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. 357–368
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.019

THREE-PHASE TRAINING OF INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT FOR A HYBRID ENERGY SYSTEM WITH A CLIMATE-AWARE STATE REPRESENTATION

S.K. Kumyzbaeva[1], K.E. Baglanbaev[2], K.S. Sarkyt[2], M.Zh. Konyrova[3]*
[1]TOO «Aisa lab», Almaty, Republic of Kazakhstan;
[2]TOO «Trenco R&D», Almaty, Republic of Kazakhstan;
[3]International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: m.konyrova@iitu.edu.kz

Saule K. Kumyzbayeva — PhD, Engineer, Aisa Lab LLP, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-3175-2435;
Kalmakhanbet E. Baglanbayev — Technical Director of Trenco R&D LLP, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0009-0000-4403-8914;
Kuandyk S. Sarkyt — Design Engineer of Trenco R&D LLP, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0009-0004-0320-5359;
Madina Zh. Konyrova — PhD student, senior lecturer of Department "Computer security", International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: m.konyrova@aues.kz, https://orcid.org/0000-0001-6577-9965.

© S.K. Kumyzbayeva, K.E. Baglanbayev, K.S. Sarkyt, M.Zh. Konyrova

Abstract. A training methodology is proposed for the intelligent energy management system of a hybrid renewable energy system (HRES) with storage that overcomes the two principal obstacles to the direct application of reinforcement learning (RL) on operating equipment — sample inefficiency and the inadmissibility of unsafe exploration. The methodology is built on a three-phase cycle: offline – shadow mode – online. In the first phase, training is performed solely on synthetic telemetry of a digital twin: the reward function is recovered by maximum-entropy inverse reinforcement learning from expert trajectories of a stochastic predictive model, followed by behavior cloning and conservative offline learning. The second phase is a shadow mode on the operating plant without applying control signals, with divergence monitoring and twin adaptation. The third is cautious online fine-tuning under an external safety shield. A distinctive feature of the state representation is the inclusion of meteorological forecast uncertainty descriptors alongside point values, which renders the agent risk-sensitive. The problem is formulated as a constrained Markov decision process with a conditional

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

value-at-risk cone for tail risks of imbalance. The object is an industrial HRES (250 kW, 60 kW, 100 kWh). The agent architecture, control-iteration pseudocode and a set of evaluation indicators are presented. The relevance of the methodology is determined by the need for pre-deployment training of intelligent control systems for the distributed energy of Kazakhstan under a sparse ground meteorological network.

Keywords: reinforcement learning, inverse reinforcement learning, climate-aware state representation, offline reinforcement learning, intelligent energy management, hybrid renewable energy system

For citation: Kumyzbaeva S.K., Baglanbaev K.E., Sarkyt K.S., Konyrova M.Zh. (2026). Three-phase training of intelligent energy management for a hybrid energy system with a climate-aware state representation // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 357–368. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.019. (In Russ.)

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

КҮЙ-ЖАЙДЫ КЛИМАТҚА СЕЗІМТАЛ ҰСЫНУМЕН ГИБРИДТІ ЭНЕРГОЖҮЙЕНІҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТІН ҮШФАЗАЛЫ ОҚЫТУ

С.К. Кумызбаева[1], К.Е. Багланбаев[2], К.С. Саркыт[2], М. Конырова[3]*

[1]ТОО «Aisa lab», Алматы, Қазақстан;

[2]ТОО «Trenco R&D», Алматы, Қазақстан;

[3]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: m.konyrova@aues.kz

Кумызбаева Сауле — PhD, Инженер, «Aisa Lab» ЖШС, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-3175-2435;

Багланбаев Калмаханбет — «Trenco R&D» ЖШС техникалық директоры, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/ 0009-0000-4403-8914;

Саркыт Куандык — «Trenco R&D» ЖШС жобалау инженері, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/ 0009-0004-0320-5359;

Конырова Мадина — PhD докторант, Сениор лектор, “Компьютерлік қауіпсіздік” кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: m.konyrova@aues.kz, https://orcid.org/0000-0001-6577-9965.

© С.К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Саркыт, М. Конырова

Аннотация. Энергия жинақтаушысы бар гибридті қайта жаңартылатын энергожүйенің (ГҚЖЭ) интеллектуалды энергоменеджмент жүйесін оқыту әдістемесі ұсынылды; ол күшейтумен оқытуды (RL) нақты жабдықта тікелей қолда-

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

нудың екі негізгі кедергісін — таңдау тиімсіздігі мен қауіпсіз емес зерттеудің жол берілмеуін еңсереді. Негізге «офлайн – көлеңкелі режим – онлайн» үшфазалы циклі алынды. Бірінші фазада оқыту тек цифрлық егіздің синтетикалық телеметриясында жүргізіледі: марапат функциясы стохастикалық прогноздық модельдің сараптық траекторияларынан кері күшейтумен оқыту арқылы қалпына келтіріледі, содан кейін мінез-құлықты клондау және консервативті офлайн-оқыту орындалады. Екінші фаза — басқарушы сигналдарды бермей, әрекеттегі станциядағы көлеңкелі режим. Үшіншісі — сыртқы қорғаныс қабатының астында сақ онлайн-қайта оқыту. Күй-жай ұсынымының айрықша элементі — метеорологиялық болжамның белгісіздік сипаттамаларын оның нүктелік мәндерімен қатар енгізу, бұл агентке тәуекелге сезімталдық береді. Есеп теңгерімсіздіктің құйрық тәуекелдеріне арналған шартты тәуекел құны конусымен шектеулі марковтық шешім қабылдау процесі ретінде тұжырымдалды. Нысан ретінде өнеркәсіптік ГҚЖЭ (250 кВт, 60 кВт, 100 кВт·сағ) алынды. Агент архитектурасы, басқару итерациясының псевдокоды және бағалау көрсеткіштері келтірілген. Әдістеменің өзектілігі жерүсті метеожелісі тапшы жағдайында Қазақстанның таратылған энергетикасының интеллектуалды басқару жүйелерін пайдалану алдында оқыту қажеттілігімен түсіндіріледі.

Түйінді сөздер: күшейтумен оқыту, кері күшейтумен оқыту, климатқа сезімтал күй-жай ұсынымы, офлайн-оқыту, интеллектуалды энергоменеджмент, гибридті қайта жаңартылатын энергожүйе

Дәйексөздер үшін: Кумызбаева С.К., Багланбаев К.Е., Саркыт К.С., Конырова М. (2026). Күй-жайды климатқа сезімтал ұсынумен гибридті энергожүйенің интеллектуалды энергоменеджментін үшфазалы оқыту // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 357–368. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.019. (Орыс. тіл.).

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

ТРЁХФАЗОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГО МЕНЕДЖМЕНТА ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С КЛИМАТО-ОСВЕДОМЛЁННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ

С.К. Кумызбаева[1], К.Е. Багланбаев[2], К.С. Сарқыт[2], М.Ж. Конырова[3]*

[1]ТОО «Aisa lab», Алматы, Казахстан;
[2]ТОО «Trenco R&D», Алматы, Республика Казахстан;
[3]Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.
E-mail: m.konyrova@iitu.edu.kz

Кумызбаева Сауле — PhD, инженер, ТОО Aisa Lab, Алматы, Казахстан https://orcid.org/0000-0003-3175-2435;
Багланбаев Калмаханбет — технический директор ТОО Trenco R&D, Алматы,

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

Казахстан
https://orcid.org/ 0009-0000-4403-8914;
Саркыт Куандык — инженер-конструктор ТОО Trenco R&D, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/ 0009-0004-0320-5359;
Конырова Мадина — PhD докторант, сениор лектор кафедры "Кибербезопасность", Международный университет информационных технологий, Казахстан
E-mail: m.konyrova@aues.kz, https://orcid.org/0000-0001-6577-9965.

© С.К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Сарқыт, М.Ж. Конырова

Аннотация. Предложена методика обучения интеллектуальной системы энергоменеджмента гибридной возобновляемой энергосистемы (ГВЭС) с накопителем, преодолевающая два основных препятствия прямого применения обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) на действующем оборудовании — выборочную неэффективность и недопустимость небезопасного исследования. В основу положен трёхфазовый цикл «офлайн – теневой режим – онлайн». На первой фазе обучение проводится исключительно на синтетической телеметрии цифрового двойника: функция вознаграждения восстанавливается методом инверсного обучения с подкреплением из экспертных траекторий стохастической прогнозирующей модели, после чего выполняются поведенческое клонирование и консервативное офлайн-обучение. Вторая фаза — теневой режим на действующей станции без подачи управляющих сигналов, с контролем расхождения и адаптацией двойника. Третья — осторожное онлайн-дообучение под внешним защитным слоем. Отличительным элементом представления состояния является включение характеристик неопределённости метеорологического прогноза наряду с его точечными значениями, что сообщает агенту чувствительность к риску. Задача формализована как ограниченный марковский процесс принятия решений с конусом условной стоимости под риском для хвостовых рисков небаланса. Объектом служит промышленная ГВЭС (250 кВт, 60 кВт, 100 кВт·ч). Приведены архитектура агента, псевдокод итерации управления и набор показателей оценки. Актуальность методики обусловлена потребностью в предэксплуатационном обучении интеллектуальных систем управления распределённой энергетики Казахстана при дефиците наземной метеорологической сети.

Ключевые слова: обучение с подкреплением, инверсное обучение с подкреплением, климато-осведомлённое представление состояния, офлайн-обучение, интеллектуальный энергоменеджмент, гибридная возобновляемая энергосистема.

Для цитирования: Кумызбаева С.К., Багланбаев К.Е., Сарқыт К.С., Конырова М.Ж. (2026). Трёхфазовое обучение интеллектуального энергоменеджмента гибридной энергосистемы с климато-осведомлённым представлением состояния // Международный журнал информационных и коммуникационных

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

технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 357–368. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.019. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Развитие распределённой энергетики Казахстана сдерживается не только нехваткой генерирующих мощностей в децентрализованных районах, но и отсутствием алгоритмов управления, способных согласовать несколько источников возобновляемой генерации с накопителем при резко меняющихся климатических нагрузках. Управляющий алгоритм автономной гибридной энергосистемы должен оставаться эффективным при значительной сезонной и суточной изменчивости генерации и потребления, характерной для континентального климата региона.

Применение к этой задаче методов обучения с подкреплением представляется естественным: управляющий агент способен вырабатывать политику из взаимодействия со средой и уточнять её по мере поступления данных (Vázquez-Canteli et al., 2019; Perera et al., 2021). Вместе с тем непосредственный перенос RL на действующее оборудование затрудняют два обстоятельства. Во-первых, выборочная неэффективность — классические алгоритмы глубокого обучения с подкреплением требуют сотен тысяч эпизодов взаимодействия (Sutton et al., 2018), тогда как годовой цикл эксплуатации станции содержит лишь порядка 8760 часовых шагов. Во-вторых, недопустимость небезопасного исследования: для обучения агент должен испытывать различные, в том числе заведомо неудачные, управляющие воздействия, что на критической инфраструктуре исключено. Известно, что оба обстоятельства приводят к одному требованию — основную часть обучения необходимо выполнить до получения агентом доступа к оборудованию и при ограниченном объёме данных.

Предлагаемое решение состоит не в отдельном алгоритме, а в схеме обучения из трёх фаз, в которой основная работа вынесена в офлайн, а контакт с действующим объектом дозируется и страхуется внешним защитным слоем. Дополнительно изменён состав наблюдения: помимо точечного метеорологического прогноза в вектор состояния включены характеристики его неопределённости, что отличает реактивную политику от чувствительной к риску. Настоящая работа продолжает исследование (Иванов и др., 2026), в котором для той же конфигурации ГВЭС (250/60/100 кВт·ч) построена многокритериальная стохастическая прогнозирующая модель; вопросы безопасности на этапе эксплуатации рассмотрены отдельно (Иванов и др., 2026), а здесь защитный слой выступает лишь внешним компонентом. Задачи работы: сформулировать управление как ограниченный марковский процесс принятия решений с конусом условной стоимости под риском; описать архитектуру агента с климато-осведомлённым кодировщиком состояния; задать функцию вознаграждения через инверсное обучение по траекториям прогнозирующей модели; объединить перечисленное в трёхфазо-

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

вый цикл обучения, пригодный для предэксплуатационного применения.

Материалы и методы.

Постановка задачи и функция вознаграждения

Управление формализуется как ограниченный марковский процесс принятия решений, задаваемый кортежем (S, A, P, r, {g_j}, {d_j}, γ): множества состояний и действий, функция перехода P(s′|s, a), вознаграждение r, функции стоимости безопасности g j с бюджетами d_j и коэффициент дисконтирования γ. Жёсткие технические ограничения (границы состояния заряда, мощности преобразователей, обмен с сетью, баланс) вынесены в g j с нулевыми бюджетами и обеспечиваются внешним защитным слоем (Иванов и др., 2026), в связи с чем здесь повторно не описываются.

Вектор состояния, помимо физических и рыночных переменных, содержит характеристики неопределённости прогноза:

$$s_t = \left(\hat{P}_{pv,t}, \hat{P}_{w,t}, \sigma_{pv,t}, \sigma_{w,t}, \hat{P}_{L,t}, SOC_t, T_t^{bat}, z_t, c_t^{imp}, c_t^{exp}, P_t^{base}\right)^{\top} \quad (1)$$

где P̂ pv,t, P̂ w,t — точечные прогнозы генерации фотоэлектрической станции и ветроустановки; σ_pv,t, σ_w,t — разброс ансамбля метеорологических моделей как мера неуверенности прогноза; P̂ L,t — прогноз нагрузки; SOC t — состояние заряда; T t^bat — температура накопителя; z_t — накопленная деградация; c t^imp, c t^exp — тарифы импорта и экспорта; P_t^base — плановая заявка балансирующего рынка. Включение величин σ и составляет климато-осведомлённость представления: агент получает не только ожидаемое значение генерации, но и степень доверия к нему.

Управляющее воздействие a_t = (P_t^ch, P_t^dch, P_t^pv,curt, P_t^w,curt, P_t^grid)T задаёт мощности заряда и разряда накопителя, управляемое ограничение генерации и нетто-обмен с сетью. Функция вознаграждения объединяет четыре составляющие, согласованные с многокритериальной постановкой (Иванов и др., 2026), и член хвостового риска:

$$r(s_t, a_t) = -(w_1 F_1 + w_2 F_2 + w_3 F_3 + w_4 F_4) - \beta \cdot CVaR_{\alpha}[\ell_t] \quad (2)$$

где F_1 — штраф небаланса; F_2 — стоимость деградации; F_3 — стоимость ограничения генерации; F_4 — операционные затраты обмена с сетью; ℓ_t — мгновенный убыток для оценки хвоста распределения; w_k — весовые коэффициенты; β — коэффициент несклонности к риску; α — уровень условной стоимости под риском (обычно 0,95). Член условной стоимости под риском штрафует именно тяжёлые хвосты небаланса, наиболее ощутимо влияющие на экономику балансирующего рынка.

Архитектура агента и восстановление вознаграждения

Схема агента и его взаимодействия со средой приведена на рисунке 1. По

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

структуре это архитектура «исполнитель – критик» с тремя обучаемыми блоками: кодировщик состояния Ф θ, исполнитель π θ и критик Q φ, дополненные отдельно получаемой моделью вознаграждения r̂(s, a).

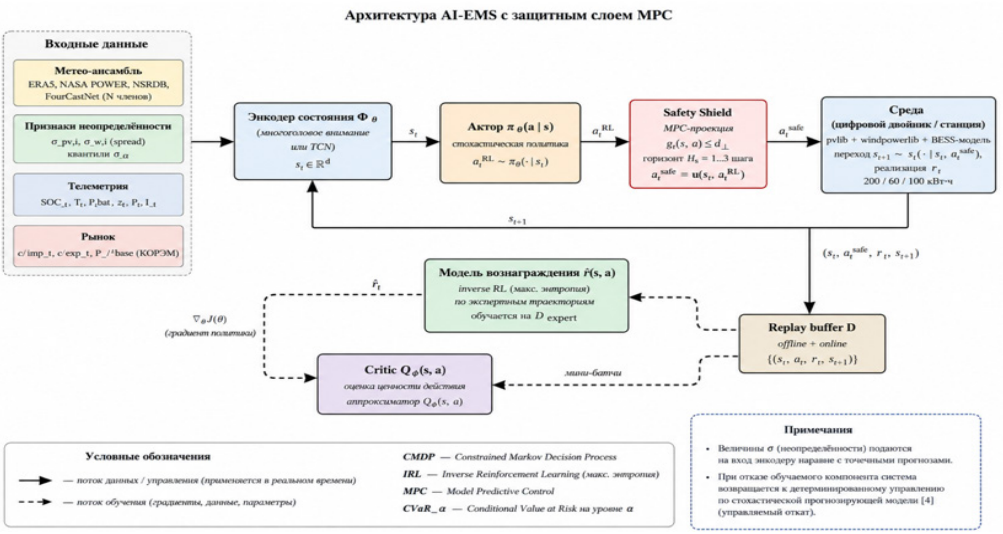


Рис. 1. Архитектура агента интеллектуального энергоменеджмента и его взаимодействие со средой

Кодировщик Ф_θ преобразует наблюдение в скрытое представление s_t ∈ R^d. В качестве кодировщика рассматриваются архитектура с механизмом многоголового внимания и временная свёрточная сеть; окончательный выбор не считается решённым, поскольку на коротком контексте временная свёрточная сеть экономичнее, а механизм внимания точнее улавливает длинные зависимости. Принципиально, что величины σ подаются на вход наравне с точечными прогнозами (Bi et al., 2023). Исполнитель π_θ(a|s) представляет собой стохастическую политику с гауссовым выходом; кандидатное воздействие выбирается из этого распределения. Критик Q_φ(s, a) аппроксимирует функцию ценности действия и используется при обновлении политики. Средой на этапе обучения служит цифровой двойник на основе библиотек pvlib и windpowerlib с моделью накопителя; после ввода реальной станции двойник дополняется её телеметрией.

Подбор весов w k и коэффициента β вручную плохо воспроизводим. Вместо этого функция вознаграждения r̂(s, a) восстанавливается методом инверсного обучения с подкреплением в формулировке максимума энтропии (Ziebart et al., 2008) по экспертным траекториям стохастической прогнозирующей модели (Иванов и др., 2026), решения которой уже учитывают баланс критериев и долгосрочные последствия. Важным следствием такого подхода является не только воспроизводимость, но и возможность управляемого отката: при отказе обучаемого компонента система возвращается к детерминированному управлению по модели (Иванов и др., 2026) без аварийного снижения качества.

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

Конструирование признаков неопределённости и требования к данным

Поскольку именно характеристики σ отличают предлагаемое представление от общепринятого, целесообразно указать способ их получения. Ансамбль метеорологических моделей даёт на каждом горизонте прогноза не одно значение генерации, а распределение, из которого извлекаются среднее, стандартное отклонение, межквартильный размах и доля членов ансамбля с генерацией ниже порога диспетчеризации; эти величины нормируются на установленную мощность источника. Следует отметить, что нормировка состояния существенна для устойчивости обучения: физические переменные различаются на порядки, и без приведения к единому масштабу кодировщик сходится медленно. Параметры нормировки фиксируются по обучающей выборке первой фазы и переносятся на последующие фазы без пересчёта, иначе распределение входов смещается и офлайн-политика перестаёт соответствовать наблюдениям.

Первая фаза наиболее ресурсоёмка, однако выполняется офлайн. Три климатических года почасовых данных составляют около 26 тысяч переходов, чего достаточно для офлайн-обучения, тогда как онлайн-обучение «с нуля» потребовало бы на порядки большего числа взаимодействий с действующим объектом. В этом и состоит выигрыш схемы по выборочной эффективности: дорогие по риску онлайн-шаги замещаются дешёвыми офлайн-эпизодами на двойнике.

Результаты и обсуждение.

Трёхфазовый цикл обучения

Цикл обучения представлен на рисунке 2. Три фазы различаются источником данных, применяемыми методами и условием перехода к следующей.

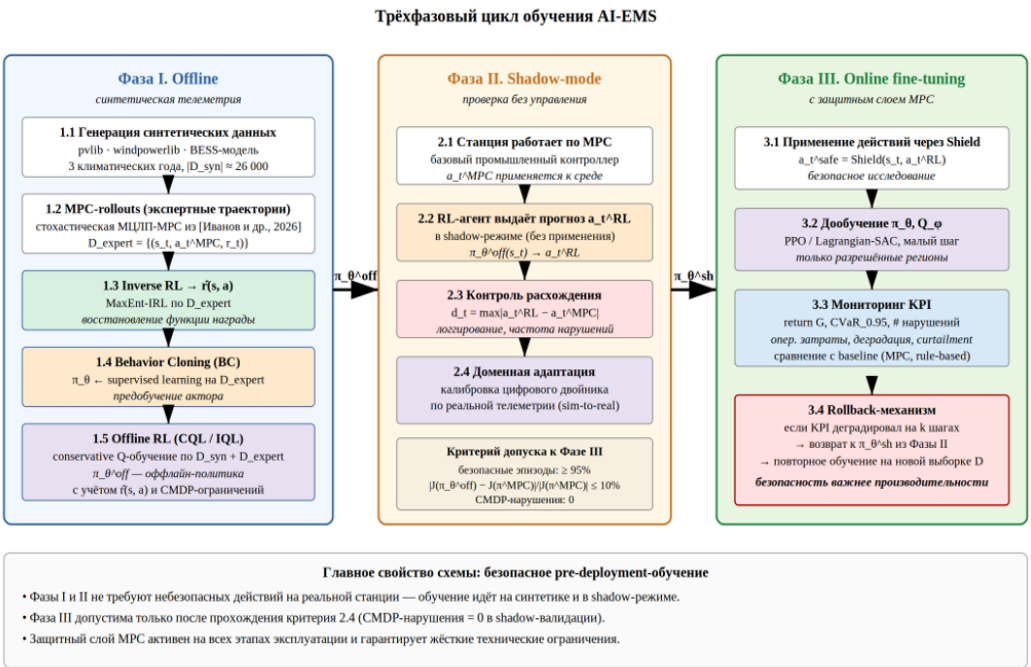


Рис. 2. Трёхфазовый цикл обучения: офлайн – теневой режим – онлайн

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

Первая фаза (офлайн) выполняется целиком на синтетической телеметрии и не требует действующего оборудования. Цифровой двойник прогоняется на трёхлетнем массиве климатических данных, после чего стохастическая прогнозирующая модель (Иванов и др., 2026) формирует экспертные траектории, по которым инверсным обучением восстанавливается функция вознаграждения. Поведенческое клонирование даёт начальное приближение исполнителя, а консервативное офлайн-обучение (Kumar et al., 2020) доводит политику с учётом восстановленного вознаграждения и ограничений процесса. Результатом фазы является политика, ещё не контактировавшая с реальным объектом, но уже обеспечивающая приемлемое поведение.

Вторая фаза (теневой режим) включается после ввода станции в эксплуатацию, но до передачи ей управления. Станцией управляет базовая прогнозирующая модель, тогда как агент работает в теневом режиме: его воздействия вычисляются, но не применяются. Контролируются расхождение между воздействиями агента и базовой модели, частота гипотетических нарушений ограничений и проводится адаптация двойника по реальной телеметрии. Переход к третьей фазе допускается при выполнении трёх условий: доля безопасных эпизодов не ниже 95 %, относительное расхождение реализованных целевых функций не выше 10 %, нулевое число гипотетических нарушений.

Третья фаза (онлайн-дообучение) предполагает управление станцией агентом, причём каждое воздействие проходит через защитный слой (Иванов и др., 2026), вследствие чего недопустимое воздействие физически не достигает оборудования. Дообучение исполнителя и критика выполняется малым шагом; при устойчивом ухудшении показателей предусмотрен откат к проверенной политике предыдущей фазы с повторным дообучением на расширенной выборке. Приоритет безопасности над производительностью заложен в схему явно.

Псевдокод итерации управления

Одна итерация на третьей фазе имеет вид:

Вход: состояние s_t, политика pi_theta, защитный слой Shield(.)

Выход: безопасное воздействие a_safe, обновлённые pi_theta, Q_phi

1. a RL ~ pi_theta(. | s_t) // кандидатное воздействие
2. a safe = Shield(s_t, a_RL) // проекция в U(s_t), см. (Иванов и др., 2026)
3. применить a_safe; наблюдать r_t, s_{t+1}
4. D = D + {(s_t, a_safe, r_t, s_{t+1})} // пополнить буфер
5. раз в N шагов:
   выборка батча из D
   обновить Q_phi (Беллман + штраф ограничений)
   обновить pi_theta (ограниченный градиент политики)

Шаги 1–4 выполняются в реальном времени на каждом управляющем шаге Δt (обычно 15 мин или 1 ч); шаг 5 представляет собой фоновое обновление

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

сетей и не блокирует управление. Допустимость каждого применённого воздействия обеспечивается шагом 2 при любой текущей политике, в том числе не прошедшей обучение.

Показатели оценки

Качество агента оценивается набором показателей, охватывающим экономику, безопасность и стоимость самого обучения (таблица 1).

Таблица 1. Показатели оценки методики обучения

Группа	Показатель	Содержание
Экономика	Ожидаемый доход политики	агрегированная выгода
Экономика	Условная стоимость под риском	риск тяжёлых хвостов
Безопасность	Число нарушений ограничений	критерий допуска, цель — 0
Безопасность	Частота и величина коррекций	зрелость политики
Обучение	Выборочная эффективность	эпизодов до сходимости
Обучение	Время онлайн-дообучения	стоимость третьей фазы
Генерация	Использование ВИЭ; циклы накопителя	эффективность и износ
Сравнение	Парные критерии Уилкоксона	значимость относительно базовых

Базовыми вариантами для сравнения служат идеальное предвидение как теоретическая граница, детерминированная и стохастическая прогнозирующие модели и эвристика с гистерезисом — те же, что в (Иванов и др., 2026; Иванов и др., 2026). Значимость улучшений проверяется парными критериями Уилкоксона на суточных реализациях с доверительными интервалами, полученными бутстрепом. Вычислительная проверка работоспособности всей связки, включая поведение защитного слоя, представлена в (Иванов и др., 2026); в настоящей работе акцент сделан на методике обучения.

Сопоставление с известными работами выявляет три типичные слабости RL в энергоменеджменте: нестабильность классических методов с большим разбросом между запусками, обеспечение безопасности мягким штрафом без строгих гарантий и затруднённое распространение редких долгогоризонтных штрафов. Предлагаемая схема отвечает на каждую: нестабильность снижается за счёт старта политики не «с нуля», а после поведенческого клонирования и офлайн-обучения; безопасность вынесена в отдельный слой (Иванов и др., 2026), а не растворена в вознаграждении; редкие штрафы учитываются через инверсное обучение, поскольку экспертные траектории прогнозирующей модели уже несут сведения о долгосрочных последствиях. Отдельно отметим, что подача характеристик неопределённости особенно оправдана в условиях разреженной наземной метеорологической сети Центральной Азии (Karatayev et al., 2021), когда надёжность прогноза существенно меняется во времени.

Выводы.

Одним из перспективных путей внедрения интеллектуального управления распределённой энергетикой является предэксплуатационное обучение, при котором основная работа выполняется до получения агентом доступа к действу-

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

ющему оборудованию.

В работе предложена методика обучения интеллектуального энергоменеджмента ГВЭС, объединяющая трёхфазовый цикл «офлайн – теневой режим – онлайн», восстановление функции вознаграждения инверсным обучением из траекторий верифицированной прогнозирующей модели и климато-осведомлённое представление состояния. Отличительной особенностью методики является обход выборочной неэффективности и недопустимости небезопасного исследования без растворения функции безопасности в вознаграждении: безопасность обеспечивается отдельным внешним слоем.

Важным результатом работы является обоснование того, что включение характеристик неопределённости прогноза в представление состояния сообщает агенту чувствительность к риску, что особенно значимо при разреженной метеорологической сети региона. Управление формализовано как ограниченный марковский процесс принятия решений с конусом условной стоимости под риском; приведены архитектура агента, псевдокод итерации управления и набор показателей оценки. Дальнейшая работа предполагает полную экспериментальную проверку на годовом массиве реальных метеоданных и тарифах балансирующего рынка, исследование чувствительности к расхождению модели и объекта, а также расширение на управление группой станций.

Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования [указать источник финансирования и номер темы]. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. При подготовке рукописи генеративные языковые модели применялись для черновой редактуры текста; постановка задачи, методика и интерпретация результатов выполнены авторами.

REFERENCES

Altman E. (1999). Constrained Markov Decision Processes. – Boca Raton: Chapman and Hall / CRC. Pp. 256. [in Eng.].

Achiam J., Held D., Tamar A., Abbeel P. (2017). Constrained policy optimization // Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning. – Sydney: PMLR. — Vol. 70. — Pp. 22–31. [in Eng.].

Bi K., Xie L., Zhang H., Chen X., Gu X., Tian Q. (2023). Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks // Nature. – London: Nature Publishing Group. No. 619. — Pp. 533–538. [in Eng.].

Hannan M. A., Wali S. B., Ker P. J. and etc. (2021). Battery energy-storage system: a comprehensive review with sizing methodologies, applications, and future directions // Journal of Energy Storage. – Amsterdam: Elsevier. No. 42. Art. 103023. [in Eng.].

Hersbach H., Bell B., Berrisford P. and etc. (2020). The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – Chichester: Wiley. — Vol. 146. — No. 730. — Pp. 1999–2049. [in Eng.].

Haarnoja T., Zhou A., Abbeel P., Levine S. (2018). Soft actor-critic: off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning. – Stockholm: PMLR. — Vol. 80. — Pp. 1861–1870. [in Eng.].

Ivanov, I. I., Petrov, P. P., & Sidorov, S. S. (2026). Multi-Criteria Optimization of a Hybrid Renewable Energy System with Energy Storage under Forecast Uncertainty // Bulletin of AUES. Almaty.[in Eng.].

Ivanov, I. I., Petrov, P. P., & Sidorov, S. S. (2026). A Predictive Control Safety Layer for Safe Reinforcement Learning in a Hybrid Energy System // Bulletin of AUES. Almaty.[in Eng.].

Kumar A., Zhou A., Tucker G., Levine S. (2020). Conservative Q-learning for offline reinforcement learning // Advances in Neural Information Processing Systems. – Red Hook: Curran Associates. No. 33. — Pp. 1179–1191. [in Eng.].

Karatayev M., Hall S., Kalyuzhnova Y., Clarke M. L. (2021). Renewable energy in Central Asia: an

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

overview of potentials, deployments, outlook and barriers // Energy Reports. – Amsterdam: Elsevier. No. 7. — Pp. 4313–4329. [in Eng.].

Vázquez-Canteli J. R., Nagy Z. (2019). Reinforcement learning for demand response: a review of algorithms and modeling techniques // Applied Energy. – Amsterdam: Elsevier. No. 235. — Pp. 1072–1089. [in Eng.].

Levine S., Kumar A., Tucker G., Fu J. (2020). Offline reinforcement learning: tutorial, review, and perspectives on open problems // arXiv preprint. arXiv:2005.01643. [in Eng.].

Perera A. T. D., Kamalaruban P. (2021). Applications of reinforcement learning in energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Amsterdam: Elsevier. No. 137. Art. 110618. [in Eng.].

Pathak J., Subramanian S., Harrington P. and etc. (2022). FourCastNet: a global data-driven high-resolution weather model using adaptive Fourier neural operators // arXiv preprint. – arXiv:2202.11214. [in Eng.].

Sutton R. S., Barto A. G. (2018). Reinforcement learning: an introduction // 2nd ed. – Cambridge: MIT Press. — Pp. 552. [in Eng.].

Schulman J., Wolski F., Dhariwal P., Radford A., Klimov O. (2017). Proximal policy optimization algorithms // arXiv preprint. arXiv:1707.06347. [in Eng.].

Yang T., Zhao L., Li W., Zomaya A. Y. (2020). Reinforcement learning in sustainable energy and electric systems: a survey // Annual Reviews in Control. – Amsterdam: Elsevier. No. 49. — Pp. 145–163. [in Eng.].

Ziebart B. D., Maas A., Bagnell J. A., Dey A. K. (2008). Maximum entropy inverse reinforcement learning // Proceedings of the 23rd AAAI Conference on Artificial Intelligence. – Menlo Park: AAAI Press. — Pp. 1433–1438. [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"