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, A.A. Daurenova
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, А.А. Дауренова
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, А.А. Дауренова
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. 405–420
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.022

ENERGY EFFICIENT MICROCLIMATE STABILIZATION FOR SEALED ARCHIVAL STORAGE ENCLOSURES

A. Neftissov[1, 2], A. Biloshchytskyi[1, 3], I. Kazambayev[1], A. Medetkhan[1]*, L. Kirichenko[1]
Astana IT University, Astana, Kazakhstan;
[2]Rectorate, Kazakh National University of Sport, Astana, Kazakhstan;
[3]Department of Information Technology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.
E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz

Alexandr Neftissov — PhD, Associate Professor, Vice-Rector for Science and Innovation, Kazakh National University of Sport; Researcher at the Scientific and Innovation Center "Industry 4.0", Astana IT University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-4079-2025;
Andrii Biloshchytskyi — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Science and Innovation, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; Professor in the Department of Information Technology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-9548-1959;
Ilyas Kazambayev — Master of Technical Sciences, Director of the Scientific and Innovation Center "Industry 4.0", Astana IT University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-0850-7490;
Ainur Medetkhan — Master of Technical Sciences, Junior Researcher at the Scientific and Innovation Center "Industry 4.0", Astana IT University, Astana, Kazakhstan
E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0009-0003-3539-6930;
Lalita Kirichenko — Master of Technical Sciences, Researcher at the Scientific and Innovation Center "Industry 4.0", Astana IT University, Astana, Kazakhstan Department of Science and Commercialization, Kazakh National University of Sport, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0001-7069-5395.

© A. Neftissov, A. Biloshchytskyi, I. Kazambayev, A. Medetkhan, L. Kirichenko

Abstract. Preventive conservation of documentary collections requires stable local conditions, yet whole-room conditioning can be energy intensive. This study evaluates a sealed archival enclosure combining four Peltier modules, passive

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

humidity buffering, environmental sensing, and dew-point-protected control. A 2.83 h laboratory campaign compared hybrid, active, and passive modes while ambient temperature increased from 16 to 32 °C. Hybrid and active modes maintained the internal temperature near 18.4 °C and achieved 100% compliance with the 18 ± 2 °C target band, whereas passive operation achieved about 41% thermal compliance. Relative humidity remained within 50 ± 5% in all modes. Active and hybrid operation consumed about 0.058 kWh, compared with 0.0055 kWh in passive mode. Conservative peak comparisons indicated at least 83.0% attenuation of PM2.5 and 79.8% attenuation of total volatile organic compounds. The results demonstrate the short-term feasibility of localized, energy-aware archival microclimate control.

Keywords: preventive conservation, archival storage, microclimate control, thermoelectric cooling, humidity buffering, energy efficiency, air quality

For citation: Neftissov A., Biloshchytskyi A., Kazambayev I., Medetkhan A., Kirichenko L. (2026). Energy efficient microclimate stabilization for sealed archival storage enclosures // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 405–420. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.022. (In Eng.).

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

Funding. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within project BR28712621 "Manuscript Heritage of Kazakhstan: Registration, Restoration, Scientific Cataloguing, Digitization, and Comprehensive Codicological Research".*

ГЕРМЕТИКАЛЫҚ АРХИВТІК САҚТАУ ҚАПТАМАЛАРЫНДА МИКРОКЛИМАТТЫ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ТҰРАҚТАНДЫРУ

А. Нефтиссов[1,2], А. Билощицкий[1,3], И. Казамбаев[1], А. Медетхан[1]*, Л. Кириченко[1]

[1]Astana IT University, Астана, Қазақстан;
[2]Қазақ ұлттық спорт университетінің ректоры аппараты, Астана, Қазақстан;
[3]Киев ұлттық құрылыс және сәулет университетінің ақпараттық технологиялар кафедрасы, Киев, Украина.
E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz

Нефтиссов Александр — философия докторы (PhD), қауымдастырылған профессор, ғылым және инновациялар жөніндегі проректор, Қазақ ұлттық спорт университеті; «Industry 4.0» ғылыми-инновациялық орталығының ғылыми қызметкері, Astana IT University, Астана, Қазақстан https://orcid.org/0000-0003-4079-2025;

Билощицкий Андрей — техника ғылымдарының докторы, профессор, ғылым және инновациялар жөніндегі проректор, Astana IT University, Астана, Қазақстан; Ақпараттық технологиялар кафедрасының профессоры, Киев ұлттық құрылыс

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

және сәулет университеті, Киев, Украина
https://orcid.org/0000-0001-9548-1959;
Казамбаев Ильяс — техника ғылымдарының магистрі, «Industry 4.0» ғылыми-инновациялық орталығының директоры, Astana IT University, Астана, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-0850-7490;
Медетхан Айнұр — техника ғылымдарының магистрі, «Industry 4.0» ғылыми-инновациялық орталығының кіші ғылыми қызметкері, Astana IT University, Астана, Қазақстан
E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0009-0003-3539-6930;
Кириченко Лалита — техника ғылымдарының магистрі, «Industry 4.0» ғылыми-инновациялық орталығының ғылыми қызметкері, Astana IT University; Ғылым және коммерцияландыру департаменті, Қазақ ұлттық спорт университеті, Астана, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0001-7069-5395.

© А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко

Аннотация. Құжаттық коллекцияларды превентивті консервациялау тұрақты жергілікті жағдайларды талап етеді, алайда бүкіл үй-жайды кондиционерлеу едәуір энергия шығынына әкелуі мүмкін. Бұл зерттеуде төрт Пельтье модулін, ылғалдылықты пассивті буферлеуді, қоршаған орта параметрлерінің датчиктерін және шық нүктесін ескере отырып конденсациядан қорғайтын басқару жүйесін біріктіретін архивтік сақтауға арналған герметикалық корпус бағаланады. Ұзақтығы 2,83 сағат болатын зертханалық сынақ барысында қоршаған орта температурасы 16-дан 32 °C-қа дейін жоғарылаған кезде гибридті, белсенді және пассивті режимдер салыстырылды. Гибридті және белсенді режимдерде ішкі температура шамамен 18,4 °C деңгейінде сақталып, сынақ кезеңінің 100%-ында 18 ± 2 °C мақсатты диапазонына сәйкес келді. Пассивті режимде осы температуралық диапазонға сәйкестік уақыттың шамамен 41%-ын құрады. Барлық режимдерде салыстырмалы ылғалдылық 50 ± 5% шегінде сақталды. Белсенді және гибридті режимдерде энергия тұтыну шамамен 0,058 кВт·сағ, ал пассивті режимде 0,0055 кВт·сағ болды. Ең жоғары мәндерді консервативті салыстыру PM2.5 концентрациясының кемінде 83,0%-ға және ұшпа органикалық қосылыстардың жиынтық концентрациясының кемінде 79,8%-ға төмендегенін көрсетті. Алынған нәтижелер энергия тұтынуды ескеретін архивтік микроклиматты жергілікті басқарудың қысқа мерзімді кезеңде іске асырылу мүмкіндігін растайды.

Түйінді сөздер: превентивті консервация, архивтік сақтау, микроклиматты басқару, термоэлектрлік салқындату, ылғалдылықты буферлік реттеу, энергия тиімділігі, ауа сапасы

Дәйексөздер үшін: Нефтиссов А., Билощицкий А., Казамбаев И., Медетхан А., Кириченко Л. (2026). Energy efficient microclimate stabilization for sealed archival storage enclosures // International Journal of Information and Communication Technologies. Т. 7. No 27. Б. 405–420. https://doi.org/10.54309/

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

IJICT.2026.27.3.022. (Ағыл. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Қаржыландыру. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан BR28712621 «Қазақстанның қолжазба мұрасы: тіркеу, қалпына келтіру, ғылыми каталогтау, цифрландыру және кешенді кодикологиялық зерттеу» жобасы аясында қаржыландырылды.*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ГЕРМЕТИЧНЫХ АРХИВНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

А. Нефтиссов[1,2], А. Билощицкий[1,3], И. Казамбаев[1], А. Медетхан[1]*, Л. Кириченко[1]

[1]Astana IT University, Астана, Казахстан;
[2]Ректорат, Казахский национальный университет спорта, Астана, Казахстан;
[3]Кафедра информационных технологий, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина.
E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz

Нефтиссов Александр — PhD, ассоциированный профессор, проректор по науке и инновациям, Казахский национальный университет спорта; Научный сотрудник научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University, Астана, Казахстан
https://orcid.org/0000-0003-4079-2025;

Билощицкий Андрей — доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Astana IT University, Астана, Казахстан; Профессор кафедры информационных технологий, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина https://orcid.org/0000-0001-9548-1959;

Казамбаев Ильяс — магистр технических наук, директор научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University, Астана, Казахстан https://orcid.org/0000-0003-0850-7490;

Медетхан Айнур — магистр технических наук, младший научный сотрудник научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University, Астана, Казахстан E-mail: ainur.medetkhan@astanait.edu.kz; https://orcid.org/0009-0003-3539-6930;

Кириченко Лалита — магистр технических наук, научный сотрудник научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University; Департамент науки и коммерциализации, Казахский национальный университет спорта, Астана, Казахстан https://orcid.org/0000-0001-7069-5395.

© А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко

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

Аннотация. Превентивная консервация документальных коллекций требует стабильных локальных условий, однако кондиционирование всего помещения может сопровождаться значительным энергопотреблением. В исследовании оценивается герметичный корпус для архивного хранения, объединяющий четыре модуля Пельтье, пассивное буферирование влажности, датчики параметров среды и управление с защитой от конденсации по точке росы. В ходе лабораторных испытаний продолжительностью 2,83 ч сравнивались гибридный, активный и пассивный режимы при повышении температуры окружающей среды с 16 до 32 °C. В гибридном и активном режимах внутренняя температура поддерживалась около 18,4 °C и в течение всего периода испытаний находилась в целевом диапазоне 18 ± 2 °C, тогда как в пассивном режиме соответствие этому диапазону составило около 41% времени. Относительная влажность во всех режимах оставалась в пределах 50 ± 5%. Энергопотребление в активном и гибридном режимах составило около 0,058 кВт·ч, а в пассивном — 0,0055 кВт·ч. Консервативное сопоставление пиковых значений показало снижение концентрации PM2.5 не менее чем на 83,0%, а суммарной концентрации летучих органических соединений — не менее чем на 79,8%. Полученные результаты подтверждают краткосрочную реализуемость локального управления архивным микроклиматом с учётом энергопотребления.

Ключевые слова: превентивная консервация, архивное хранение, управление микроклиматом, термоэлектрическое охлаждение, буферизация влажности, энергоэффективность, качество воздуха

Для цитирования: Нефтиссов А., Билощицкий А., Казамбаев И., Медетхан А., Кириченко Л. (2026). Energy efficient microclimate stabilization for sealed archival storage enclosures // International Journal of Information and Communication Technologies. Т. 7. No. 27. Стр. 405–420. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.022. (На англ.).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. *Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта BR28712621 «Рукописное наследие Казахстана: регистрация, реставрация, научная каталогизация, оцифровка и комплексное кодикологическое исследование».*

Introduction.

Preventive conservation treats the environment surrounding a collection as a controllable source of preservation risk. Temperature, relative humidity, light, airborne particles, volatile compounds, and access events may interact with hygroscopic and chemically sensitive materials during long storage periods. For archives and repositories, where objects spend most of their service life in storage rather than on display, the immediate storage environment becomes part of the preservation strategy rather than a passive background condition.

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

Conventional repository conditioning is usually organized at room scale. Such systems can provide acceptable average conditions, but they do not necessarily eliminate local gradients around individual shelves, boxes, or groups of documents. Localized storage units are therefore attractive when different collections require different environmental conditions, when only a limited number of objects need tighter protection, or when reducing the volume of actively conditioned air is desirable.

A compact sealed enclosure creates a distinct engineering problem. Its small air mass and high surface-to-volume ratio allow relatively rapid thermal response, while the use of active cooling introduces a risk of condensation if a cold surface approaches the dew point. Humidity control adds a second constraint because active dehumidification increases complexity and power demand, whereas passive sorption can buffer short-term moisture changes without electricity but has finite capacity. Airborne particles and volatile organic compounds create an additional preservation risk that cannot be addressed by temperature control alone.

The present study evaluates a sealed archival enclosure primarily as an energy-aware microclimate stabilization device. The main research question is whether local thermoelectric cooling, combined with passive humidity buffering and a sealed barrier, can maintain preservation-oriented conditions during a strong short-term thermal disturbance while avoiding condensation and thermal overload. A second question concerns the energetic and environmental trade-off between active protection and passive operation.

The working hypothesis is that hybrid and active modes will provide substantially higher thermal compliance than passive-only storage as ambient temperature increases, while internal relative humidity will remain comparatively stable because of enclosure sealing and moisture buffering. It is also expected that the sealed and filtered configuration will reduce short-term penetration of particulate and volatile contaminants. The analysis is therefore organized around four measurable dimensions: thermal compliance, humidity compliance, electrical energy demand, and pollutant attenuation.

Materials and methods.

Experimental enclosure and laboratory implementation

The tested enclosure was designed as a sealed cubic storage volume with a nominal side length of approximately 0.5 m and a useful internal volume of 0.125 m^3. The body was manufactured by fused-deposition modeling from acrylonitrile butadiene styrene polymer and incorporated a removable lid. A silicone perimeter seal was used to reduce uncontrolled air exchange. Internal slots allowed the storage volume to be partitioned for different document formats, and the available volume was sufficient for approximately 500–700 A4 sheets under the tested configuration. The enclosure was mounted in a temporary laboratory rack assembled from 45 × 45 mm extruded aluminum profiles. The rack served only as an experimental support for repeatable positioning of the enclosure and associated devices.

Temperature regulation was provided by four thermoelectric Peltier elements mounted beneath the enclosure through an aluminum heat-spreading plate. Heat was

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

removed from the internal side and rejected through the external thermal path. Passive moisture buffering was provided by an ArtSorb cassette based on conditioned silica gel. Environmental sensing included air temperature and relative humidity, particulate-matter channels, an air-quality channel used for total volatile organic compounds, illuminance, and lid state. The broader prototype also included a local computing node and access-control hardware; these functions were retained in the test platform but were not used as outcome variables in the present analysis.

Control strategy and condensation protection

For the laboratory campaign, a preservation-oriented target band of 18 ± 2 °C and 50 ± 5% relative humidity was adopted, with ISO 11799:2024 used as the documentary-storage reference framework (International Organization for Standardization, 2024). The target is treated as the engineering set point of this prototype campaign rather than as a universal condition suitable for every archival material. The active thermal loop was designed to avoid two failure modes: excessive temperature deviation and local condensation at the cooling surface.



Fig. 1. Laboratory implementation used for the performance assessment: (a) aluminum-profile test rack; (b) local humidity sensing module; (c) electromechanical locking interface.

The dew-point temperature was estimated from measured air temperature T and relative humidity RH using the Magnus-Tetens formulation:

$$\gamma(T, RH) = \frac{17.27 \cdot T}{237.7 + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right) \quad (1)$$

$$T_d = \frac{237.7 \cdot \gamma}{17.27 - \gamma} \quad (2)$$

At the nominal condition of 18 °C and 50% relative humidity, the calculated dew point is approximately 7.42 °C. A safety margin of 2.5 °C was applied to the cold-side constraint:

$$T_{p,in}(t) \geq T_d(t) + \Delta T_{safe} \quad (3)$$

An additional hardware-oriented lower limit of 10 °C was imposed on the cold plate. Because the small enclosure has appreciable thermal inertia relative to

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

the response of the thermoelectric elements, direct single-loop control can produce oscillation or overcooling. The prototype therefore used cascade proportional-integral-derivative regulation with anti-windup and pulse-width modulation of the Peltier current. The outer loop acted on internal air temperature, whereas the inner protection logic constrained cold-plate behavior.

Operating scenarios and test disturbance

Three operating modes were compared during a laboratory exposure lasting approximately 2 h 49 min 33 s, reported here as 2.83 h. The modes were selected to isolate the contribution of active cooling and passive moisture buffering. External temperature increased from approximately 16 to 32 °C over the test interval, creating a strong thermal load on the enclosure. External relative humidity varied from approximately 67% to 27%. Table 1 summarizes the configuration of each mode.

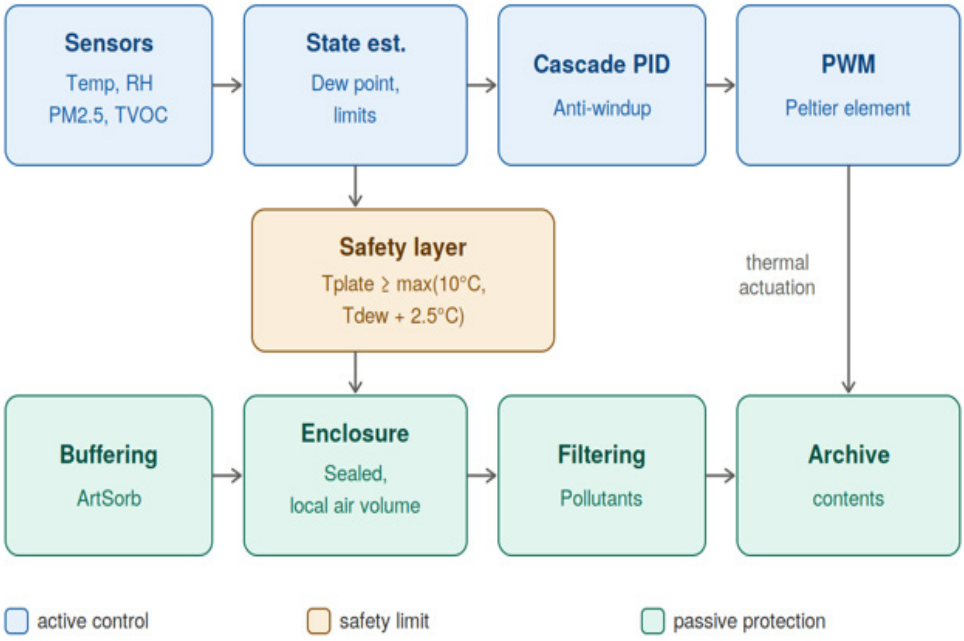


Fig. 2. Functional control logic separating active thermal regulation from passive humidity and barrier functions.

Table 1. Operating modes used in the comparative assessment

Mode	Peltier cooling	ArtSorb buffering	Pollutant filter	Purpose
Hybrid H	On (4 modules)	On	On	Combined active and passive protection
Active A	On (4 modules)	Off	On	Isolate active thermal control
Passive P	Off	On	Off	Evaluate low-energy passive response

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

Performance indicators

The analysis was intentionally descriptive because the available laboratory record represents one short proof-of-concept campaign and does not contain repeated independent trials. Consequently, inferential statistics, confidence intervals, and claims of long-term conservation efficiency are not reported. The primary indicators were defined directly from the recorded or reported test outputs.

Thermal compliance was defined as the percentage of recorded time points for which internal temperature remained inside 1620 °C. Humidity compliance was defined analogously for the 45–55% relative-humidity band. Electrical energy was integrated over the 2.83 h test and converted to mean electrical power for comparison between modes. Controller safety was evaluated from the relationship between cold-plate temperature, calculated dew point, and the 10 °C lower constraint, and by comparing measured hot-side temperature with the thermal cut-off region used in the prototype.

Discussion.

Recent preventive-conservation research increasingly frames storage as a risk-management problem in which environmental measurements, collection characteristics, and operational practice are considered together. Wickens (2026) emphasizes the continuing evolution of preventive conservation as a practice that links theory with operational decision-making. Elnaggar et al. (2024) demonstrate how risk analysis can be used to prioritize preventive interventions. Museum-storage studies also show that preservation performance depends on organization, available infrastructure, and local management practices rather than on climate set points alone (Antomarchi et al., 2021). Comparable dependence on storage infrastructure is reported by Hourcade (2021). The importance of local management practice is likewise illustrated by Rasoarifetra (2021).

Environmental sensing has become an important enabling layer for this shift. Microclimate monitoring studies report that compact and wireless systems can provide continuous information on temperature, relative humidity, and air quality in heritage environments (Bellazzi et al., 2026). Bucciero et al. (2026) likewise demonstrate continuous wireless microclimate monitoring in cultural-heritage environments. Ceres et al. (2024) show that affordable monitoring platforms can combine microclimate and indoor-air-quality measurements. Ponce et al. (2024) further illustrate the use of Internet-of-Things-based climate monitoring for hygrothermal assessment. Laohaviraphap and Waroonkun (2024) summarize the growing role of artificial intelligence and Internet-of-Things technologies in heritage risk management and environmental monitoring.

For archival enclosures specifically, the interaction between air exchange, sorption, stored material, and enclosure geometry is central to short-term stability. Novak et al. (2024) evaluate the environmental performance of archival boxes from material and environmental perspectives. Markelj et al. (2025) model mass transfer and buffering behavior in archival boxes. Ryhl-Svendsen (2026) extends this perspective to ventilation, buffering, and pollutant dynamics inside boxes and paper stacks. Material-based approaches can also contribute to passive protection. Gorgolis et al. (2023) examine graphene-based materials intended to improve long-term storage conditions.

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

Air quality remains relevant even when temperature and relative humidity are controlled. Albert-Tortosa et al. (2024) show that airtight exhibition spaces may accumulate or retain volatile organic compounds. Kammer et al. (2021) quantify emissions from cellulose-acetate heritage materials. These studies support the inclusion of pollutant sensing and barrier performance in enclosure assessment rather than treating microclimate control as a purely thermal-hygrometric problem.

At the broader information-system level, heritage management is increasingly connected to digital transformation, digital twins, knowledge representation, and predictive decision support. Li et al. (2024) review digital-transformation technologies used in museum environments. Guo et al. (2024) examine digital-twin approaches for cultural-heritage risk management. Hatami and Koramaz (2024) propose a theoretical digital-twin model for heritage-site management. Mazzetto (2024) discusses the integration of emerging technologies with digital twins for heritage conservation. Montuori (2024) addresses predictive-conservation technologies for built cultural heritage. Knowledge-graph visualization can formalize relationships among heritage information (Sevilla et al., 2023). Sugiyama et al. (2025) provide a structured methodology for Heritage Digital Twin assessment. Zhang et al. (2026) demonstrate a digital-twin approach for smart collection storage. The present study does not implement a full digital twin; instead, it focuses on the physical and control layer that such higher-level systems would depend on: a measurable, locally regulated archival microenvironment.

Results.

Thermal stability and humidity compliance

The active thermal configurations maintained a stable internal condition despite the imposed increase in ambient temperature. At the end of the test, external temperature reached approximately 32 °C, while internal temperature in the controlled enclosure remained near 18.4 °C. Both hybrid H and active A remained within the 16-20 °C target interval for 100% of the evaluated period. Under passive P operation, internal temperature increased gradually to approximately 22 °C and remained within the target interval for about 41% of the period.

Relative humidity showed a different response. Although external relative humidity decreased from about 67% to 27%, internal relative humidity remained close to 50% in all three modes and stayed within the 45–55% band for 100% of the evaluated interval. The short-term experiment therefore separated the thermal-control requirement from the moisture response: active cooling was necessary to maintain temperature under the imposed load, whereas the sealed internal volume remained humidity-stable even without active thermal operation.

Energy demand and thermal safety

Hybrid H and active A each consumed approximately 0.058 kWh over 2.83 h, equivalent to a mean power of about 20.5 W. Passive P consumed approximately 0.0055 kWh, corresponding to about 1.94 W. Active operation therefore required approximately 10.5 times more electrical energy than passive operation during the test. The energy reduction in passive mode was accompanied by substantially lower

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

thermal compliance. Figure 3 and Table 2 summarize this trade-off.

The controller did not drive the cold surface below the imposed condensation-protection limit. The hot side of the four Peltier modules reached approximately 37.2 °C at a 2 A pulse and remained well below the prototype thermal cut-off region of approximately 80-90 °C. During the initial transient, the pulse-width-modulation signal consisted of short actuation pulses and then moved toward a more stable duty cycle as the external thermal load increased. No pronounced overshoot of the internal temperature was reported.

Pollutant attenuation

The enclosure also reduced short-term penetration of particulate and volatile contaminants. External PM2.5 increased from approximately 10 µg/m³ to a peak near 88 µg/m³, whereas the internal concentration remained predominantly below 15 µg/m³. Using 15 µg/m³ as a conservative upper-bound comparison gives an attenuation indicator of at least 83.0%. External total volatile organic compounds reached approximately 445 µg/m³; internal values remained below approximately 80-90 µg/m³, with the strongest decrease observed in the active mode toward about 15-20 µg/m³ later in the test. Using the conservative 90 µg/m³ upper bound gives a peak-comparison attenuation of at least 79.8%.

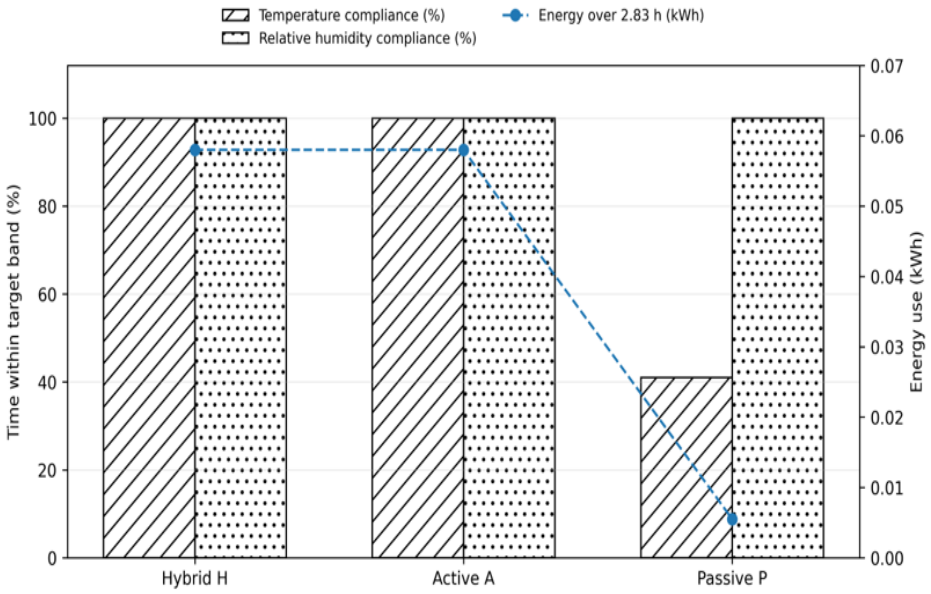


Fig. 3. Comparative environmental compliance and electrical energy use for the three operating modes.

Interpretation of results

The results support the central hypothesis that local active cooling is necessary when a compact archival enclosure is subjected to a strong thermal disturbance. Passive operation used very little energy, but internal temperature rose beyond the adopted 20 °C upper bound for a substantial portion of the test. In contrast, both active configurations maintained full thermal compliance while external temperature

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

increased from 16 to 32 °C. This does not establish that a 20.5 W mean electrical load will be sufficient in every repository; it demonstrates that the tested local thermal path could reject the imposed short-term load without losing the selected internal set point.

Table 2. Comparative microclimate and energy performance

Mode	Temperature in band	RH in band	Energy (kWh)	Mean power (W)	End-point behavior
Hybrid H	100%	100%	0.058	20.5	Inside ≈18.4 °C at 32 °C outside
Active A	100%	100%	0.058	20.5	Inside ≈18.4 °C at 32 °C outside
Passive P	≈41%	100%	0.0055	1.94	Inside rose to ≈22 °C

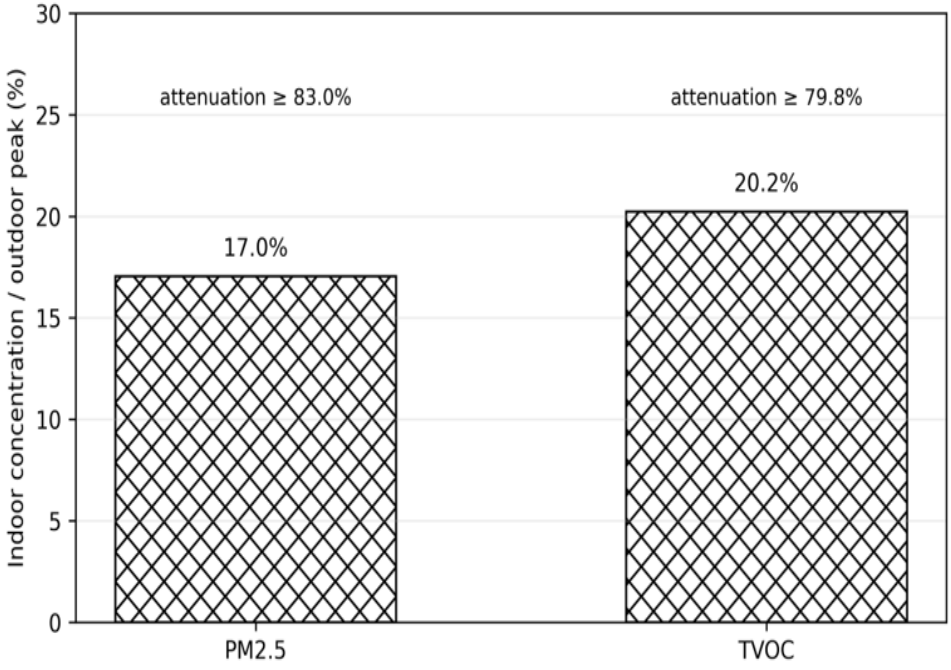


Fig. 4. Conservative indoor-to-outdoor peak concentration ratios for PM2.5 and total volatile organic compounds.

Table 3. Descriptive pollutant-exposure indicators

Indicator	Outdoor peak	Indoor upper value	Indoor/peak ratio	Attenuation indicator
PM2.5	≈88 μg/m³	≤15 μg/m³	≤17.0%	≥83.0%
TVOC	≈445 μg/m³	≤90 μg/m³	≤20.2%	≥79.8%

This localized behavior is consistent with the broader argument that repository-wide conditioning and object-level protection solve different problems. Recent storage and risk-management studies emphasize that preservation performance depends on the

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

interaction among enclosure, collection type, building environment, and operational practice (Elnaggar et al., 2024). Hourcade (2021) similarly emphasizes the influence of storage infrastructure and operational conditions. A sealed local enclosure can reduce the volume that requires tight control, but it also concentrates design risks: heat rejection must remain reliable, seals must not trap harmful emissions, and interior materials must be compatible with conservation requirements.

The humidity result requires careful interpretation. Relative humidity remained within the target band for 100% of the short experiment in all modes, including the active configuration without ArtSorb. This does not demonstrate that passive buffering is unnecessary. The 2.83 h duration is too short to characterize sorbent capacity, regeneration interval, behavior under repeated lid opening, or cyclic moisture loads. The result is better understood as short-term humidity stability of a small sealed volume, consistent with enclosure studies that emphasize air exchange and mass-transfer dynamics (Novak et al., 2024). Markelj et al. (2025) provide a related mass-transfer perspective on archival-box buffering behavior. Ryhl-Svendsen (2026) further addresses ventilation, buffering, and pollutant dynamics inside archival boxes and paper stacks.

The energy comparison also explains why a hybrid strategy remains attractive even though hybrid H and active A consumed almost identical energy during this particular thermal ramp. ArtSorb does not remove the dominant sensible heat load and therefore cannot be expected to reduce Peltier energy during a short, steadily increasing thermal disturbance. Its role is moisture buffering and functional redundancy. A longer supervisory duty cycle could keep active cooling off while conditions remain within the thermal band and activate it only when temperature risk becomes significant; however, such duty-cycle optimization was not tested here.

Air-quality protection is a second important result. Fine particles and volatile compounds can contribute to soiling, oxidation, corrosion, hydrolysis, and other degradation processes. The observed reductions are therefore encouraging, but they should be described as exposure attenuation rather than formal filtration efficiency. The comparison used external peaks and internal upper values whose maxima were not proven to be time-aligned. A delayed transport response, adsorption, sedimentation, sensor response time, and enclosure emissions may all influence the ratios. Albert-Tortosa et al. (2024) support the relevance of monitoring volatile compounds in closed heritage spaces. Kammer et al. (2021) likewise demonstrate the importance of characterizing volatile emissions from heritage materials.

The three-dimensional thermal field reported for the prototype also indicated vertical non-uniformity: the lower region near the cooling surface was colder, while warmer zones remained near the lid and upper wall areas. This is physically plausible because the Peltier plate extracts heat locally while natural convection and envelope heat gain redistribute energy through the air volume. Consequently, a single sensor at one height may overstate or understate the thermal protection experienced by documents located elsewhere in the box. Bellazzi et al. (2026) support the broader emphasis on distributed environmental sensing in heritage monitoring. Bucciero et al. (2026) also

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

demonstrate wireless microclimate sensing in cultural-heritage environments. Ceres et al. (2024) further show the value of distributed microclimate and indoor-air-quality monitoring.

The control behavior provides useful engineering evidence. Cascade regulation with anti-windup allowed the cooling command to increase with external load without a reported temperature overshoot, while the dew-point constraint kept the cold surface above the defined safety threshold. This is important for paper-based material because accidental condensation can create a more immediate risk than a moderate temperature excursion. At a higher system level, the same monitored state variables could later support digital-twin or predictive-management layers described by Guo et al. (2024). Mazzetto (2024) provides a related perspective on integrating digital twins with heritage-conservation technologies. Sugiyama et al. (2025) describe a structured Heritage Digital Twin assessment methodology. Zhang et al. (2026) illustrate the use of a digital twin for smart collection storage.

Several limitations define the strength of the conclusions. The experiment lasted only 2.83 h and represents a single laboratory campaign; there were no repeated trials, uncertainty propagation, or statistical estimates. Sensor calibration error, air leakage rate, enclosure thermal resistance, and Peltier coefficient of performance were not quantified. Humidity-buffer saturation, filter loading, repeated access events, power interruption, and different document fill levels were not tested. The pollutant comparison does not constitute a standardized challenge test, and the experimental rack was a temporary laboratory structure rather than a finalized archival installation. The results should therefore be interpreted as functional feasibility and comparative short-term behavior, not as validated service life or universal conservation suitability.

Conclusion.

This study evaluated a sealed archival storage enclosure from the specific perspective of microclimate stability, exposure reduction, and energy demand. Under a short laboratory disturbance in which ambient temperature increased from 16 to 32 °C, active and hybrid control maintained the internal temperature near 18.4 °C and achieved 100% compliance with the adopted 16-20 °C band. Passive operation reduced electrical consumption by roughly an order of magnitude but maintained the target temperature for only about 41% of the period. Relative humidity remained close to 50% in all modes during the short exposure, indicating strong short-term buffering by the sealed internal environment while not allowing the long-term contribution of the sorbent cassette to be isolated. The active modes consumed approximately 0.058 kWh in 2.83 h, corresponding to about 20.5 W mean power, and the control system maintained the cooling surface above the defined condensation-safety threshold. Conservative peak comparisons indicated at least 83.0% attenuation of PM2.5 exposure and at least 79.8% attenuation of total volatile organic compounds. The results support localized active thermal control as an effective short-term protection mechanism, with passive moisture buffering and enclosure sealing serving complementary functions. Longer repeated tests are required before the design can be treated as a validated long-term conservation solution.

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

REFERENCES

Albert-Tortosa, F., Margarit Roig, L., Oriols, N., & Broto-Puig, F. (2024). Detection of volatile organic compounds in airtight exhibition spaces by GC-MS using two complementary injection techniques // Journal of Cultural Heritageю — Vol. 66. — Pp. 187–196. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.11.017. [In Eng.].

Antomarchi, C., Debulpaep, M., de Guichen, G., Lambert, S., & Verger, I. (2021). RE-ORG: Unlocking the potential of museum collections in storage // Museum International. — Vol. 73. — No. 1-2. — Pp. 206–217. DOI: https://doi.org/10.1080/13500775.2021.1956772 [In Eng.].

Bellazzi, A., Barozzi, B., Belussi, L., Devitofrancesco, A., Ghellere, M., Maffè, C., Salamone, F., & Danza, L. (2026). Preliminary microclimate monitoring for preventive conservation and visitor comfort: The case of the Ligurian Archaeological Museum // Buildings. — Vol. 16. — No. 3. — Pp. 614. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings16030614. [In Eng.].

Bucciero, A., Chirivì, A., Colella, R., Emara, M., Greco, M., Jaziri, M. A., Muci, I., Pandurino, A., Taurino, F. V., & Zecca, D. (2026). IoT-based platform for wireless microclimate monitoring in cultural heritage // Heritage. — Vol. 9. — No. 2. — Pp. 57. DOI: https://doi.org/10.3390/heritage9020057. [In Eng.].

Ceres, G., Shindler, L., Mercuri, F., & Zammit, U. (2024). Development and application of affordable microclimate and indoor air quality monitoring platforms for historic libraries in cultural heritage preservation // Journal of Cultural Heritage. — Vol. 70. — Pp. 203–212. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.09.007. [In Eng.].

Elnaggar, A., Said, M., Kraševec, I., Said, A., Grau-Bove, J., & Moubarak, H. (2024). Risk analysis for preventive conservation of heritage collections in Mediterranean museums: Case study of the Museum of Fine Arts in Alexandria, Egypt // Heritage Science. — Vol. 12. — Pp. 59. DOI: https://doi.org/10.1186/s40494-024-01170-z. [In Eng.].

Gorgolis, G., Ziemann, S., Kotsidi, M., Paterakis, G., Koutroumanis, N., Tsakonas, C., Anders, M., & Galiotis, C. (2023). Novel graphene-based materials as a tool for improving long-term storage of cultural heritage // Materials. — Vol. 16. — No. 9. — Pp. 3528. DOI: https://doi.org/10.3390/ma16093528. [In Eng.].

Guo, Y., Liu, L., Huang, W., Shen, M., Yi, X., Zhang, J., & Lu, S. (2024). Extending X-reality technologies to digital twin in cultural heritage risk management: A comparative evaluation from the perspective of situation awareness // Heritage Science. — Vol. 12. — Pp. 245. DOI: https://doi.org/10.1186/s40494-024-01363-6. [In Eng.].

Hatami, M., & Koramaz, T. K. (2024). A digital twin theoretical model for heritage site management // Journal of Urban and Environmental Engineering. — Vol. 18. — No. 1. — Pp. 16–31. DOI: https://doi.org/10.4090/juee.2024.v18n1.16-31. [In Eng.].

Hourcade, B. N. (2021). Managing museum storage in Rogaland, Norway. Museum International. — Vol. 73. — No. 1-2. — Pp. 194–203. DOI: https://doi.org/10.1080/13500775.2021.1956771. [In Eng.].

International Organization for Standardization. (2024). Information and documentation - Document storage requirements for archive and library materials (ISO 11799:2024). Geneva: ISO. . [In Eng.].

Kammer, J., Truong, F., Boissard, C., Soulié, A.-L., Dupont, A.-L., Simon, L., Gros, V., & Lavédrine, B. (2021). Quantitative and qualitative assessment of VOCs emitted from cellulose acetate movie films by PTR-ToF-MS // Journal of Cultural Heritage. — Vol. 47. — Pp. 50–58. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.004. [In Eng.].

Laohaviraphap, N., & Waroonkun, T. (2024). Integrating artificial intelligence and the Internet of Things in cultural heritage preservation: A systematic review of risk management and environmental monitoring strategies // Buildings. — Vol. 14. — No. 12. — Pp. 3979. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14123979. [In Eng.].

Li, J., Zheng, X., Watanabe, I., & Ochiai, Y. (2024). A systematic review of digital transformation technologies in museum exhibition // Computers in Human Behavior. — Pp. 161. Article 108407. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108407. [In Eng.].

Markelj, J., Grau-Bove, J., Kraševec, I., Vereecken, E., & Strlič, M. (2025). A simple generalized mass transfer model for evaluation of the environmental performance of archival boxes. npj Heritage Science. — Vol. 13. — Pp. 387. DOI: https://doi.org/10.1038/s40494-025-01958-7. [In Eng.].

Mazzetto, S. (2024). Integrating emerging technologies with digital twins for heritage building conservation: An interdisciplinary approach with expert insights and bibliometric analysis // Heritage. — Vol. 7. — No. 11. — Pp. 6432–6479. DOI: https://doi.org/10.3390/heritage7110300. [In Eng.].

Montuori, M. (2024). Bridging past and present: Cutting-edge technologies for predictive conservation of built cultural heritage. The International Archives of the Photogrammetry // Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-4/W10-2024. — Pp. 139–145. DOI: https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W10-2024-139-2024. [In Eng.].

Novak, M., Grau-Bove, J., De Stefani, C., Checkley-Scott, C., Kraševec, I., Kralj Cigić, I., & Elnaggar, A. (2024). Evaluation and modelling of the environmental performance of archival boxes, part 1: Material and

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

environmental assessment // Heritage Science. — Vol. 12. — Pp. 24. DOI: https://doi.org/10.1186/s40494-024-01137-0. [In Eng.].

Ponce, H., Gutiérrez, S., Botero-Valencia, J., Marquez-Viloria, D., & Castano-Londono, L. (2024). An intelligent climate monitoring system for hygrothermal virtual measurement in closed buildings using Internet-of-Things and artificial hydrocarbon networks // Heliyon. — Vol. 10. — No. 11. e31716. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31716. [In Eng.].

Rasoarifetra, B. (2021). The RE-ORG method applied to collection storage at the Andafiavaratra Palace Museum, Madagascar // Museum International. — Vol. 73. — No. 1-2. — Pp. 218–225. DOI: https://doi.org/10.1080/13500775.2021.1956773. [In Eng.].

Ryhl-Svendsen, M. (2026). Microclimate behaviour inside archival boxes, books, and paper stacks: Buffering, ventilation, and pollutant dynamics // Heritage. — Vol. 9. — No. 2. — Pp. 63. DOI: https://doi.org/10.3390/heritage9020063. [In Eng.].

Sevilla, J., Samper, J. J., Fernández, M., & León, A. (2023). Ontology and software tools for the formalization of the visualisation of cultural heritage knowledge graphs // Heritage. — Vol. 6. — No. 6. — Pp. 4722–4736. DOI: https://doi.org/10.3390/heritage6060251. [In Eng.].

Sugiyama, G., Bourgeois, I. C., & Rodrigues, H. (2025). A holistic methodology for the assessment of Heritage Digital Twin applied to Portuguese case studies. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. — Vol. 36. — e00390. DOI: https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00390. [In Eng.].

Wickens, J. D. J. (2026). Preventive conservation: Continuously defining itself at the crossroads of theory and practice // Journal of the American Institute for Conservation. — Vol. 65. — No. 1. — Pp. 3-15. DOI: https://doi.org/10.1080/01971360.2024.2348924. [In Eng.].

Zhang, J., Lu, R., Xu, C., & Luo, J. (2026). Exploratory research on smart collection storage based on digital twin: A case study of China Grand Canal Museum // Journal of Cultural Heritage. — Vol. 80. — Pp. 253-262. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2026.05.018. [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"