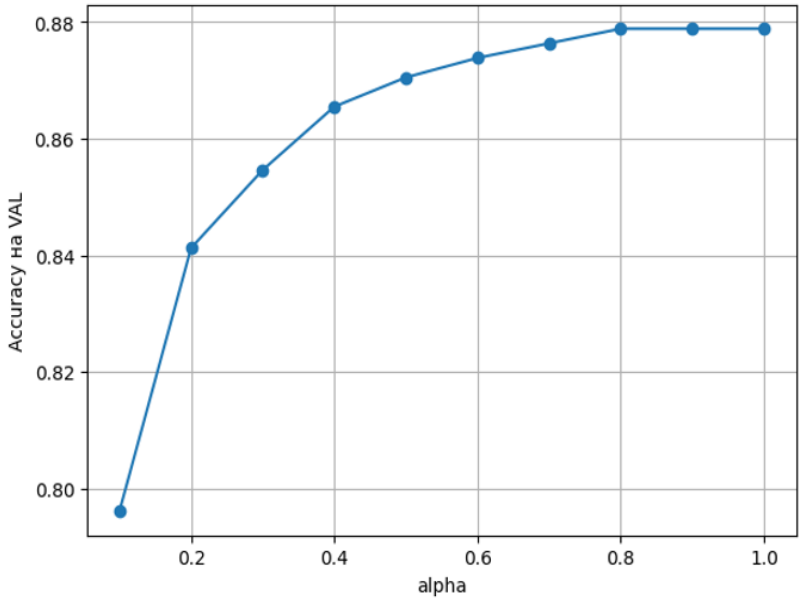


Рис. 3. График по точности лучшего каскада в зависимости от alpha

На следующем этапе найденные на выборке VAL оптимальные пороги T_L и T_M переносятся на выборку FINAL. Для каждого значения α каскад оценивается на FINAL-наборе, и фиксируются итоговые значения точности, стоимости и долей использования моделей. Далее для каждого значения α выбираются пороги, найденные на VAL, после чего соответствующая конфигурация оценивается на FINAL.

Таблица 3. Значения точности и стоимости модели, и доли для каждой модели на FINAL данных.

Alpha	Точность	Стоимость на один пример (сек)	L доля	M доля	H доля
0.1	0.7786	0.00023	49.20%	49.50%	1.30%
0.2	0.8145	0.00047	46.80%	41.10%	12.10%
0.3	0.8413	0.00066	33.40%	47.20%	19.40%
0.4	0.8555	0.00086	15.60%	57.30%	27.10%
0.5	0.863	0.00108	28.20%	34.10%	37.80%
0.6	0.873	0.0013	23.60%	28.80%	47.60%
0.7	0.8713	0.00149	28.20%	15.20%	56.60%
0.8	0.8772	0.00167	6.30%	31.20%	62.50%
0.9	0.8772	0.00167	6.30%	31.20%	62.50%

Каждая синяя точка соответствует одной паре порогов на вариационной выборке. По графику видно, что существует компромисс между скоростью и ка-

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

чеством.

Финальная сравнительная таблица для базовых моделей и каскадной стратегии на тестовом наборе приведена в Таблице 4.

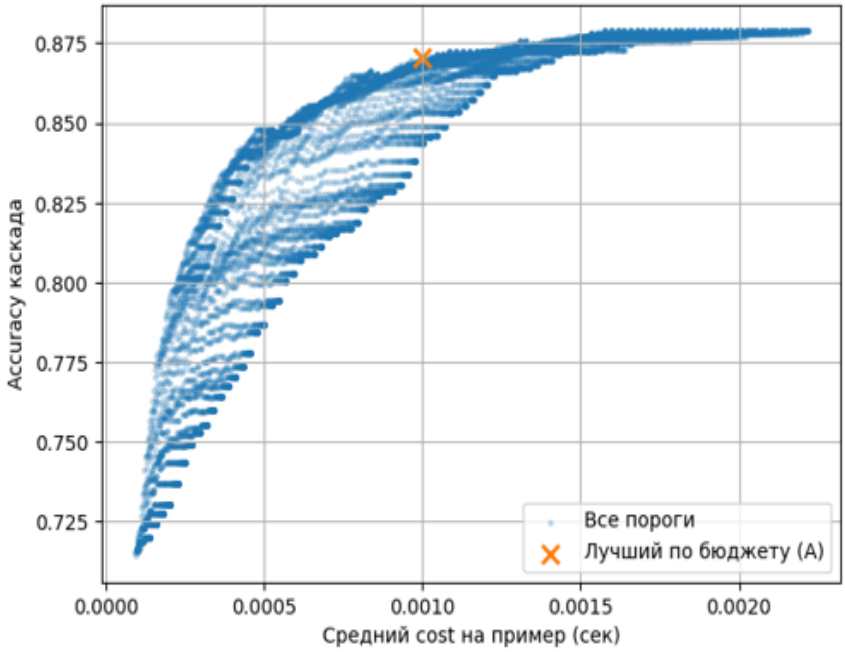


Рис. 4. На графике показано зависимость точности от среднего времени обработки от одного примера (вычислительной стоимости) при различных комбинациях TL, TM в каскадной модели.

Таблица 4. Финальная таблица результатов моделей по точности и по средней времени выполнения на пример.

Модели	Точность	Средний время выполнения на пример (вычислительной стоимости)
Лёгкая модель	0.6917	0.000096 сек
Средняя модель	0.7861	0.000202 сек
Сложная модель	0.8772	0.002209 сек
Каскадная модель (по alpha 0.2)	0.814536	0.000471 сек
Каскадная модель (по alpha 0.5)	0.862991	0.001075 сек
Каскадная модель (по alpha 0.9)	0.877193	0.001666 сек

Полученные результаты показывают, что использование каскадной модели позволяет улучшить баланс между точностью классификации и вычислительными затратами по сравнению с применением отдельных базовых моделей. Каскадная схема перераспределяет нагрузку между уровнями различной сложности, благодаря чему достигается более эффективное соотношение между качеством и стоимостью обработки. В целом проведённые эксперименты подтверждают практическую применимость каскадного подхода для задачи текстовой

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

классификации.

Заключение.

В работе предложен и исследован KPI-ориентированный каскадный маршрутизатор для многоклассовой классификации текстов, объединяющий лёгкую, среднюю и тяжёлую модели в единую систему адаптивного вывода. Показано, что использование порогов уверенности и бюджетного параметра α позволяет управлять компромиссом между точностью и вычислительной стоимостью без изменения базовых моделей. Эксперименты на корпусе WOS-11967 подтвердили, что каскадная архитектура способна обеспечивать существенное ускорение инференса при умеренной потере точности относительно наиболее сильной одиночной модели. Полученные результаты показывают, что предложенный подход может быть полезен для прикладных систем обработки текстов, в которых требуется согласованное управление качеством и вычислительными ресурсами. В дальнейшем перспективным направлением является исследование более точных методов оценки уверенности и более гибких стратегий маршрутизации.

REFERENCES

Allam, H., Makubvure, L., Gyamfi, B., Graham, K.N., Akinwolere, K. (2025). Text Classification: How Machine Learning Is Revolutionizing Text Categorization. Information. — Vol. 16. — No. 2. — Pp. 130. DOI: https://doi.org/10.3390/info16020130. [In Eng.].

Al-Helali, M., Palanichamy, N., Revathi, K. (2025). Implementation of Lightweight Machine Learning Models for Real-time Text Classification on Resource-Constrained Devices // Journal of Informatics and Web Engineering. — Vol. 4. — Pp. 126–139. DOI: https://doi.org/10.33093/jiwe.2025.4.3.7.[In Eng.].

Aggarwal, C.C. (2018). Machine Learning for Text: An Introduction. In Machine Learning for Text // Springer, Cham. — Pp. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73531-3_1.

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. The Elements of Statistical Learning // Springer, New York (2009). DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7. [In Eng.].

Hamilton, N.H., Fulp, E.W. (2022). Budgeted Classification with Rejection: An Evolutionary Method with Multiple Objectives. In 2022 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) // IEEE. — Pp. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1109/CEC55065.2022.9870382. [In Eng.].

Holm, A.N., Wright, D., Augenstein, I. (2023). Revisiting Softmax for Uncertainty Approximation in Text Classification // Information. — Vol. 14. — No. 7. — Pp. 420. DOI: https://doi.org/10.3390/info14070420. [In Eng.].

Graff, M., Moctezuma, D., Téllez, E.S. (2025). Bag-of-Word approach is not dead: A performance analysis on a myriad of text classification challenges // Natural Language Processing Journal. — Vol. 11. — Article 100154. DOI: https://doi.org/10.1016/j.nlp.2025.100154. [In Eng.].

Jaleel, H., Stephan, J., Naji, S. (2022). Textual Dataset Classification Using Supervised Machine Learning Techniques // Engineering and Technology Journal. — Vol. 40. — No. 4. — Pp. 527–538. DOI: https://doi.org/10.30684/etj.v40i4.1970. [In Eng.].

Kowsari, K., Brown, D.E., Heidarysafa, M., Jafari Meimandi, K., Gerber, M.S., Barnes, L.E. (2018). HDLTex: Hierarchical Deep Learning for Text Classification. Dataset: Web of Science (WOS-11967), containing 11,967 documents. The dataset is distributed via Zenodo and is also referenced in the HDLTex project materials. [In Eng.].

Kim, S.-B., Han, K.-S., Rim, H.-C., Myaeng, S.-H. (2006). Some Effective Techniques for Naive Bayes Text Classification // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — Vol. 18. — No. 11. — Pp. 1457–1466 (2006). DOI: https://doi.org/10.1109/TKDE.2006.180. [In Eng.].

Laskaridis, S., Kouris, A., Lane, N.D. (2021). Adaptive Inference through Early-Exit Networks: Design, Challenges and Directions. In Proceedings of the 5th International Workshop on Embedded and Mobile Deep Learning (EMDL'21). ACM. — Pp. 1–6. DOI: https://doi.org/10.1145/3469116.3470012. [In Eng.].

Naturally constrained reject option classification. Machine Vision and Applications (2024). DOI: https://doi.org/10.1007/s00138-024-01620-5. [In Eng.].

Responsible and Sustainable AI (2025): Considering Energy Consumption in Automated Text

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

Classification Evaluation Tasks. Available: https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/greens/2025/381500a076/27FR376ak5a. [In Eng.].

Sebastiani, F. (2002). Machine Learning in Automated Text Categorization. ACM Computing Surveys. — Vol. 34. — No. 1. — Pp. 1–47 (2002). DOI: https://doi.org/10.1145/505282.505283. [In Eng.].

Taha, K., Yoo, P.D., Yeun, C., Taha, A. (2025). Text Classification Techniques: A Holistic Review, Observational Analysis, and Experimental Investigation // Big Data Mining and Analytics. — Vol. 8. — No. 3. — Pp. 624–660. DOI: https://doi.org/10.26599/BDMA.2024.9020092. [In Eng.].

Tang, Z., Li, W., Li, Y. (2022). An improved supervised term weighting scheme for text representation and classification // Expert Systems with Applications. — Vol. 189. — Article 115985. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115985. [In Eng.].

Varma, S., Simon, R. Bias in error estimation when using cross-validation for model selection // BMC Bioinformatics. — Vol. 7. — Pp. 91. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-91. [In Eng.].

Voskergian, D., Jayousi, R., Yousef, M. (2024). Topic selection for text classification using ensemble topic modeling with grouping, scoring, and modeling approach // Scientific Reports. — Vol. 14. — No. 1. — Pp. 23516. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-74022-2. [In Eng.].

Zaki, M.J., Meira, W. (2014). Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms. Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511810114. [In Eng.].

Zeng, Z., Hong, Y., Dai, H., Zhuang, H., Chen, C. (2024). ConsistentEE: A Consistent and Hardness-Guided Early Exiting Method for Accelerating Language Models Inference. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. — Vol. 38. — No. 17. — Pp. 19506–19514. DOI: https://doi.org/10.1609/aaai.v38i17.29922. [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"