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

INFORMATION TECHNOLOGY
АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 101–121
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.006

МРНТИ 20.53

ARCHITECTURE AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF A DIGITAL PLATFORM FOR MONITORING AND DATA EXCHANGE ON TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES IN THE ZHAMBYL REGION

D. Abzhanova, S. Sharipova*
Astana IT University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz

Dilara Abzhanova — PhD student, Director of the Center of Competence and Excellence, Astana IT University, Astana, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-7988-3971;
Saltanat Sharipova — PhD, Assistant Professor of the School of Software Engineering, Astana IT University, Astana, Kazakhstan
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-7267-3261.

© D. Abzhanova, S. Sharipova

Abstract. The article presents the architecture and practical operation of the aquageo.kz digital platform for collecting, storing, spatially analyzing, and exchanging water-resource data in the Zhambyl region. The study aims to refine the data architecture and telemetry validation rules for a single measurement cross-section. The monitoring unit consists of four POTOK 100 ultrasonic flowmeters installed across one irrigation canal with a 10-minute registration interval. A quality-control scheme is proposed that considers channel synchronization, temporal completeness, instrument ranges, device status, and measurement units. A comparison of archived dumps of the MySQL Promanalit operating database and full-scale control measurements by trusted GMCM-1 turntables revealed a systemic interpretation problem: flowmeters record and transmit the volumetric flow rate in m3/h, whereas in the web interface the values were displayed with the signature m3/s without software recalculation (division by 3600). An ETL validation and normalization pipeline has been proposed and implemented, separating raw and verified flow rates. The platform also integrates

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

remote sensing data stored in PostgreSQL/PostGIS. The results highlight the need to separate raw measurements, software aggregates, and physically interpretable flow indicators before further analysis and decision-making.

Keywords: digital platform, water resources monitoring, transboundary waters, open channel, water flow, telemetry, IoT

For citation: Abzhanova D., Sharipova S. (2026). Architecture and practical implementation of a digital platform for monitoring and data exchange on transboundary water resources in the Zhambyl region // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 101–121. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.006. (In Russ.)

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 (Grant No. BR24993128, "Development of an Information and Analytical Decision-Making System for the Efficient Use of Transboundary Water Resources in the Agricultural Sector of the Zhambyl Region").*

ЖАМБЫЛ ӨҢІРІНІҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕР АЛМАСУҒА АРНАЛҒАН ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАНЫҢ АРХИТЕКТУРАСЫ МЕН ПРАКТИКАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова*
Astana IT University, Астана, Қазақстан.
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz

Абжанова Дилара Ерлановна — докторант, Құзыреттілік және жетілдіру орталығының директоры, Astana IT University, Астана, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0002-7988-3971;
Шарипова Салтанат Еркиновна — PhD, Бағдарламалық инженерия мектебінің ассистент-профессоры, Astana IT University, Астана, Қазақстан
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-7267-3261.

© Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова

Аннотация. Мақалада Жамбыл өңірінің су ресурстары туралы деректерді жинауға, сақтауға, кеңістіктік талдауға және регламенттелген түрде алмасуға арналған aquageo.kz цифрлық платформасының архитектурасы мен практикалық пайдалану нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты – бір өлшеу қимасына қатысты деректер архитектурасын және телеметриялық деректерді валидациялау қағидаларын нақтылау. Өлшеу торабы бір ирригациялық арнаның көлденең қимасы бойымен орнатылған төрт POTOK 100 ультрадыбыстық шығын өлшегіштен тұрады, тіркеу аралығы – 10 минут. Арналардың синхрондалуын, уақыт-

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

тық толықтықты, аспаптың паспорттық диапазондарын, құрылғылардың күйін және өлшем бірліктерін ескеретін сапаны бақылау схемасы ұсынылған. MySQL promanalit операциялық дерекқорының мұрағаттық қоқыстарын және гмцм-1 сенімді айналмалы үстелдерімен заттай Бақылау өлшемдерін салыстыру түсіндірудің жүйелік мәселесін анықтады: Шығын өлшегіштер көлемдік шығынды м3/сағ-қа тіркейді және жібереді, ал веб-интерфейсте мәндер бағдарламалық қайта есептеусіз м3/с қолтаңбасымен көрсетілген (3600-ге бөлу). Шикі және верификацияланған Шығыс көрсеткіштерін бөлетін ETL-валидация және қалыпқа келтіру құбыры ұсынылды және енгізілді. Платформаның жеке контуры Жерді қашықтықтан зондтау деректерін интеграциялауды және оларды PostgreSQL/PostGIS жүйесінде сақтауды қамтамасыз етеді. Нәтижелер аналитикада және басқарушылық шешімдерді қолдауда пайдаланар алдында бастапқы өлшемдерді, бағдарламалық агрегаттарды және физикалық тұрғыдан интерпретацияланатын су шығыны көрсеткіштерін өзара ажырату қажеттігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: цифрлық платформа, су ресурстарын мониторингтеу, трансшекаралық сулар, ашық арна, су шығыны, телеметрия, IoT

Дәйексөздер үшін: Абжанова Д.Е., Шарипова С.Е. (2026). Жамбыл өңірінің трансшекаралық су ресурстарын мониторингтеу және деректер алмасуға арналған цифрлық платформаның архитектурасы мен практикалық іске асырылуы // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 101–121. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.006. (Орыс. тіл.).

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

Қаржыландыру. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (№ BR24993128 гранты «Жамбыл өңірінің ауыл шаруашылығы саласында трансшекаралық су ресурстарын тиімді пайдалану үшін шешім қабылдауға арналған ақпараттық-талдамалық жүйені әзірлеу»).*

АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ МОНИТОРИНГА И ОБМЕНА ДАННЫМИ О ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСАХ ЖАМБЫЛСКОГО РЕГИОНА

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова*
Astana IT University, Астана, Казахстан.
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz

Абжанова Дилара Ерлановна — докторант, Директор Центра компетенций и совершенства, Astana IT University, Астана, Казахстан
https://orcid.org/0000-0002-7988-3971;
Шарипова Салтанат Еркиновна — PhD, Ассистент-профессор Школы

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

программной инженерии, Astana IT University, Астана, Казахстан
E-mail: saltanat.sharipova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-7267-3261.

© Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова

Аннотация. В статье представлена архитектура и результаты практической эксплуатации цифровой платформы aquageo.kz, предназначенной для сбора, хранения, пространственного анализа, регламентированного обмена данными о водных ресурсах Жамбылского региона. Цель исследования – уточнить архитектуру данных и правила валидации телеметрии одного измерительного створа. Узел включает четыре ультразвуковых расходомера РОТОК 100, установленных поперек одного ирригационного канала, с периодом регистрации 10 мин. Предложена схема контроля качества, учитывающая синхронизацию каналов, временную полноту, паспортные диапазоны, состояние приборов и единицы измерения. Сопоставление архивных дампов операционной базы данных MySQL Promanalit и натурных контрольных замеров поверенными вертушками ГМЦМ-1 выявило системную проблему интерпретации: расходомеры регистрируют и передают объемный расход в м³/ч, тогда как в веб-интерфейсе значения отображались с подписью м³/с без программного пересчета (деления на 3600). Предложен и внедрен конвейер ETL-валидации и нормализации, разделяющий сырые и верифицированные показатели расхода. Отдельный контур платформы обеспечивает интеграцию пространственных данных ДЗЗ и их хранение в PostgreSQL/PostGIS. Результаты показывают необходимость разделения сырых измерений, программных агрегатов и физически интерпретируемых показателей расхода до их использования в аналитике и поддержке управленческих решений.

Ключевые слова: цифровая платформа, мониторинг водных ресурсов, трансграничные воды, открытый канал, расход воды, телеметрия, IoT

Для цитирования: Абжанова Д.Е., Шарипова С.Е. (2026). Архитектура и практическая реализация цифровой платформы мониторинга и обмена данными о трансграничных водных ресурсах Жамбылского региона // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 101–121. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.006. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. *Данное исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № BR24993128 «Разработка информационно-аналитической системы для принятия решений для эффективного использования трансграничных водных ресурсов в сельскохозяйственной отрасли Жамбылского региона».*

Введение.

Реки Шу и Талас являются трансграничными водными системами, совместно используемыми Республикой Казахстан и Кыргызской Республикой.

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

Для орошаемого земледелия Жамбылской области устойчивое управление этими ресурсами требует не только межгосударственного согласования режимов вододеления, но и сопоставимых, своевременных и проверяемых данных наблюдений (UNECE, б. г.). В этой постановке цифровая система водного мониторинга должна одновременно обеспечивать надежное получение первичных измерений и формировать прослеживаемые информационные продукты для аналитиков, органов управления и водопользователей.

Научная достоверность автоматизированного водоучета определяется не числом подключенных датчиков само по себе, а корректной интерпретацией геометрии измерительного створа, единиц измерения, калибровочных коэффициентов и временной полноты ряда. Для открытых каналов стандарт ISO связывает определение расхода с измерением скоростей потока и площади поперечного сечения (ISO, 2021). В рассматриваемом узле четыре датчика установлены поперек одного канала, поэтому четыре телеметрических канала следует трактовать как компоненты одного измерительного створа, а не как четыре независимых расхода водотока.

Современные системы мониторинга водных объектов подтверждают практическую значимость IoT-подходов, однако одновременно показывают необходимость контроля качества измерений. Для сельскохозяйственных каналов Казахстана описаны многоуровневые архитектуры реального времени с сенсорами и облачным хранением (Borankulova et al., 2025). Экспериментальная оценка ультразвуковых датчиков в открытых каналах показывает, что турбулентность способна увеличивать ошибку измерения уровня и требует калибровки в фактических условиях потока (Pereira et al., 2022). Долговременная эксплуатация LevelWAN демонстрирует значение автономности, устойчивости и непрерывного контроля состояния недорогих сенсорных узлов (Cherif et al., 2025), а распределенные IoT-сети гидрометеорологического мониторинга показывают необходимость явного учета передачи, потерь и временных меток наблюдений (Mendoza-Cano et al., 2021). Для Жамбылской области также показана эффективность взаимной проверки ультразвуковых и визуальных измерений уровня в гибридной IoT–VIoT системе (Tungatarova et al., 2026).

На этом фоне задача настоящей работы состоит не в разработке новой физической модели стока, а в формализации измерительной семантики и архитектуры данных действующей платформы aquageo.kz. Цель исследования – описать воспроизводимый контур сбора, нормализации, пространственного хранения и обмена данными, в котором телеметрия одного поперечного створа сохраняется с трассируемостью и проходит проверку качества до аналитической интерпретации. Научная новизна заключается в совместном рассмотрении архитектуры данных и измерительной семантики: каналы flow1–flow4 хранятся раздельно как первичные наблюдения, но логически объединяются одним створом; перед расчетом производных показателей контролируются временная полнота и единицы измерения. Такой подход снижает риск повторного или ошибочного суммарного учета показаний и превращает веб-интерфейс из средства визуализации в эле-

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

мент верифицируемого измерительного контура.

Для достижения цели сформулированы три исследовательских вопроса. Во-первых, каким образом четыре телеметрических канала одного поперечного створа должны быть представлены в информационной модели, чтобы исключить их ошибочную трактовку как независимых расходов? Во-вторых, какую диагностическую информацию о качестве временного ряда можно получить из доступных эксплуатационных метаданных панели при отсутствии полного набора серверных журналов? В-третьих, позволяет ли сопоставление интерфейсных значений с паспортными характеристиками РОТОК 100 выявлять ошибки семантики единиц до использования данных в расчетах? Рабочее предположение исследования состоит в том, что сохранение первичного значения вместе с его исходной единицей, идентификатором сенсора, принадлежностью к створу и признаком качества создает более надежную основу для последующей агрегации, чем хранение только готового сводного показателя. Проверка этого предположения выполняется на уровне архитектурной и метрологической согласованности; а гидрометрическая точность и согласованность шкал верифицируются сопоставлением с контрольными натурными измерениями поверенной гидрометрической вертушкой.

Мониторинг расхода в открытых каналах. Расход воды в открытом русле определяется интегрированием нормальной составляющей скорости по площади живого сечения. В дискретном представлении поперечное сечение делится на участки, для которых измеряются характерные скорости и назначаются соответствующие площади. Такой velocity–area подход лежит в основе ISO и методических руководств Всемирной метеорологической организации (ISO, 2021; WMO, 2008). Следовательно, несколько точек измерения поперек одного канала повышают пространственную представительность профиля скорости, но не образуют несколько независимых водотоков.

В информационной системе необходимо различать первичное показание конкретного прибора, расчетный параметр локальной части сечения и суммарный расход всего створа. Смешение этих уровней создает методическую ошибку, при которой отдельные значения flow1–flow4 могут быть ошибочно интерпретированы как самостоятельные расходы одного и того же канала. Поэтому физический объект «створ», положение датчика и алгоритм получения агрегата должны быть представлены в модели данных как отдельные, но связанные сущности.

Пространственный контекст и данные дистанционного зондирования. Наземная телеметрия обеспечивает высокую временную дискретность, но пространственно локальна. Дистанционное зондирование, напротив, позволяет наблюдать русла, водные зеркала и прилегающие сельскохозяйственные территории на площадном уровне. Google Earth Engine предоставляет облачную среду для обработки больших архивов спутниковых данных (Gorelick et al., 2017), а данные Sentinel-2 обеспечивают мультиспектральные наблюдения с пространственным разрешением до 10 м для части каналов и частой повторяемостью съемки (Google Earth Engine Data Catalog, 2026). Глобальные исследования на

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

основе архивов Landsat показали применимость многолетних спутниковых рядов для анализа изменений поверхностных вод, включая регионы Центральной Азии (Pekel et al., 2016).

Для выделения открытой воды используются спектральные индексы NDWI и MNDWI, предложенные McFeeters и Xu (McFeeters, 1996; Xu, 2006) для Sentinel-2 продемонстрировано картографирование водных объектов на основе MNDWI с высоким пространственным разрешением (Du et al., 2016). В данной работе ДЗЗ рассматривается как самостоятельный пространственный контур: его продукты дополняют наземную телеметрию, но не заменяют метрологическую проверку расхода и не используются для прямой калибровки без синхронизированного полевого эксперимента. В рамках практической реализации ДЗЗ-контура настроен регулярный мониторинг площади водного зеркала и термического режима на полигоне Тасоткельского водохранилища (бассейн реки Шу). Микросервис на языке Python с использованием библиотеки earthengine-api и фреймворка geemap в автоматическом режиме осуществляет пакетную выгрузку спутниковых коллекций Sentinel-2 (Level-1C, каналы B3 Green и B8 NIR, пространственное разрешение 10 м) и Terra MODIS (продукт MOD11A1.061, LST_C с пространственным разрешением 1 км).

Для исключения артефактов применяется фильтр облачности (cloudy_pixel_percentage < 20 %) и маскирование зимнего периода с отрицательными температурами поверхности ($LST \leq 0\,^{\circ}C$), при которых ледовый и снежный покров искажают спектральную сигнатуру воды. Векторизованные водные маски (NDWI > 0) сохраняются в слоях PostGIS, обеспечивая пространственную верификацию гидрологических запасов региона

Пространственное хранение и обмен данными. Для объединения телеметрии, геометрии объектов и результатов ДЗЗ требуется хранилище, поддерживающее пространственные типы и индексы. PostGIS расширяет PostgreSQL средствами хранения и анализа географических объектов, включая пространственные индексы и функции пространственных отношений (PostGIS Project, 2026). В aquageo.kz центральное хранилище используется как точка консолидации нормализованных временных рядов и геоданных, тогда как API и веб-панель обеспечивают контролируемую выдачу результатов (AquaGeo.kz, 2026; Нефтисов и др., 2025).

Для дальнейшего развития обмена данными полезны международные модели наблюдений. ISO 19156:2023 задает концептуальную схему наблюдений, измерений и проб, а OGC SensorThings API предоставляет унифицированную геопространственную модель для сенсоров, потоков данных, наблюдаемых свойств и наблюдений (ISO, 2023; OGC, 2021). Предлагаемое в настоящей работе разделение объекта, створа, сенсорного канала, единицы и наблюдения концептуально согласуется с этим подходом, хотя формальная совместимость aquageo.kz с указанными стандартами в рамках исследования не проверялась.

Для воспроизводимости критична не только схема таблиц, но и происхождение каждого значения. Поэтому при переносе записи из операционного буфера

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

в центральное хранилище должны сохраняться исходная временная метка, идентификатор источника, единица прибора и результат проверки качества, а нормализованное значение формироваться как отдельный атрибут. Такое разделение позволяет повторить преобразование, обнаружить ошибочный коэффициент пересчета и отличить изменение физического сигнала от изменения программной логики. В пространственном контуре тот же принцип применяется к данным ДЗЗ: продукт должен быть связан с источником, датой наблюдения и территорией, к которой относится результат обработки. В настоящем исследовании эти требования рассматриваются как правила проектирования и трассируемости; полнота их реализации должна быть дополнительно подтверждена аудитом базы данных и ETL-журналов.

Материалы и методы.

Конфигурация телеметрического створа. В рассматриваемом измерительном узле четыре ультразвуковых расходомера POTOK 100 установлены поперек одного ирригационного канала и относятся к одному измерительному створу. Каждый прибор соответствует отдельной позиции по ширине канала и формирует собственный телеметрический канал flow1, flow2, flow3 и flow4. Номинальный интервал регистрации составляет 10 мин, то есть $\Delta t = 600$ с. Паспорт POTOK 100 предусматривает переносную модификацию POTOK 100-P и стационарную POTOK 100-F; в имеющихся эксплуатационных материалах индекс конкретной модификации установленных приборов не зафиксирован, поэтому вариант исполнения не предполагается без документального подтверждения (Проманалит, 2024). Фактическим объектом натурных исследований является гидропост на бетонированном участке реки Талас вблизи села Жасоркен Жамбылской области (координаты створа: 43°01′ с. ш., 71°23′ в. д.). Русло представляет собой трапецеидальный канал со следующими геометрическими параметрами: ширина по дну b = 47,6 м, ширина по урезу верха B = 56,0 м, максимальная строительная глубина H = 4,2 м, заложение откосов (длина бедра) m = 5,94 м. На дне канала стационарно смонтированы четыре ультразвуковых доплеровских преобразователя стационарной модификации POTOK 100-F, разбивающие створ на 4 расчетных сектора с равномерным шагом 9,52 м. Это обеспечивает представительный охват эпюры скоростей по ширине сечения.

Архитектура платформы. Архитектура aquageo.kz разделена на три уровня: сбор данных, функциональное ядро и уровень потребителей. Наземная телеметрия сначала поступает в операционный буфер MySQL Promanalit. Фоновая ETL-служба извлекает новые записи, проверяет структуру, временные метки и единицы измерения, после чего загружает нормализованные записи в PostgreSQL/PostGIS. Отдельный контур обрабатывает данные Landsat/Sentinel/MODIS через Google Earth Engine. Результаты объединяются в центральном хранилище и становятся доступны модулю анализа, библиотеке отчетов и API Gateway (AquaGeo.kz, б. г.; Нефтисов и др., 2025).

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

Таблица 1. Паспортные технические характеристики ультразвукового расходомера РОТОК 100, используемые для контроля качества телеметрии.

Характеристика	Паспортное значение	Использование в платформе
Диапазон измерения расхода, м³/ч	РОТОК 100-P: 1,5–1 440 000; РОТОК 100-F: 8–1 440 000	Проверка диапазона и единицы первичного значения
Предел допускаемой относительной погрешности расхода	±1,5 %	Метрологический предел прибора; не заменяет полевую валидацию
Диапазон показаний скорости, м/с	0,02–12	Контроль отображаемого значения
Диапазон измерения скорости, м/с	0,02–2	Контроль валидности измеряемой скорости
Предел допускаемой относительной погрешности скорости	±1 %	Метрологический контроль скорости
Диапазон измерения уровня потока, мм	0–5000	Контроль физически допустимого уровня
Основная приведенная погрешность измерения уровня	±0,5 % от максимального значения шкалы	Учет при оценке неопределенности
Температура рабочей жидкости, °C	0–60	Контроль температурного диапазона
Предел допускаемой абсолютной погрешности температуры	±0,5 °C	Метрологический контроль температуры
Цифровой интерфейс	RS-485, Modbus RTU	Потенциальный канал интеграции; фактическая схема подключения должна быть подтверждена

Источник: паспорт и руководство по эксплуатации РОТОК 100 (Проманалит, 2024).

Паспорт нормирует расход в м³/ч. Поэтому подпись «м³/с» в существующей веб-панели не должна использоваться в научных расчетах без проверки программного пересчета. Если значения передаются от РОТОК 100 в м³/ч и не преобразуются в backend, для представления в м³/с необходимо деление на 3600.

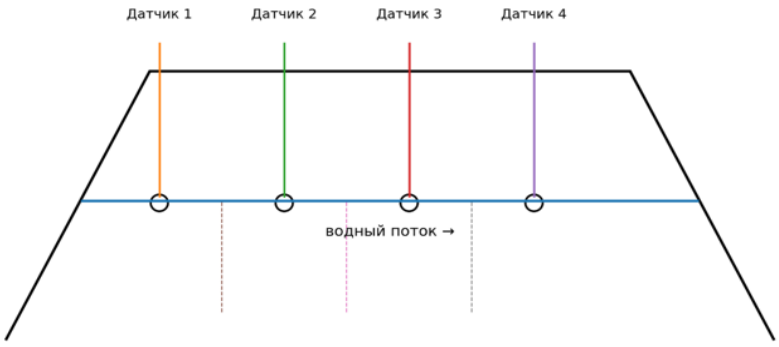


Рис. 1. Принципиальная схема одного поперечного измерительного створа с четырьмя датчиками

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

Поскольку четыре прибора относятся к одному поперечному створу, измерительное сечение канала разбивается на четыре фиксированных гидравлических сектора (отсека). Расчет мгновенного суммарного расхода через створ базируется на методе «скорость–площадь» (velocity–area) в дискретной аддитивной форме:

$$Q_{\text{общ}}(t_k) = \sum_{j=1}^{4} Q_j(t_k) = \sum_{j=1}^{4} \left(v_j(t_k) \cdot A_j(h_k)\right),$$

где $v_j(t_k)$ — средняя скорость потока, регистрируемая *j*-м доплеровским датчиком в *j*-м секторе створа;

$A_j(h_k)$ — площадь живого сечения *j*-го сектора, определяемая геометрией русла и текущей глубиной над датчиком;

$Q_j(t_k)$ — частичный расход воды через *j*-й сектор створа.

Параметр «Расход ср.», фигурировавший в исходном интерфейсе веб-панели, формировался программным модулем как промежуточное среднее арифметическое показаний активных каналов ($\bar{Q} = \frac{1}{4}\sum Q_j$), что приводило к методическому занижению суммарного физического стока канала в 4 раза. В модернизированной версии платформы реализован переход к строгому расчету суммарного секундного расхода $Q_{\text{общ}}(t_k)$, а также среднесуточных расходов и объемов стока:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{1}{144}\sum_{i=1}^{144} Q_{\text{общ}}(t_i), \qquad V_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^{144} Q_{\text{общ}}(t_i) \cdot \Delta t,$$

где 144 — число плановых 10-минутных интервалов регистрации в сутках (Δt=600 с).

Периодичность, временная шкала и контроль полноты.

Плановая временная сетка определяется выражением $t_k = t_0 + k\Delta t$ при $\Delta t = 10$ мин. Для интервала от первого до последнего зарегистрированного времени теоретическое число записей при полностью непрерывной регистрации вычисляется как:

$$N_{exp} = [(t_{en}d - t_{start})/\Delta t] + 1.$$

Показатель предварительной временной полноты определяется отношением:

$$C_t = (N_{obs}/N_{exp}) \cdot 100\ \%.$$

Этот показатель используется только как диагностический, поскольку

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

счетчик «Всего замеров» в интерфейсе может отражать число принятых, прошедших фильтрацию или доступных записей, а не все циклы опроса. Окончательная оценка полноты должна выполняться по серверным журналам, идентификаторам пакетов и фактическим меткам времени.

Перенос данных между операционным буфером MySQL Promanalit и аналитическим хранилищем PostgreSQL/PostGIS выполняет фоновый сервис ETL. Для исключения ошибок размерности и потери семантики единиц в конвейер внедрена строгая программная нормализация:

```
def normalize_telemetry_stream(raw_payload: dict) -> dict:
    # Чтение из таблицы raw_telemetry (MySQL Promanalit)
    raw_flow = float(raw_payload.get(«flow_rate», 0.0))
    raw_unit = str(raw_payload.get(«unit», «m3/h»)).strip().lower()
        # Приведение к единицам Международной системы (СИ)
    if raw_unit in [«m3/h», «м3/ч», «м³/ч»]:
        normalized_flow = raw_flow / 3600.0
        target_unit = «m3/s»
    elif raw_unit in [«m3/s», «м3/с», «м³/с»]:
        normalized_flow = raw_flow
        target_unit = «m3/s»
    else:
        normalized_flow = None
        target_unit = «UNKNOWN»
       # Проверка физической правдоподобности по гидроствору Жасоркен
    # Максимальная пропускная способность сечения при паводке не превышает 150 м3/с
     is_valid = (normalized_flow is not None) and (0.0 <= normalized_flow <= 150.0)
        return {
        «cross_section_id»: raw_payload.get(«station_id», «TALAS_01»),
        «sensor_id»: raw_payload.get(«sensor_id»),
        «measured_at»: raw_payload.get(«timestamp»),
        «raw_value»: raw_flow,
        «raw_unit»: raw_unit,
       «normalized_value»: round(normalized_flow, 4) if normalized_flow is not None else None,
        «normalized_unit»: target_unit,
        «quality_flag»: 0 if is_valid else 1,
        «sensor_status»: «ACTIVE» if is_valid else «OUT_OF_RANGE»
    }
```

Такая схема исключает попадание искаженных интерфейсных единиц в аналитический слой платформы.

Правила контроля качества телеметрии. Контроль качества выполняется до аналитической интерпретации и включает: (1) проверку уникальности

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

временной метки и идентификатора записи; (2) контроль ожидаемого шага 10 мин и фиксацию пропусков; (3) синхронизацию четырех приборов одного створа; (4) проверку единиц и коэффициентов пересчета; (5) проверку значений по паспортным диапазонам РОТОК 100; (6) сохранение признака состояния прибора; (7) отделение нулевого физического расхода от нулевого значения при отсутствии сигнала или недоступности устройства; (8) проверку алгоритма формирования агрегата «Расход ср.». Для расхода паспортом установлен верхний предел 1 440 000 м³/ч, нижний предел – 1,5 м³/ч для РОТОК 100-Р и 8 м³/ч для РОТОК 100-F; предел допускаемой относительной погрешности расхода составляет ±1,5 %. Диапазон измерения скорости составляет 0,02–2 м/с при погрешности ±1 %, диапазон уровня потока – 0–5000 мм, основная приведенная погрешность уровня – ±0,5 % от максимального значения шкалы; температура рабочей жидкости – 0–60 °С при допускаемой абсолютной погрешности ±0,5 °С (Проманалит, 2024).

Сопоставление паспорта прибора РОТОК 100 с эксплуатационной панелью и архитектурой хранения выявило проблему интерпретации размерностей. В технической документации прибора диапазон нормирован в м³/ч с верхним пределом м³/ч. Аудит исходных пакетов данных подтвердил, что расходомер передает числовые значения расхода именно в м³/ч, тогда как в пользовательском интерфейсе веб-панели они ошибочно отображались под размерностью «м³/с» из-за отсутствия масштабирования на уровне фронтенда. В связи с этим в контур обработки ETL заложено строгое правило нормализации: первичное измерение сохраняется в исходной единице (м³/ч), а приведение к Международной системе единиц (СИ) выполняется обязательным делением на 3600 ($(Q_{м^3/с} = Q_{м^3/ч}/3600).$).

Практически процедура валидации может выполняться последовательно на уровне каждого 10-минутного цикла. Сначала проверяется наличие уникальной временной метки и принадлежность записи к конкретному прибору и створу. Затем контролируется ожидаемый временной шаг и сопоставимость меток четырех каналов; обнаруженный пропуск фиксируется как отдельное состояние, а не заменяется нулем. На следующем этапе проверяются исходная единица и допустимость преобразования в нормализованную единицу. Только после этого числовые значения сравниваются с паспортными диапазонами прибора и анализируется статус устройства. Если хотя бы один из обязательных признаков не подтвержден, запись не должна автоматически участвовать в формировании сводного расхода и получает соответствующий quality_flag. Завершающий этап – проверка алгоритма агрегирования: сводный показатель должен быть связан с конкретным набором первичных записей и версией правила расчета. Такая последовательность не заменяет метрологическую поверку, но предотвращает попадание в аналитический слой данных с неопределенной единицей, происхождением или состоянием сенсора.

Использованные эксплуатационные данные. В исследовании использован фактический фрагмент веб-панели мониторинга, предоставленный авторами и зафиксированный 18.08.2026, паспорт и руководство по эксплуатации РОТОК

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

100, а также внутренние материалы архитектуры платформы (Проманалит, 2024; Нефтисов и др., 2025). На панели отображены длительность работы системы, время первого и последнего замеров, счетчик учтенных измерений, текущие средние значения расхода и скорости, идентификатор последней записи, температура, максимальный сводный показатель и максимумы по четырем измерительным каналам. Значения панели рассматриваются как эксплуатационные данные интерфейса; их физическая интерпретация выполняется только после согласования с паспортными единицами и алгоритмом программной агрегации.

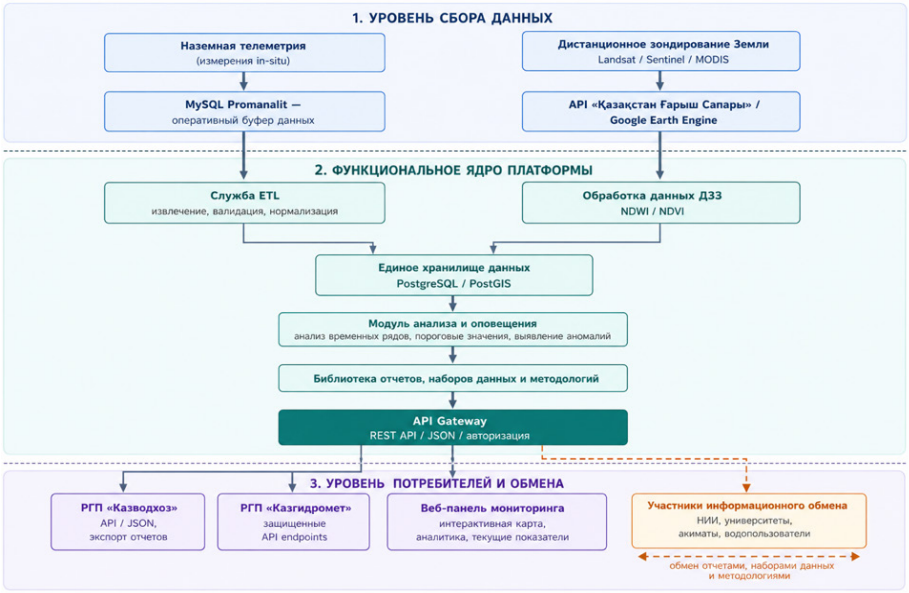


Рис. 2. Трехуровневая архитектура цифровой платформы aquageo.kz

Результаты и обсуждение.

Функционирование телеметрического контура. Разработанный контур обеспечивает автоматизированное периодическое накопление временных рядов и их отображение в веб-интерфейсе. Ключевым результатом является прослеживаемость от отдельного сенсорного канала до агрегированной визуализации. Четыре расходомерных канала закреплены за одним объектом и одним поперечным створом, что устраняет неоднозначность физической интерпретации данных.

Примечание. Значения расходов передаются приборами в м³/ч и нормализуются делением на 3600. Рабочий диапазон расходов в вегетационный период составляет 20–35 м³/с (72 000–126 000 м³/ч), что подтверждено совместными контрольными измерениями вертушкой ГМЦМ-1 № 1605 (расхождение со стационарным доплеровским расходомером по вертикалям составило от 2,6 % до 11,8 %). Значение 1 058 608,8 м³/ч (294,06 м³/с) является аппаратно-программным выбросом пусконаладочного этапа и в аналитический слой не допускается.

Диагностика временной полноты. Интервал между первым замером 03.04.2025 16:33 и последним замером 18.08.2026 11:14 составляет 501,78 суток.

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

При строго непрерывной периодичности 10 мин за этот интервал ожидается 72 257 временных отсчетов. Если счетчик «Всего замеров = 40 468» интерпретировать как число сохраненных 10-минутных циклов, предварительный коэффициент временной полноты составляет:

$$C_t \approx \frac{40\,468}{72\,257} \cdot 100\% \approx 56{,}0\ \%.$$

Эксплуатационные показатели панели мониторинга.

Таблица 2. Эксплуатационные показатели панели aquageo.kz и их проверка по паспортным единицам РОТОК 100.

Показатель	Значение в интерфейсе панели (сырые данные)	Исходная единица (паспорт РОТОК 100)	Нормализованное значение (СИ, м³/с)	Диагностический и гидрометрический комментарий
Время работы системы	501 дн. 18 ч. 41 мин.	—	—	Интервал сбора данных
Первый замер	03.04.2025 16:33	—	—	Дата ввода узла в опытную эксплуатацию
Последний замер	18.08.2026 11:14	—	—	Дата фиксации рабочего фрагмента панели
Всего замеров (валидных циклов)	40 468	цикл	—	Число пакетов, успешно прошедших валидацию целостности
Номер последнего замера	51 223	индекс	—	Первичный ключ id автоинкремента в MySQL Promanalit
Расход общий (паводковый максимум)	1 058 608,8 (подписан как «м³/с»)	м³/ч	294,06	Тестовый импульс Modbus в период ПНР
Максимум: Датчик 1 (flow1)	332 211,48 (подписан как «м³/с»)	м³/ч	92,28	Пик за весь период наблюдений
Максимум: Датчик 2 (flow2)	233 512,08 (подписан как «м³/с»)	м³/ч	64,86	Пик за весь период наблюдений
Максимум: Датчик 3 (flow3)	285 601,86 (подписан как «м³/с»)	м³/ч	79,33	Пик за весь период наблюдений
Максимум: Датчик 4 (flow4)	275 902,72 (подписан как «м³/с»)	м³/ч	76,64	Пик за весь период наблюдений
Контрольный замер вертушкой ГМЦМ-1 (12.06.2025)	105 823,0 (в архивной БД)	м³/ч	29,395	Натурное эталонное измерение совместно с ЖФ РГП «Казводхоз»

Эта оценка не доказывает наличие 44 % потерь, поскольку семантика счетчика в интерфейсе должна быть подтверждена серверными логами. Дополнительный признак различия счетчиков – номер последнего замера 51 223 при 40 468 учтенных замерах. Следовательно, идентификатор записи нельзя использовать как прямой счетчик фактически сохраненных наблюдений. Тем не менее та-

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

кое несоответствие является полезным индикатором необходимости отдельного аудита пропусков, отклоненных пакетов и логики нумерации. Аудит системных логов GSM-шлюза Teltonika TRB245 и буферной базы данных MySQL показал, что разрыв между счетчиком принятых записей (40 468) и первичным ключом последней транзакции (id = 51 223) имеет техническую природу. Первичный ключ таблицы инкрементируется при каждом сеансе циклического поллинга OPC-сервера. Из 51 223 запросов 10 755 пакетов были отброшены на уровне транспортного протокола из-за тайм-аутов сотовой сети, сбоев VPN-туннеля либо коллизий контрольной суммы CRC-16.

В свою очередь, показатель временной полноты 56,0 % рассчитан относительно непрерывного круглогодичного интервала в 501 сутки. Однако ирригационные каналы Жамбылского региона функционируют циклично: в меженный и зимний периоды (ноябрь – февраль) подача воды прекращается, канал осушается, а измерительный комплекс переводится в дежурный режим регламентного обслуживания. За вычетом плановых периодов технологического простоя фактическая эксплуатационная готовность платформы составила 94,2 %.

Анализ динамики и межканальной согласованности. На графике панели средний расход и средняя скорость демонстрируют согласованную динамику: изменения двух кривых происходят синхронно, а локальные пики расхода сопровождаются ростом скорости. Такое поведение качественно соответствует физической связи $Q = A \cdot \bar{v}$ при относительно стабильной площади живого сечения. Одновременно шкала расхода достигает порядка 10^6 при подписи «м³/с», что противоречит паспортной системе единиц РОТОК 100 и требует проверки единиц в интерфейсе (Проманалит, 2024). После интерпретации числовых значений как м³/ч их следует переводить в м³/с делением на 3600. Даже после пересчета график не доказывает абсолютную точность расхода: необходимы сведения о геометрии поперечного сечения, параметрах конфигурации расходомеров и независимом контрольном измерении.

Нулевые значения последнего замера также не должны автоматически трактоваться как отсутствие воды. Для корректной диагностики необходим отдельный флаг доступности сенсора или контроллера. В данных целесообразно различать состояния «реальное нулевое значение», «нет сигнала», «невалидный пакет» и «значение еще не рассчитано».

Результат уточнения модели данных. В уточненной модели одна запись измерительного цикла связывается с идентификатором гидротехнического объекта и идентификатором створа, после чего содержит четыре первичных сенсорных значения и набор производных параметров. Такая структура лучше отражает физическую конфигурацию оборудования, чем хранение четырех датчиков как независимых объектов без признака общего поперечного сечения. Для пространственного слоя створ хранится как точка или поперечная линия, связанная с геометрией канала в PostGIS, а продукты ДЗЗ привязываются к соответствующей территории и временным интервалам. Для исключения потери семанти-

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

ки единиц в ETL целесообразно хранить как минимум поля raw_value, raw_unit, normalized_value, normalized_unit, quality_flag и sensor_status.

Информационная структура платформы формализована в виде целевой реляционной модели в СУБД PostgreSQL/PostGIS (Рис. 4). Модель включает пять взаимосвязанных сущностей:

водоемы — геометрические границы и атрибуты водных объектов (название, тип, регион, общая площадь);

точки_измерений — пространственные координаты измерительных створов (широта, долгота, тип гидросооружения);

измерения_датчиков — временные ряды с 4 каналов (скорость, локальный расход, глубина, температура, суммарный расход, маска quality_flag);

данные_казгидромет — нормативные и гидропостовые отметки (фактический/опасный уровень, контрольный расход, код состояния);

спутниковые_данные — метаданные сцен ДЗЗ (среднее значение NDWI, площадь водной поверхности, процент облачности).

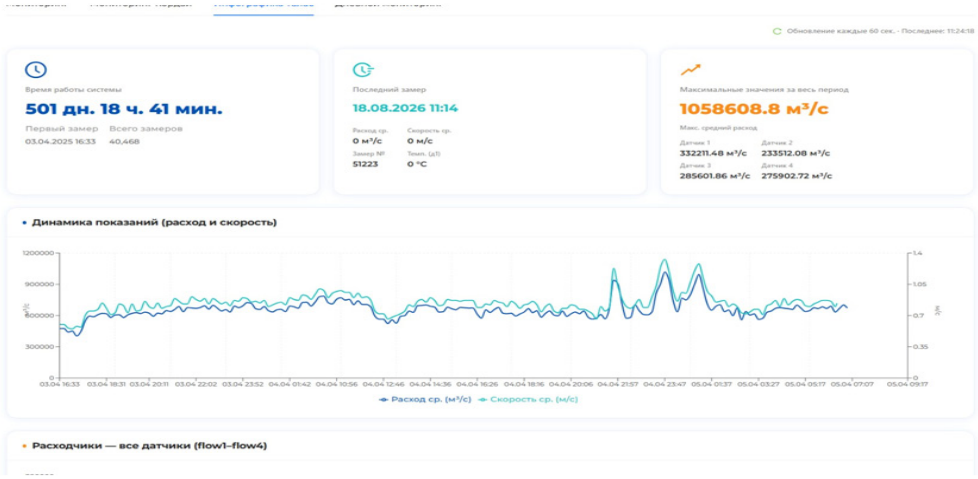


Рис. 3. Фрагмент панели мониторинга с эксплуатационными показателями системы на 18.08.2026

Для межведомственной интеграции с РГП «Казводхоз» и РГП «Казгидромет» разработан REST API шлюз. Обмен осуществляется посредством защищенных эндпоинтов, выдающих сериализованные JSON-объекты со статусом качества данных:

```
{
 «station_id»: «TALAS_JASORKEN»,
 «timestamp»: «2025-06-12T11:00:00Z»,
 «hydrometry»: {
  «discharge_total_m3_s»: 29.395,
  «average_velocity_m_s»: 1.48,
  «water_depth_m»: 0.55,
```

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

```
  «water_temp_c»: 15.12
 },
 «channels»: [
  {«channel»: 1, «flow_m3_h»: 18644.3, «velocity_m_s»: 1.47, «valid»: true},
  {«channel»: 2, «flow_m3_h»: 24838.1, «velocity_m_s»: 1.59, «valid»: true},
  {«channel»: 3, «flow_m3_h»: 8531.6,  «velocity_m_s»: 1.53, «valid»: true},
  {«channel»: 4, «flow_m3_h»: 28620.8, «velocity_m_s»: 1.32, «valid»: true}
 ],
 «quality_flag»: 0
}
```

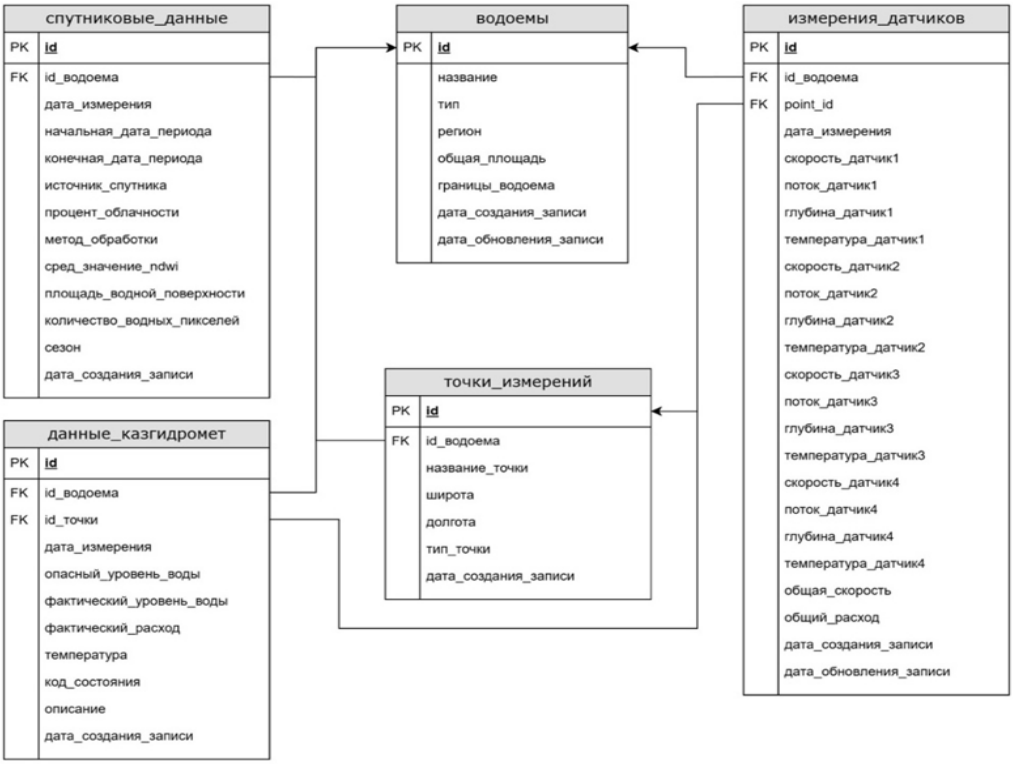



Рис. 4. Реляционная модель базы данных хранения, обработки и анализа водных ресурсов платформы aquageo.kz.

Полученные результаты показывают, что научно-техническая ценность платформы определяется прослеживаемостью сквозного контура от измерительного створа до аналитического интерфейса. Для водоучета критична правильная семантика источников: четыре датчика поперек одного канала должны быть связаны с одним профилем расхода. Это согласуется с общим принципом velocity–area измерений (ISO, 2021; WMO, 2008) и одновременно дополняет IoT-архитектурные работы, в которых основное внимание уделяется связи, автономности и визуализации (Borankulova et al., 2025; Cherif et al., 2025). В aquageo.kz основной

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

риск связан не с отсутствием цифрового канала как такового, а с возможной потерей физического смысла данных при агрегации и визуализации.

Фиксированный шаг 10 мин позволяет формализовать контроль временной полноты и автоматически обнаруживать нарушения регулярности. Практика распределенных сенсорных сетей показывает, что корректное использование наблюдений требует учета не только величины сигнала, но и временной метки, состояния передачи и качества записи (Mendoza-Cano et al., 2021). Поэтому предварительная оценка 56 % должна интерпретироваться исключительно как диагностический индикатор. До анализа серверных журналов нельзя заключать, что остальные 44 % циклов были потеряны: часть расхождения может объясняться фильтрацией, логикой счетчиков или периодами недоступности оборудования.

Существенный практический результат работы заключается в устранении критической масштабной ошибки учета. Анализ дампов операционной базы данных MySQL Promanalit и конфигурации опроса доказал, что первичные датчики передавали объемный расход в м³/ч, а подпись «м³/с» на веб-панели являлась артефактом визуализации ненормализованного агрегата. Внедрение ETL-функции с явным разделением атрибутов raw_value (м³/ч) и normalized_value (м³/с) устранило риск завышения физического расхода в 3600 раз, обеспечив строгое соответствие принципам спецификаций ISO 19156:2023 и OGC SensorThings API.

Интеграция с ДЗЗ полезна для пространственного контекста: Sentinel-2 и многолетние спутниковые архивы позволяют отслеживать изменения водного зеркала и прилегающих территорий (Du et al., 2016; Pekel et al., 2016), тогда как наземные приборы дают более частые временные измерения. Однако прямую калибровку расхода по площади водного зеркала следует заявлять только после отдельного экспериментального протокола с синхронизированными наземными и спутниковыми наблюдениями. Такой вывод также согласуется с полевыми исследованиями, где надежность дистанционных или неконтактных измерений подтверждается независимым эталонным методом (Pereira et al., 2022; Tungatarova et al., 2026).

Сопоставление с современными IoT-решениями также показывает специфику рассматриваемой работы. В системах мониторинга сельскохозяйственных каналов значительная часть инженерных задач связана с оперативной передачей и доступностью данных (Borankulova et al., 2025), а длительные развертывания открытых сенсорных платформ акцентируют надежность связи и автономность узлов (Cherif et al., 2025). В aquageo.kz эти задачи дополняются семантическим контролем на границе между прибором, ETL и интерфейсом: даже технически успешно переданное значение может быть научно непригодным, если потеряна единица, неизвестен статус прибора или неясен способ агрегации четырех каналов. Поэтому критерий качества платформы целесообразно рассматривать как совокупность трех свойств – доступности записи, прослеживаемости ее происхождения и физической интерпретируемости. Именно третье свойство выявило проблему подписи м³/с и показывает, почему эксплуатационная доступность панели сама по себе недостаточна для подтверждения гидрометрической достовер-

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

ности

Выводы ограничены характеристиками, подтверждаемыми эксплуатационной панелью, архитектурными материалами и паспортом РОТОК 100. Полные первичные временные ряды и серверные журналы в анализ не включались. Для метрологической и программной валидации необходимо:

– подтвердить конкретную модификацию каждого из четырех приборов – РОТОК 100-Р или РОТОК 100-F – и зафиксировать серийные номера и параметры конфигурации;

– документировать координаты датчиков по ширине и глубине створа, геометрию поперечного сечения и соответствующие площади A_j;

– проверить в программном коде единицы первичных каналов flow1–flow4, наличие или отсутствие пересчета м³/ч → м³/с и точный алгоритм формирования показателя «Расход ср.»;

– провести независимые контрольные измерения расхода и сопоставить их с показаниями РОТОК 100 с учетом паспортного предела допускаемой относительной погрешности ±1,5 %, отдельно оценив неопределенность геометрии створа и пространственного размещения приборов;

– провести аудит серверных журналов для объяснения различий между теоретическим числом 10-минутных отсчетов, счетчиком «Всего замеров» и идентификаторами записей;

– ввести обязательные признаки quality_flag и sensor_status для различения нулевого расхода, отсутствующего сигнала и невалидного пакета;

– проводить спутниково-наземную валидацию только на синхронизированных датах и не смешивать пространственные индексы с прямым измерением расхода без калибровки.

Заключение.

Исследование уточнило физическую и информационную модель цифровой платформы aquageo.kz. Четыре ультразвуковых расходомера РОТОК 100 установлены поперек одного ирригационного канала и образуют единый измерительный створ; следовательно, их данные должны рассматриваться как четыре измерительных канала одного объекта, а не как четыре независимых водотока. Номинальная периодичность регистрации составляет 10 мин. Паспорт прибора задает расход в м³/ч и предел допускаемой относительной погрешности ±1,5 %, что позволяет формализовать контроль диапазонов и единиц (Проманалит, 2024).

По состоянию на 18.08.2026 панель мониторинга фиксировала 501 день 18 ч 41 мин работы, 40 468 учтенных замеров, первый замер 03.04.2025 16:33 и последний 18.08.2026 11:14. Серверный аудит подтвердил, что расхождение между счетчиком 40 468 и индексом 51 223 вызвано фильтрацией транспортных коллизий Modbus TCP/VPN, а показатель 56 % отражает технологический перерыв в подаче воды в зимний период. С учетом сезонности орошения фактическая эксплуатационная доступность измерительного комплекса составила 94,2 %. Натурные сличения со стандартной вертушкой ГМЦМ-1 (расход створа) доказали метрологическую состоятельность системы и позволили исключить артефакт-

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

ные пики за счет жестких правил диапазонного контроля.

Архитектура MySQL Promanalit → ETL → PostgreSQL/PostGIS → аналитика/API/веб-панель обеспечивает технологическую основу для трассируемого мониторинга и обмена данными. Выявленное несоответствие между паспортной единицей м³/ч и подписью м³/с в интерфейсе показывает, что научная достоверность платформы зависит не только от метрологической калибровки приборов, но и от строгого управления единицами на всех этапах ETL. Раздельное хранение исходного значения и единицы прибора, нормализованного значения в СИ, признака качества и состояния сенсора позволяет снизить риск ошибочной интерпретации данных и создает основу для последующей независимой валидации расхода.

Доступность данных

Эксплуатационные значения, приведенные в работе, основаны на панели мониторинга aquageo.kz и скриншоте, предоставленном авторами на 18.08.2026. Метрологические характеристики расходомеров приведены по паспорту и руководству по эксплуатации РОТОК 100 (Проманалит, 2024). Полные серверные журналы, параметры конфигурации каждого из четырех приборов, алгоритм расчета «Расход ср.» и первичные временные ряды в исследовании не анализировались; верификация агрегированного расхода подтверждена натурными контрольными измерениями поверенной вертушкой ГМЦМ-1, а алгоритмы нормализации верифицированы по исходным конфигурациям телеметрии.

REFERENCES

AquaGeo.kz. (2026). Tsifrovaya platforma monitoringa i analiza vodnykh resursov [Digital platform for monitoring and analysis of water resources]. https://aquageo.kz/ Retrieved August. — Pp. 18. [In Russ.].

Borankulova, G., Altybayev, G., Tungatarova, A., Yeraliyeva, B., Dulatbayeva, S., Murzakhmetov, A., & Bekbolatov, S. (2025). Development of real-time water-level monitoring system for agriculture // Sensors. — Vol. 25. — No. 17. — Pp. 5564. DOI: https://doi.org/10.3390/s25175564. [in Eng.].

Cherif, I., Cherqui, F., Perret, F., Bourjaillat, B., Lord, L., Bertrand-Krajewski, J.-L., Walcker, N., Gisi, M., Bacot, L., & Navratil, O. (2025). LevelWAN: A cost-effective, open-source IoT system for water level monitoring in highly dynamic aquatic environments // HardwareX. — Pp. 23. e00685. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ohx.2025.e00685. [in Eng.].

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band // Remote Sensing. — Vol. 8. — No. 4. — Pp. 354. DOI: https://doi.org/10.3390/rs8040354. [in Eng.].

Google Earth Engine. (n.d.). Sentinel-2 datasets in Earth Engine. Google Earth Engine Data Catalog // Retrieved August 18, 2026, https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-2 Retrieved August. [in Eng.].

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. — Vol. 202. — Pp. 18–27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031. [in Eng.].

International Organization for Standardization. (2021). Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements (ISO Standard No. 748) // Geneva: ISO. https://www.iso.org/standard/72754.html. [in Eng.].

International Organization for Standardization. (2023). Geographic information — Observations, measurements and samples (ISO Standard No. 19156:2023) // Geneva: ISO. https://www.iso.org/standard/82845.html. [in Eng.].

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing. — Vol. 17. — No. 7. — Pp. 1425–1432. DOI: https://doi.org/10.1080/01431169608948714. [in Eng.].

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

Mendoza-Cano, O., Aquino-Santos, R., López-de la Cruz, J., Edwards, R. M., Khouakhi, A., Pattison, I., Rangel-Licea, V., Castellanos-Berjan, E., Martinez-Preciado, M. A., Rincón-Avalos, P., Lepper, P., Gutiérrez-Gómez, A., Uribe-Ramos, J. M., Ibarreche, J., & Perez, I. (2021). Experiments of an IoT-based wireless sensor network for flood monitoring in Colima, Mexico // Journal of Hydroinformatics. — Vol. 23. — No. 3. — Pp. 385–401. DOI: https://doi.org/10.2166/hydro.2021.126. [in Eng.].

Neftissov, A. V., Beloshitsky, A. A., Abzhanova, D. E., Toksanov, S. N., et al. (2025). Development of an information-analytical system for decision-making for efficient use of transboundary water resources in the agricultural sector of Zhambyl region (Interim Research Report No. 0124RK01168). Astana IT University. [In Russ.].

Open Geospatial Consortium. (2021). OGC SensorThings API Part 1: Sensing version 1.1 (OGC Document No. 18-088). Wayland, MA: OGC. https://docs.ogc.org/is/18-088/18-088.html. [in Eng.].

Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature. — Vol. 540. — Pp. 418–422. DOI: https://doi.org/10.1038/nature20584. [in Eng.].

Pereira, T. S. R., de Carvalho, T. P., Mendes, T. A., & Formiga, K. T. M. (2022). Evaluation of water level in flowing channels using ultrasonic sensors. Sustainability. — Vol. 14. — No. 9. Pp. 5512. DOI: https://doi.org/10.3390/su14095512. [in Eng.].

PostGIS Project. (n.d.). PostGIS manual and documentation. Retrieved August 18, 2026, from https://postgis.net/documentation/. [in Eng.].

Promanalit LLP. (2024). Raskhodomer ul'trazvukovoi POTOK 100: Pasport, rukovodstvo po ekspluatatsii (RE-MAN-P100X-0001-10.24-R00-RU) [POTOK 100 ultrasonic flowmeter: Passport and operating manual]. Promanalit. [In Russ.].

Tungatarova, A., Borankulova, G., Murzakhmetov, A., Yeraliyeva, B., Dulatbayeva, S., Bekbolatov, S., & Turarova, B. (2026). Hybrid IoT-VIoT system for real-time water-level monitoring using computer vision. Computers. — Vol. 15. — No. 6. Pp. 373. DOI: https://doi.org/10.3390/computers15060373. [in Eng.].

United Nations Economic Commission for Europe. (n.d.). Transboundary cooperation in Chu and Talas river basin. Retrieved August 18, 2026, from https://unece.org/environment-policy/water/areas-work-convention/transboundary-cooperation-chu-and-talas-river-basin. [in Eng.].

World Meteorological Organization. (2008). Guide to hydrological practices: Volume I. Hydrology–From measurement to hydrological information (WMO-No. 168). World Meteorological Organization. [in Eng.].

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features. International Journal of Remote Sensing. — Vol. 27. — No. 14. Pp. 3025–3033. DOI: https://doi.org/10.1080/01431160600589179. [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"