MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

KAZAKHSTAN

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

INTERNATIONAL UNIVERSITY SINCE 2009

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

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

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

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

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

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

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

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

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

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

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

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

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

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

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

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

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

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

INFORMATION TECHNOLOGY

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

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

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

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

МАЗМҰНЫ
ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

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

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

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

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

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

СОДЕРЖАНИЕ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИСОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

ИНТЕГРАТИВНАЯ МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ 78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 323–337
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.017
МРНТИ 28.23.25

INVESTIGATION OF HYBRID QUANTUM-CLASSICAL ALGORITHMS FOR MACHINE LEARNING

T.Zh. Kamalov*, Ali Abd. Almisreb, Mohammed A. Saleh
International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: 41301@iitu.edu.kz

Kamalov Timur Zhumagaliuly — master's student, Faculty of Computer Technology and Cybersecurity, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: 41301@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-8247-2997;
Ali Abd. Almisreb — PhD, associate professor, Cybersecurity Department, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0001-7581-5747;
Mohammed Ahmed Saleh — PhD, associate professor, Cybersecurity Department, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-4673-5056.

© T.Zh. Kamalov, Ali Abd. Almisreb, Mohammed A. Saleh

Abstract. The architectures of HQML systems leverage the integration of quantum encoding of features with classical optimizations, making them operational within the limits of NISQ devices. In this paper, we provide a systematic review of the literature on HQML between 2018 and 2026, including landmark papers from 2014. Following a PRISMA-inspired approach, 1,247 articles were screened, resulting in 40 key articles for comprehensive assessment. We focus on VQAs, QNNs, and PQCs utilized for classification and optimization tasks in the healthcare and finance industries. Several unresolved technical challenges, such as the barren plateau issue and the burden of data encoding, are addressed. The results show that hybrid approaches exhibit consistent benefits in low-data and class-imbalanced scenarios: increases in accuracy by 0.3% to 2.5% on small medical datasets and equally effective yet data-frugal performance compared to XGBoost for detecting financial fraud. Our study has highlighted five crucial areas that require further research, with the lack of standard benchmarks and learning curve analysis being the most significant.

Keywords: hybrid quantum-classical algorithms, machine learning, variational quantum algorithms, quantum neural networks, parameterized quantum circuits, NISQ devices

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

For citation: Kamalov T.Zh., Almisreb Ali Abd., Mohammed A. Saleh. (2026). Investigation of hybrid quantum-classical algorithms for machine learning // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 323–337. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.017. (In Eng.).

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

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ КВАНТТЫҚ-КЛАССИКАЛЫҚ АЛГОРИТМДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Т.Ж. Камалов*, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: 41301@iitu.edu.kz

Камалов Тимур Жұмақалиұлы — магистрант, Компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультеті, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: 41301@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-8247-2997;
Альмисреб Али Абд. — PhD, Киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0001-7581-5747;
Ахмед Салех Мохаммед — PhD, Киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-4673-5056.

© Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех

Аннотация. HQML жүйелерінің архитектуралары кванттық сипаттамаларды кодтауды классикалық оңтайландырулармен біріктіру арқылы NISQ құрылғылары шегінде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Осы мақалада біз 2014 жылдан бастап 2026 жылға дейінгі HQML жөніндегі әдебиеттерге жүйелі шолу жасаймыз. PRISMA-ға негізделген тәсіл бойынша 1 247 мақала іріктеліп, жанжақты бағалау үшін 40 негізгі мақала таңдалды. Біз денсаулық сақтау және қаржы салаларындағы жіктеу мен оңтайландыру тапсырмаларында қолданылатын VQAs, QNNs және PQCs-ге назар аударамыз. Баррен-плато мәселесі мен деректерді кодтау ауыртпалығы сияқты бірнеше шешілмеген техникалық қиындықтар қарастырылған. Нәтижелер гибридті тәсілдердің аз деректер мен сыныптардың теңгерімсіздігі жағдайларында тұрақты артықшылықтар көрсететінін көрсетеді: шағын медициналық деректер жиынтығында дәлдік 0,3%-дан 2,5%-ға дейін өседі және қаржылық алаяқтықты анықтауда XGBoost-пен салыстырғанда бірдей тиімді әрі деректерді үнемді пайдаланады. Біздің зерттеуіміз әрі қарай зерттеуді қажет ететін бес маңызды бағытты анықтады, олардың ішінде стан-

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

дартты бенчмарктердің және үйрену қисығын талдаудың жоқтығы ең маңыздысы болып табылады.

Түйінді сөздер: гибридті кванттық-классикалық алгоритмдер, машиналық оқыту, вариациялық кванттық алгоритмдер, кванттық нейрондық желілер, параметрленген кванттық тізбектер, NISQ құрылғылары

Дәйексөздер үшін: Камалов Т.Ж., Альмисреб Али Абд., Салех Мохаммед А. (2026). Машиналық оқытуға арналған гибридті кванттық-классикалық алгоритмдерін зерттеу // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 323–337. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.017. (Ағыл. тіл.).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Т.Ж. Камалов*, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех
Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.
E-mail: 41301@iitu.edu.kz

Камалов Тимур Жумагалиевич — магистрант, факультет компьютерных технологий и кибербезопасности, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
E-mail: 41301@iitu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0001-8247-2997;
Альмисреб Али Абд. — PhD, ассоциированный профессор, департамент кибербезопасности, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0000-0001-7581-5747;
Ахмед Салех Мохаммед — PhD, ассоциированный профессор, департамент кибербезопасности, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0000-0003-4673-5056.

© Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех

Аннотация. Архитектуры систем HQML основываются на интеграции квантового кодирования признаков с классическими методами оптимизации, что позволяет использовать их в рамках ограничений устройств NISQ. В данной статье мы представляем систематический обзор литературы по HQML за период с 2018 по 2026 год, включая знаковые работы, опубликованные с 2014 года. В соответствии с подходом, основанным на рекомендациях PRISMA, было проанализировано 1 247 статей, в результате чего для всесторонней оценки было отобрано

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

40 ключевых работ. Мы сосредоточиваемся на VQA, QNN и PQC, используемых для задач классификации и оптимизации в сфере здравоохранения и финансов. Рассматриваются несколько нерешенных технических проблем, таких как проблема «бесплодного плато» и нагрузка, связанная с кодированием данных. Результаты показывают, что гибридные подходы демонстрируют стабильные преимущества в условиях недостатка данных и дисбаланса классов: повышение точности на 0,3–2,5 % на небольших медицинских наборах данных и столь же эффективную, но экономную с точки зрения данных производительность по сравнению с XGBoost при обнаружении финансового мошенничества. В нашем исследовании выделено пять ключевых областей, требующих дальнейших исследований, причем наиболее значимыми из них являются отсутствие стандартных тестов и анализ кривой обучения.

Ключевые слова: гибридные квантово-классические алгоритмы, машинное обучение, вариационные квантовые алгоритмы, квантовые нейронные сети, параметризованные квантовые схемы, устройства NISQ

Для цитирования: Камалов Т.Ж., Альмисреб Али Абд., Салех Мохаммед А. (2026). Исследование гибридных квантово-классических алгоритмов для машинного обучения // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 323–337. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.017. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Between 2012 and 2024, the number of parameters used by the state-of-the-art machine learning (ML) models grew by around six orders of magnitude, rising from 60 million parameters used by AlexNet to 1.8 trillion parameters allegedly implemented in GPT-4 (Semianalysis, 2023). Classical processors face basic physical limits tied to the process of semiconductor miniaturization and the von Neumann bottleneck (Biamonte et al., 2017). On the other hand, quantum computing presents an alternative computing paradigm based on leveraging the properties of superposition, entanglement, and interference to represent exponentially more information statewise in each physical bit than classical systems (Lloyd, 1996). Contemporary quantum devices are limited by the Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) limitations of single qubit-gate fidelities between 99.0–99.9%, coherence times up to tens of microseconds, and errors due to quantum gates and leakage effects (Preskill, 2018). Thus, the gap between theoretical possibility and technological reality led to the development of hybrid quantum-classical architectures, utilizing parameterized quantum circuits (PQCs) alongside classical ML training schemes for utilizing quantum feature spaces under NISQ limitations (Cerezo et al., 2021).

To date, there is no review in the literature that systematically synthesizes information from multiple types of HQML algorithms (Bharti et al., 2022) or provides comprehensive descriptive accounts without critically analyzing the evidential bases

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

of any asserted quantum advantages or quantifying the impacts of the barren plateau problem and data encoding overhead. This lack of systematic analyses limits our capacity for identifying potentially near-term deployable HQML architectures.

This research paper intends to fill this void by conducting a PRISMA-based systematic analysis of 40 core HQML papers published between 2018 and 2026. In this research, the target subject area is the ecosystem of hybrid quantum-classical algorithms. The study covers the architectural principles, performance benchmarking and applications of variational quantum algorithms (VQAs) and quantum neural networks (QNNs). The research question is whether HQML models using quantum feature space can perform comparably well or better on classification and optimization tasks involving high-dimensional datasets in low-data settings compared to classical models.

The four research objectives of the paper include: (1) systematic characterization of VQAs, QNNs, and PQCs; (2) quantitative synthesis of performance benchmarking results; (3) evaluation of principal challenges, namely, barren plateaus, sensitivity to noise, and data encoding; and (4) exploration of underdeveloped application areas, including fintech fraud detection and medicine.

Materials and methods.

The premise chosen for structuring the literature review was the following: hybrid quantum-classical methods show superiority over conventional classical approaches in specific high-dimensional applications by being more parameter efficient and expressive. In order to explore that statement, the PRISMA methodology was modified to reflect the peculiarities of the computer science and quantum computing fields.

The search focused on works published between 2018 and 2026. However, foundational papers by Farhi et al. (2014) and Peruzzo et al. (2014) were included as they established the essential QAOA and VQE algorithms.

Scopus, arXiv, IEEE Xplore, ACM Digital Library, Nature, Elsevier, Springer, and Google Scholar were selected as the primary databases, supplemented by data from Google Quantum AI, Xanadu, and IBM. Search terms included «barren plateau,» «NISQ,» «parameterized quantum circuit,» «Quantum Neural Networks,» «hybrid quantum classical,» and «Variational Quantum Algorithms.» To ensure no significant studies were missed, reference snowballing was applied, using terms like «quantum fraud detection» as a starting point to trace additional citations.

Inclusion criteria were strictly applied: eligible papers had to be peer-reviewed or recognized preprints, written in Russian or English, and provide an implementation of at least one hybrid ML approach with dataset-based experimental analysis. Conversely, studies were excluded if they were purely theoretical, focused solely on hardware engineering without algorithmic contributions, or lacked classical components.

Fig. 1 illustrates the screening process. The initial pool of 1,247 publications was reduced to 894 after removing duplicates. Title and abstract screening identified 218 sources for full-text review. Following an evaluation of their methodology and empirical clarity, 87 papers were selected, eventually resulting in a core selection of 40

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

papers for data extraction.

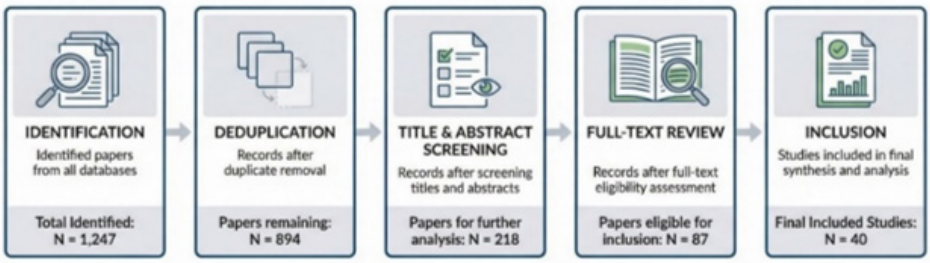


Fig. 1. Key steps in reviewing and synthesizing literature on hybrid quantum-classical algorithms.

Table 1. Distribution of selected papers by topic area and application domain.

Category / Topic Area	Papers	Key References	Years
Variational Quantum Algorithms (VQE, QAOA, VQC)	6	Cerezo et al., 2021; Farhi et al., 2014; Peruzzo et al., 2014; Harrigan et al., 2021	2014–2023
Quantum Neural Networks & PQCs	6	Schuld & Killoran, 2019; Cong et al., 2019; Henderson et al., 2020; Mari et al., 2020	2019–2024
Hybrid Architectures & Data Encoding	4	Havlicek et al., 2019; Sim et al., 2019; Mitarai et al., 2018; Wierichs et al., 2022	2018–2022
Healthcare & Medical Imaging	6	Fan et al., 2024; Lusnig et al., 2024; Li et al., 2024; Radhi et al., 2025; Ait Mehdi et al., 2024	2024–2025
Finance & Fraud Detection	5	Grossi et al., 2022; Ubale et al., 2025; Cardaioli et al., 2025; Innan et al., 2024; Kyriienko 2022	2022–2025
Classification & Pattern Recognition	4	Long et al., 2025; Tudisco et al., 2025; Liu et al., 2021; Gomes et al., 2023	2021–2025
Frameworks: Qiskit, PennyLane, TFQ	2	Bergholm et al., 2022; Broughton et al., 2020	2020–2022
Barren Plateaus & Trainability	4	McClean et al., 2018; Wang et al., 2021; Arrasmith et al., 2021; Larocca et al., 2024	2018–2024
Challenges, NISQ, Quantum Advantage	3	Preskill 2018; Bharti et al., 2022; Cerezo et al., 2024	2018–2024

For these core papers, we identified the hardware or simulators used, application domains, datasets, algorithm architectures, qubit counts, and performance metrics such as accuracy, F1-score, and parameter savings. Table 1 provides a topical classification of this set. This focus on robust quantitative measurements enabled a direct comparison between hybrid and classical approaches.

There are two major limitations to consider. The first is publication bias, as unsuccessful experiments or proprietary benchmarks are rarely shared in academic literature. The second relates to the rapid evolution of the field, where qubit counts and error rates change so quickly, they require constant re-evaluation.

Literature Review

Quantum computational theory implies that one qubit exists in a superposition of two basis states described as follows:

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

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

where $|\psi\rangle$ is a quantum state vector; α and β denote complex probability amplitudes; $|0\rangle$ and $|1\rangle$ represent orthonormal computational basis states. The normalization condition states that:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (2)$$

where $|\alpha|^2$ and $|\beta|^2$ denote probabilities of observing the results equal to 0 and 1, correspondingly.

A register of n qubits can simultaneously encode an exponentially large number of basis states compared to classical n-bit registers:

$$N = 2^n \quad (3)$$

where N is the total number of basis states encoded by the register, and n is the number of qubits.

Quantum entanglement enables circuits to represent exponentially large probability distributions using only n physical qubits. This set of characteristics served as grounds for the emergence of the hybrid approach due not only to elegant theory but also as a necessity for engineering as modern IBM quantum processors (Eagle, 127 qubits; Falcon, 27 qubits; Heron) suffer from gate errors that restrict effective circuit depth to O(100) gates after which noise dominates the computation process (Bharti et al., 2022). Hybrid architecture aims at shifting optimization and data preprocessing tasks to classical hardware, keeping quantum circuits as subroutines when quantum feature space provides certain advantages.

The development of hybrid approach could be traced through three distinct phases. Foundational stage (2014–2018) is marked by the introduction of variational quantum eigensolver (VQE) (Peruzzo et al., 2014) and quantum approximate optimization algorithm (QAOA) (Farhi et al., 2014) aimed to solve problems of quantum chemistry and combinatorial optimization. Expansion stage (2019–2021) focused on machine learning applications driven by quantum feature spaces for support vector machines (SVMs) (Havlíček et al., 2019), quantum transfer learning (Mari et al., 2020), and the first survey dedicated to variational quantum algorithms (VQA) (Cerezo et al., 2021). Starting from 2022, a new stage of maturation is being achieved focusing on domain-specific applications, theoretical limitations identification (Larocca et al., 2024), and extensive use of simulators.

Contributions of Variational Quantum Algorithms: Trainability Problem

VQAs form the predominant family of quantum-classical machine learning algorithms. The VQA ansatz produces a parameterized quantum state $|\psi(\theta)\rangle$:

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

$$|\psi(\theta)\rangle = U(\theta)|0\rangle \tag{4}$$

where U(θ) is the parameterized unitary matrix, $|\psi(\theta)\rangle$ is the parameterized quantum state, $|0\rangle$ is the all-zero initialized state, and θ is the vector of parameterized rotation angles. A classical optimizer updates θ in pursuit of minimizing the cost function:

$$C(\theta) = \langle\psi(\theta)|H|\psi(\theta)\rangle \tag{5}$$

where H is the hermitian operator representing the objective Hamiltonian, and $\langle\psi(\theta)|$ is the bra of $|\psi(\theta)\rangle$. Optimizers such as COBYLA, SPSA, ADAM, and parameter-shift-based methods update the parameters in search of reduced C(θ).

Documented contributions include: (i) formulation of circuit-centric classifiers (Schuld et al., 2020); (ii) quantum kernel computation matching SVMs' 5–20-qubit accuracy on IBM hardware (Havlicek et al., 2019); (iii) development of expressibility and entangling capacity as metrics for designing ansatz (Sim et al., 2019); and (iv) QAOA achieving approximation ratios of 0.928 at depth p = 5 on 20-variable Max-Cut instances, modestly exceeding quantum annealing (0.914) at a 3.7x wall-clock time cost (Harrigan et al., 2021).

The primary bottleneck in VQA is the barren plateau problem. McClean et al. (2018: 4812) proved the vanishing gradient variance of the cost function:

$$Var[\partial C/\partial\theta_k] = O(2^{-n}) \tag{6}$$

where Var[...] is the variance of the gradient over random circuit initialization, $\partial C/\partial\theta_k$ is the derivative of C w.r.t. the k-th parameter, and n is the qubit count. Thus, for n = 20, the variance of gradients fall below 10^{-6}, requiring an exponential sample size to overcome. Arrasmith et al. (2021) extend this result to stochastic gradient-free optimizers. Wang et al. (2021) prove that local Pauli noise causes analogous vanishing gradients when the circuit depth increases linearly with the number of qubits. Larocca et al. (2024) summarize prior work and explain barren plateaus by expressibility of ansatz, deep randomly constructed circuits, global cost functions, and entanglement.

Potential solutions proposed range from use of local cost functions, problem-inspired ansatzes, and layer-wise training. These approaches have shown empirical improvements on small 4–12 qubit systems yet provide no theoretical guarantees of scalability. Anschuetz and Kiani (2022) additionally prove that VQA loss surfaces abound in saddle-points and local minima. Critically, Cerezo et al. (2024) identify a fundamental paradox whereby any ansatz proven to be free from the BP problem becomes classically simulable, indicating that overcoming the BP problem may come at the cost of quantum supremacy itself.

Quantum Neural Networks and Kernel Methods

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

In brief, quantum neural networks (QNNs) represent parameterized quantum circuits that can reproduce deep-layer learning structures. Typically, QNNs consist of an encoding layer, multiple layers of rotations and entanglements, and a measurement layer. Mitarai et al. (2018) devised a general method known as the parameter-shift rule to compute the exact gradient in an analytical manner to perform end-to-end differentiable training on quantum hardware. Recently, Wierichs et al. (2022) generalized the parameter-shift rule to work on any class of gates.

To alleviate the depth constraint associated with NISQ hardware, Cong et al. (2019) developed quantum convolutional neural networks (QCNNs) published in Nature Physics. QCNNs use hierarchical local gates to provide an exponential decrease in the circuit depth while offering a built-in immunity to barren plateaus. Henderson et al. (2020) reached 97.4% binary classification accuracy with a 4-qubit Quanvolutional processing technique. Also, Fan et al. (2024) achieved 98.5% binary classification accuracy for EuroSAT dataset with a hybrid CNN consisting of 4–8 qubits in PennyLane. Additionally, Zaman et al. (2024) conducted a modern cross-comparison study to empirically validate those different algorithmic choices, especially those related to circuit depth and encoding methods, affect the performance and trainability of hybrid QNNs.

Quantum kernel methods (Schuld et al., 2019) utilize quantum feature mapping to define a similarity measure:

$$k(x, x') = |\langle \varphi(x) | \varphi(x') \rangle|^2 \tag{7}$$

where k(x, x′) is the calculated kernel value representing the similarity between the two data points; φ(x), φ(x′) are the quantum feature maps of the data points; $\langle \varphi(x) \mid \varphi(x') \rangle$ is their overlap computed via multiple runs of the quantum circuit; and |…|^2 provides a numerical result in [0, 1]. Havlíček et al. (2019) successfully implemented the method on 5-qubit ZZFeatureMap. On the other hand, Liu et al. (2021) rigorously proved that designing datasets where quantum kernel-based approaches outperform all classical algorithms is rather difficult.

The recent study from Mari et al. (2020) demonstrates the viability of the quantum transfer learning approach by obtaining nearly 94% accuracy on the Hymenoptera classification task with a pretrained ResNet-50 as a feature extractor along with a 4-qubit PQC.

Domain-Specific Applications

One area where HQML has gained popularity as a research topic is healthcare due to large-sized data sets in medical applications as well as critical diagnostic outcomes. Radhi et al. (2025) provided a systematic review of 28 articles published between 2018 and 2024, finding QSVM, QCNN, and hybrid approaches as dominant approaches in classifying brain tumors, detecting skin lesions, and identifying patients with COVID-19 infection. A hybrid HQNN with federated learning delivered higher AUC for diagnosis of hepatic steatosis using a model of 5 qubits and 20 data-reuploading

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

layers for processing 100 features (Lusnig et al., 2024). A hybrid quantum-classical CNN (QCCNN) reached 97.7% accuracy when classifying breast cancer using WDBC data set (Li et al., 2024). Gomes et al. (2023) employed a combination of discrete variational autoencoder and a restricted quantum Boltzmann machine deployed in the D-Wave quantum computer to design 2,331 new chemical molecules in the ChEMBL database.

In finance, Grossi et al. (2022) provided the first study demonstrating the application of end-to-end QSVM-based classifier for detection of financial fraud. It was concluded that quantum computing provides a complementary rather than superior approach to exploring the feature space. In their study, Ubale et al. (2025) introduced a hybrid model with a classical LSTM and variational quantum circuit trained using the parameter-shift method. The proposed solution delivered improved F1 and recall on detecting fraud on credit card transactions with computation time of 45-65 seconds per training epoch. Finally, Cardaioli et al. (2025) benchmarked QSVM, VQC, and HQNN vs logistic regression, random forest, and XGBoost on IBM AML data set. Results show similar accuracy to XGBoost but with the benefit of having to use much smaller training sets.

When working with the standard benchmark datasets, Long et al. (2025) reported 99.1% accuracy of QSVM on binary MNIST task. In case of the Iris database (150 records), VQC reaches 95-98% accuracy. A methodology drawback of almost all benchmark studies concerns the restriction regarding qubit number leading to training quantum models with dimensionality-reduced inputs (using PCA to reduce the dimensionality down to 4–16 features).

Simulation Frameworks

Three software packages stand out in the field of experimental HQML research. The PennyLane (Bergholm et al., 2022) library, developed by Xanadu, implements automatic differentiation of quantum circuits through the parameter-shift rule for PyTorch, TensorFlow, and JAX frameworks. Its default.qubit simulator consistently executes circuits involving 20–24 qubits while the lightning.qubit GPU-based plugin provides 5–10× higher performance for circuits above 15 qubits. Of the analyzed papers, 24 works (60%) use PennyLane. Qiskit Machine Learning (IBM) provides implementations of QSVM, VQC, and QNN algorithms, can simulate a statevector up to 30 qubits and was used in 12 studies (30%). Finally, the TensorFlow Quantum (Broughton et al., 2020) framework, combining Google's Cirq framework with Keras, accounted for the last four publications (10%).

Barriers to Practical Application

Five critical technical barriers emerge from an analysis of existing research. First, the barren plateau paradox [Eq. (6)]. As shown by Cerezo et al. (2024), provably trainable quantum circuit architectures become classically simulatable, leaving little room for optimism regarding scalable advantages of variational QML with contemporary design principles. Second, quantum data loading: loading n classical data points into a quantum state takes O(n) time, thereby preventing any speedups for large datasets. While amplitude encoding provides theoretically unlimited speedup, it either

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

requires quantum RAM (which cannot be built yet) or state preparation procedures that go well beyond the capabilities of NISQ computers. While angle encoding is feasible, it imposes a severe restriction on the expressive power of the feature space. This is another issue often ignored by authors who report speedups.

Third, the effects of ambient noise and decoherence make it difficult to obtain reliable results using real hardware. Techniques like Zero-Noise Extrapolation and Probabilistic Error Cancellation (Arrasmith et al., 2021) partially mitigate gate errors but come at the expense of exponentially increasing the necessary number of runs, thereby eliminating the computational advantage.

Fourth, classical statevector simulation becomes computationally intractable beyond 50 qubits, fixing the practical validation ceiling at approximately 24-30 qubits on standard hardware and forcing validation exclusively on miniaturized problem instances.

Fifth, the general lack of benchmarking standardization poses a critical barrier to reproducibility. In contrast to classical machine learning, HQML does not have a universally recognized set of benchmarks. Papers frequently employ disparate preprocessing procedures, varying hardware specifications and optimizations hyperparameters. Moreover, most publications report the peak performance of a particular random initialization without conducting further statistical analyses.

Results and discussion.

In the sample of 40 articles, the method breakdown is as follows: PQC-based QNNs and VQC classifiers are mentioned in 18 publications (45% of all applied machine learning research); QSVMs and quantum kernel methods are used in 10 papers (25%); hybrid QAOAs are discussed in 6 publications (15%); generative quantum models (QGANs, QVAEs) are referenced in 6 articles (15%). Publication periods include six articles (15%) in 2020–2021, fourteen articles (35%) in 2022–2023, and twenty articles (50%) in 2024–2026, implying the rapid acceleration of research outputs supported by better hardware availability and more advanced framework development. Table 2 includes 19 representative articles among the reviewed corpus.

The results from quantitatively validated metrics, as shown in Fig. 2, consistently demonstrate performance enhancements within specific domains but not exceeding particular thresholds. Small but measurable improvements in accuracy between +0.3% and +2.5% over classical algorithms are found for small medical and image datasets (under 5,000 instances), conducted under the condition of strict hardware restrictions to just four physical qubits. Hybrid architectures prove to have significantly higher recall and F1-scores in extremely imbalanced classification problems (fraud detection, rare disease identification) compared to conventional models, while showing generally similar (but not better) performance to XGBoost models on comprehensive datasets. The most promising quantum advantages are likely to manifest themselves in one of three conditions: (1) when problems are inherently quantum in nature (molecular simulations); (2) when the data regime is extremely small, so that classical models may suffer from serious overfitting issues; and (3) in classification scenarios where quantum kernels can create separation planes impossible to be achieved through

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

efficient classical feature spaces (Schuld et al., 2019; Liu et al., 2021).

Table 2. Summary of representative hybrid QC-ML studies (19 of 40 reviewed).

Author(s)	Year	Algorithm	Application	Dataset	Qubits	Performance	Framework
Cerezo et al.	2021	VQAs (Survey)	General ML	N/A	N/A	Comprehensive review	Multiple
Havlicek et al.	2019	QSVM, QKE	Classification	Custom	5-20	Competitive w/ classical	Qiskit
Mari et al.	2020	Hybrid TL	Image Classif.	Hymenoptera	4	~94% accuracy	PennyLane
Henderson et al.	2020	Quanvolution	Image Classif.	MNIST	4	97.4% vs 97.1%	TFQ/ PennyLane
Grossi et al.	2022	QSVM + Ensemble	Fraud Detect.	Real card data	5-15	Improved precision	Qiskit
Wang et al.	2021	Noise-induced Barren Plateaus	VQA training	Synthetic	4-16	Gradient analysis	Cirq
Larocca et al.	2024	BP Review	VQA training	Multiple	Various	Theoretical proof	Multiple
Ubale et al.	2025	Hybrid QLSTM	Fraud Detect.	Credit card	4-8	Improved F1/Recall	PennyLane
Fan et al.	2024	HQCCNN	Image Classif.	EuroSAT+ MNIST	4-8	98.5% accuracy	PennyLane
Lusnig et al.	2024	HQNN + FedL	Liver diagnosis	Biopsy images	5	Improved AUC	PennyLane
Li et al.	2024	QCCNN + TransLearn	Breast cancer	WDBC dataset	4	97.7% vs 97.1%	PennyLane
Long et al.	2025	QCQ-CNN	MNIST classif.	MNIST	4	99.1% accuracy	PennyLane
Tudisco et al.	2025	Multi-VQC QNN	Healthcare classif.	3 UCI datasets	4-6	Outperforms SVM	PennyLane
Cardaioli et al.	2025	QSVM+VQC+HQNN	AML Fraud	IBM AML	4-8	Comparable to XGBoost	PennyLane
Gomes et al.	2023	DVAE + RBM	Drug discovery	ChEMBL	D-Wave	2331 new structures	D-Wave
Anschuetz & Kiani	2022	VQA Landscape	ML optimization	Synthetic	6-12	Local minima proof	Cirq
Ait Mehdi et al.	2024	Hybrid TL + QNN	Skin cancer	ISIC	4	86.94% vs 84.49%	PennyLane
Schuld et al.	2020	Circuit-centric	Classification	Synthetic	4-10	Theor. framework	PennyLane
Zaman et al.	2024	Hybrid QNN	Comparison	MNIST	4-12	Depth analysis	PennyLane

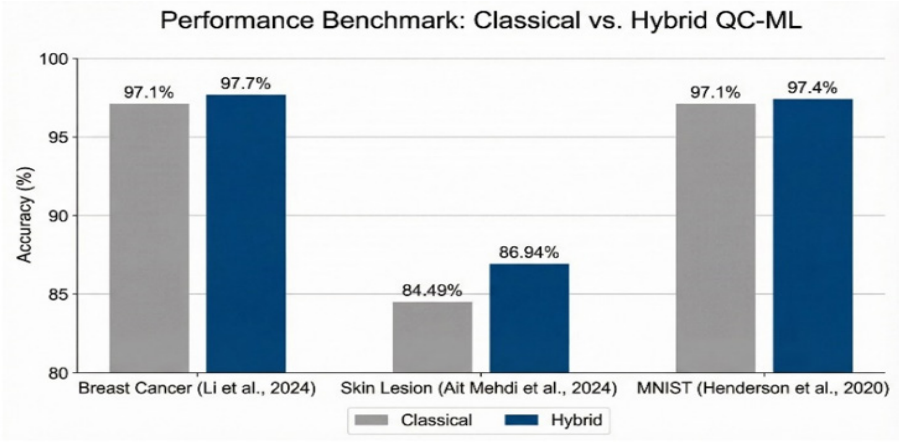


Fig. 2. Comparative performance benchmark of hybrid quantum-classical architectures against classical baselines.

These research gaps have been noted to have direct implications in terms of methodology: (1) the need for proper comparison to state-of-the-art classical models (XGBoost, LightGBM) and not simplistic baseline comparisons (logistic regression); (2) the lack of rigorous statistical evaluation of the variability of the models in question due to randomness in model initialization and data splitting techniques; (3) inadequate

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

investigation of encoding techniques and their impact on performance in classifying data in financial transactions; (4) the lack of studies into HQML models for fintech fraud detection using standardized open-source data sets; and (5) learning-curve analysis for the performance of hybrid and classical models as a function of increasing size of the training data set.

The resolution of research gaps (4) and (5) provides the main reason behind pursuing further experiments to continue the research. Previous studies used proprietary or simulated datasets, and did not include learning curve evaluations (Grossi et al., 2022; Ubale et al., 2025). In the upcoming experiments, the publicly available Kaggle credit card fraud detection dataset will be used to compare QSVM and VQC against rigorous baselines.

Conclusion.

This systematic review provides an analysis of 40 essential sources regarding hybrid quantum-classical ML architectures during the period from 2018 to 2026. All four research objectives are met, including developing a taxonomic classification of HQML architectures, synthesizing numerical metrics on the performance of different models, evaluating the available evidence on the quantum advantage, and outlining five specific research gaps.

Hypothesis validity: As shown in the results section, hybrid QC-ML models outperform classical counterparts in situations of limited training data and unbalanced classes, achieving 0.3 to 2.5 percentage point increases in accuracy on small medical datasets and parity on benchmarks for detecting financial fraud in terms of being equally efficient with significantly lower data requirements. Thus, the reviewed empirical evidence confirms the initial hypothesis of quantum advantage in certain conditions. The specific characterization can be defined as offering parameter efficiency in constrained scenarios rather than general quantum supremacy.

The most widely adopted paradigm among HQML architectures is based on VQAs, while the barren plateau problem (Cerezo et al., 2024) poses serious concerns about scalability of variational approaches in NISQ computing. In turn, QNNs have proven to be competitive when compared to classical neural networks in terms of medical imaging and fraudulent activities detection tasks. Finally, the potential of using quantum transfer learning in combination with PennyLane simulations without any need for physical hardware is highlighted.

To scale up the deployment of HQML architectures, it is necessary to meet three technical requirements, including quantum error correction for hybrid circuits deeper than O(100) gates, having sufficient number of qubits for processing higher-dimensional features without substantial dimensionality reduction, and defining community standards for benchmarking and comparing different techniques statistically. The experimental methodology used here serves as a basis for evaluating QSVM and VQC architectures in imbalanced low-data scenario of credit card fraud detection using simulation frameworks on common computational resources.

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

REFERENCES

Ait Mehdi, M., Belattar, K., & Souami, F. (2023). A quantum-inspired deep learning model for skin lesion classification // Springer QSAC. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-59318-5_15. [In Eng.].

Anschuetz, E.R., & Kiani, B.T. (2022). Quantum variational algorithms are swamped with traps // Nature Communications. — Vol. 13. — Pp. 7760. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-35364-5. [In Eng.].

Arrasmith, A., Cerezo, M., Czarnik, P., Cincio, L., & Coles, P.J. (2021). Effect of barren plateaus on gradient-free optimization // Quantum. — Vol. 5. — Pp. 558. DOI: https://doi.org/10.22331/q-2021-10-05-558. [In Eng.].

Bergholm, V., Izaac, J., Schuld, M., Gogolin, C., et al. (2022). PennyLane: Automatic differentiation of hybrid quantum-classical computations // arXiv:1811.04968. [In Eng.].

Bharti, K., Cervera-Lierta, A., Kyaw, T.H., Haug, T., et al. (2022). Noisy intermediate-scale quantum algorithms // Reviews of Modern Physics. — Vol. 94. — Article 015004. DOI: https://doi.org/10.1103/RevModPhys.94.015004. [In Eng.].

Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning // Nature. — Vol. 549. — No. 7671. — Pp. 195–202. DOI: https://doi.org/10.1038/nature23474. [In Eng.].

Broughton, M., Verdon, G., McCourt, T., Martinez, A.J., et al. (2020). TensorFlow Quantum: A software framework for quantum machine learning // arXiv:2003.02989. [In Eng.].

Cardaioli, M., et al. (2025). FD4QC: Application of classical and quantum-hybrid machine learning for financial fraud detection // arXiv:2507.19402. [In Eng.].

Cerezo, M., Arrasmith, A., Babbush, R., Benjamin, S.C., Endo, S., et al. (2021). Variational quantum algorithms // Nature Reviews Physics. — Vol. 3. — No. 9. — Pp. 625–644. DOI: https://doi.org/10.1038/s42254-021-00348-9. [In Eng.].

Cerezo, M., et al. (2024). Does provable absence of barren plateaus imply classical simulability? // Nature Communications. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-025-63099-6. [In Eng.].

Cong, I., Choi, S., & Lukin, M.D. (2019). Quantum convolutional neural networks // Nature Physics. — Vol. 15. — Pp. 1273–1278. DOI: https://doi.org/10.1038/s41567-019-0648-8. [In Eng.].

Fan, F., Shi, Y., Guggemos, T., & Zhu, X.X. (2024). Hybrid quantum-classical convolutional neural network model for image classification // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. — Vol. 35. — Pp. 18145–18159. [In Eng.].

Farhi, E., Goldstone, J., & Gutmann, S. (2014). A quantum approximate optimization algorithm // arXiv:1411.4028. [In Eng.].

Gomes, V., et al. (2023). Hybrid quantum-classical machine learning for generative chemistry and drug design // Scientific Reports. — Vol. 13. — Pp. 8307. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-023-32703-4. [In Eng.].

Grossi, M., Ibrahim, N., Radescu, V., Loredo, R., Voigt, K., Von Altrock, C., & Rudnik, A. (2022). Mixed quantum-classical method for fraud detection with quantum feature selection // IEEE Transactions on Quantum Engineering. — Vol. 3. — Pp. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1109/TQE.2022.3207094. [In Eng.].

Harrigan, M.P., et al. (2021). Quantum approximate optimization of non-planar graph problems on a planar superconducting processor // Nature Physics. — Vol. 17. — Pp. 332–336. [In Eng.].

Havlicek, V., Corcoles, A.D., Temme, K., Harrow, A.W., Kandala, A., et al. (2019). Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces // Nature. — Vol. 567. — No. 7747. — Pp. 209–212. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-019-0980-2. [In Eng.].

Henderson, M., Shakya, S., Pradhan, S., & Cook, T. (2020). Quanvolutional neural networks: Powering image recognition with quantum circuits // Quantum Machine Intelligence. — Vol. 2. — No. 2. DOI: https://doi.org/10.1007/s42484-020-00012-y. [In Eng.].

Innan, N., Khan, M.A., Marchisio, A., Shafique, M., & Bennai, M. (2024). Financial fraud detection using quantum graph neural networks // Quantum Machine Intelligence. — Vol. 6. — No. 1. — Pp. 7. [In Eng.].

Kyriienko, O., & Magnusson, E.B. (2022). Unsupervised quantum machine learning for fraud detection // arXiv:2208.01203. [In Eng.].

Larocca, M., Thanasilp, S., Wang, S., Sharma, K., Biamonte, J., et al. (2024). Barren plateaus in variational quantum computing // arXiv:2405.00781. [In Eng.].

Li, D., et al. (2024). Quantum classical hybrid convolutional neural networks for breast cancer diagnosis // Scientific Reports. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-74778-7. [In Eng.].

Liu, J., Arunachalam, S., & Temme, K. (2021). A rigorous and robust quantum speed-up in supervised machine learning // Nature Physics. — Vol. 17. — No. 9. — Pp. 1013–1017. DOI: https://doi.org/10.1038/s41567-021-01287-z. [In Eng.].

Lloyd, S. (1996). Universal quantum simulators. Science. — Vol. 273. — No. 5278. — Pp. 1073–1078. [In Eng.].

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

Long, C., Huang, M., Ye, X., Futamura, Y., & Sakurai, T. (2025). Hybrid quantum-classical-quantum convolutional neural networks // Scientific Reports. https://www.nature.com/articles/s41598-025-13417-1. [In Eng.].

Lusnig, L., Sagingalieva, A., et al. (2024). Hybrid quantum image classification and federated learning for hepatic steatosis diagnosis // Diagnostics. — Vol. 14. — No. 5. — Pp. 558. DOI: https://doi.org/10.3390/diagnostics14050558. [In Eng.].

Mari, A., Bromley, T.R., Izaac, J., Schuld, M., & Killoran, N. (2020). Transfer learning in hybrid classical-quantum neural networks // Quantum. — Vol. 4. — Pp. 340. DOI: https://doi.org/10.22331/q-2020-10-09-340. [In Eng.].

McClean, J.R., Boixo, S., Smelyanskiy, V.N., Babbush, R., & Neven, H. (2018). Barren plateaus in quantum neural network training landscapes // Nature Communications. — Vol. 9. — Pp. 4812. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-018-07090-4. [In Eng.].

Mitarai, K., Negoro, M., Kitagawa, M., & Fujii, K. (2018). Quantum circuit learning // Physical Review A. — Vol. 98. — No. 3. Article 032309. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.032309. [In Eng.].

Peruzzo, A., McClean, J., Shadbolt, P., Yung, M.H., et al. (2014). A variational eigenvalue solver on a photonic chip // Nature Communications. — Vol. 5. — Pp. 4213. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms5213. [In Eng.].

Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. Quantum. — Vol. 2. — No. 79. DOI: https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79. [In Eng.].

Radhi, E. A., Kamil, M. Y., & Mohammed, M. A. (2025). Quantum machine and deep learning for medical image classification: a systematic review // Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics. — Vol. 6. — Pp. 107–138. [In Eng.].

Semianalysis. (2023). GPT-4 architecture, infrastructure, training dataset, costs, vision, MoE // SemiAnalysis. Retrieved from https://www.semianalysis.com/p/gpt-4-architecture-infrastructure. [In Eng.].

Schuld, M., & Killoran, N. (2019). Quantum machine learning in feature Hilbert spaces // Physical Review Letters. — Vol. 122. — No. 4. Article 040504. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.040504. [In Eng.].

Schuld, M., Bocharov, A., Svore, K., & Wiebe, N. (2020). Circuit-centric quantum classifiers // Physical Review A. — Vol. 101. — No. 3. Article 032308. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevA.101.032308. [In Eng.].

Sim, S., Johnson, P.D., & Aspuru-Guzik, A. (2019). Expressibility and entangling capability of parameterized quantum circuits for hybrid quantum-classical algorithms // Advanced Quantum Technologies. — Vol. 2. — No. 12. DOI: https://doi.org/10.1002/qute.201900070. [In Eng.].

Tudisco, A., Volpe, D., Ranieri, G., Corbelletto, D., Ullah, U., & García Zapirain, B. (2025). Multi-VQC: A novel QML approach for enhancing healthcare classification // arXiv:2505.20797. [In Eng.].

Ubale, R., et al. (2025). Toward practical quantum machine learning: a novel hybrid quantum LSTM for fraud detection. arXiv:2505.00137.

Wang, S., Fontana, E., Cerezo, M., Sharma, K., Sone, A., Cincio, L., & Coles, P.J. (2021). Noise-induced barren plateaus in variational quantum algorithms // Nature Communications. — Vol. 12. — Pp. 6961. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-021-27045-6

Wierichs, D., Izaac, J., Wang, C., & Lin, C.Y.Y. (2022). General parameter-shift rules for quantum gradients // Quantum. — Vol. 6. — Pp. 677. DOI: https://doi.org/10.22331/q-2022-03-30-677

Zaman, K., Ahmed, T., Marchisio, A., & Shafique, M. (2024). A comparative analysis of hybrid-quantum classical neural networks // Springer CSCE 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-85884-0_9

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"