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. 529–544
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.029
УДК 004.85
МРНТИ 81.93.29

OPTIMISATION OF COMMUNICATION COSTS IN TWO-TIER FEDERATED LEARNING FOR CYBERATTACK DETECTION IN IOT NETWORKS

Ye.N. Tursynbek[1,2]*, N. Albanbay[1], D. Djenouri[3]
[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;
[2]Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan;
[3]University of the West of England, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: y.tursynbek@satbayev.university

Yerlan N. Tursynbek — PhD Candidate, Department of Cybersecurity, Institute of Automation and Information Technologies, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: y.tursynbek@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0009-9520-3030;
Nurtay Albanbay — PhD, Associate Professor, Department of Cybersecurity, Institute of Automation and Information Technologies, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-3393-7380;
Djamel Djenouri — PhD, School of Computing and Creative Technologies, University of the West of England (UWE), Bristol, United Kingdom
https://orcid.org/0000-0001-9333-9860.

© Ye.N. Tursynbek, N. Albanbay, D. Djenouri

Abstract. This paper addresses the challenge of reducing communication overhead in federated learning for distributed IoT networks whilst maintaining high-quality cyberattack detection. The CICIoT2023 dataset, containing data on network traffic and attacks in an Internet of Things environment, was used as the basis for the study. A one-dimensional convolutional neural network (1D-CNN) was used for classification, and a comparison was made between the classical single-layer FL architecture and the proposed two-layer hierarchical scheme with intermediate aggregation gateways. Experiments were conducted on 20 simulated devices over 21 training rounds. The results showed that the two-level architecture achieves an accuracy of 88.82%, which is practically equivalent to the result of the single-level model (88.87%), whilst the difference in Macro F1 and ROC-AUC also remains negligible. The main advantage of the proposed approach lies in a significant reduction in the load on the global server: the number of global parameter transfers is reduced from 420 to

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

15, i.e. by a factor of 28, which corresponds to a 96.4% reduction in traffic. Thus, the proposed architecture demonstrates an effective balance between classification quality and communication efficiency and can be regarded as a promising solution for scalable cybersecurity systems in the IoT.

Keywords: federated learning, intrusion detection, IoT, multi-level aggregation, CICIoT2023, FedAvg

For citation: Tursynbek Ye.N., Albanbay N., Djenouri D. (2026). Optimisation of communication costs in two-tier federated learning for cyberattack detection in IoT networks // International Journal of Information and Communication Technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 529–544. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.029. (In Russ.).

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

IOT ЖЕЛІЛЕРІНДЕ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ЕКІ ДЕҢГЕЙЛІ ФЕДЕРАЦИЯЛАНҒАН ОҚЫТУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ШЫҒЫНДАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Е.Н. Турсынбек[1,2]*, Н. Албанбай[1], Д. Дженоури[3]

[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

[2]Қазақ-Неміс университеті, Алматы, Қазақстан;

[3]Батыс Англия университеті, Бристоль, Ұлыбритания.

E-mail: y.tursynbek@satbayev.university

Тұрсынбек Ерлан Нұржанұлы — PhD докторант, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты Киберқауіпсіздік кафедрасы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: y.tursynbek@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0009-9520-3030;

Албанбай Нұртай — PhD, Қауымдастырылған профессор, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты Киберқауіпсіздік кафедрасы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0002-3393-7380;

Дженоури Джамель — PhD, Есептеу техникасы және шығармашылық технологиялар мектебі, Батыс Англия университеті (University of the West of England, UWE), Бристоль, Ұлыбритания
https://orcid.org/0000-0001-9333-9860.

© Е.Н. Тұрсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури

Аннотация. Бұл мақала таратылған IoT желілерінде федерацияланған оқытуда жоғары сапалы кибершабуылдарды анықтауды сақтай отырып, коммуникациялық шығындарды азайту мәселесін қарастырады. Зерттеу негізі ретінде заттар интернеті ортасындағы желілік трафик пен шабуылдар туралы дерек-

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

терді қамтитын CICIoT2023 деректер жиынтығы пайдаланылды. Сыныптау үшін бірөлшемді конволюциялық нейрондық желі (1D-CNN) қолданылды, сондай-ақ классикалық бірқабатты FL архитектурасы мен аралық агрегациялық шлюздермен ұсынылған екіқабатты иерархиялық схема арасында салыстыру жүргізілді. Эксперименттер 21 оқыту раундында 20 симуляцияланған құрылғыда өткізілді. Нәтижелер көрсеткендей, екі деңгейлі архитектура 88,82% дәлдікке қол жеткізеді, бұл іс жүзінде бір деңгейлі модельдің (88,87%) нәтижесімен тең, ал Macro F1 және ROC-AUC көрсеткіштеріндегі айырмашылық та елеусіз болып қалады. Ұсынылған тәсілдің басты артықшылығы – жаһандық серверге түсетін жүктемені айтарлықтай азайтуда: жаһандық параметрлерді тасымалдау саны 420-дан 15-ке дейін, яғни 28 есеге қысқарады, бұл трафикті 96,4%-ға азайтуға сәйкес келеді. Осылайша, ұсынылған архитектура жіктеу сапасы мен байланыс тиімділігі арасындағы тиімді тепе-теңдікті қамтамасыз етеді және IoT-дегі масштабталатын киберқауіпсіздік жүйелері үшін перспективалы шешім болып табылады.

Түйінді сөздер: федеративті оқыту, кіруді анықтау, заттар Интернеті, көпдеңгейлі агрегация, CICIoT2023, FedAvg

Дәйексөздер үшін: Тұрсынбек Е.Н., Албанбай Н., Дженоури Д. (2026). IoT желілерінде кибершабуылдарды анықтау үшін екі деңгейлі федерацияланған оқытудағы байланыс шығындарын оңтайландыру // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 529–544. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.029. (Орыс. тіл.).

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

ОПТИМИЗАЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ЗАТРАТ В ДВУХУРОВНЕВОМ ФЕДЕРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕР ТАК В IOT-СЕТЯХ

Е.Н. Турсынбек[1,2]*, Н. Албанбай[1], Д. Дженоури[3]

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

[2]Казахстанско-Немецкий Университет, Алматы, Казахстан;

[3]Университет Западной Англии, Бристоль, Великобритания.

E-mail: y.tursynbek@satbayev.university

Турсынбек Ерлан Нуржанулы — докторант PhD, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

E-mail: y.tursynbek@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0009-9520-3030;

Албанбай Нуртай — ассоциированный профессор, Институт автоматики и информационных технологий, кафедра кибербезопасности, обработки и хранения информации, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

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

https://orcid.org/0000-0002-3393-7380;
Дженури Джамель — PhD, Школа вычислительных и креативных технологий, Университет Западной Англии, Бристоль, Великобритания https://orcid.org/0000-0001-9333-9860.

© Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури

Аннотация. В статье рассматривается проблема снижения коммуникационных затрат в федеративном обучении для распределённых IoT-сетей при сохранении высокого качества обнаружения кибератак. В качестве основы исследования использован датасет CICIoT2023, содержащий данные о сетевом трафике и атаках в среде Интернета вещей. Для классификации применена одномерная сверточная нейронная сеть (1D-CNN), а сравнение выполнено между классической одноуровневой архитектурой FL и предложенной двухуровневой иерархической схемой с промежуточными шлюзами агрегации. Эксперименты проводились на 20 имитируемых устройствах в течение 21 раунда обучения. Полученные результаты показали, что двухуровневая архитектура обеспечивает точность 88,82%, что практически соответствует результату одноуровневой модели (88,87%), при этом разница по Macro F1 и ROC-AUC также остаётся пренебрежимо малой. Основное преимущество предложенного подхода заключается в резком снижении нагрузки на глобальный сервер: число глобальных передач параметров сокращается с 420 до 15, то есть в 28 раз, что соответствует экономии трафика на 96,4%. Таким образом, предложенная архитектура демонстрирует эффективный баланс между качеством классификации и коммуникационной эффективностью и может рассматриваться как перспективное решение для масштабируемых систем кибербезопасности в IoT.

Ключевые слова: федеративное обучение, обнаружение вторжений, IoT, многоуровневая агрегация, CICIoT2023, FedAvg

Для цитирования: Турсынбек Е.Н., Албанбай Н., Дженоури Д. (2026). Оптимизация коммуникационных затрат в двухуровневом федеративном обучении для обнаружения кибератак в IoT-сетях // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 529–544. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.029. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Интернет вещей представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся технологических парадигм, объединяющую миллиарды распределённых устройств, сенсоров и встроенных систем в единую сетевую инфраструктуру (Vashisth et al., 2025). Непрерывный рост числа подключённых устройств порождает принципиально новую задачу: как обучать модели машинного обучения на данных, которые по своей природе распределены между тысячами узлов

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

и не могут быть централизованно собраны без нарушения конфиденциальности и перегрузки сети (Abuhasel et al., 2020) reliability and security become the most important concerns in IIoT. This introduces many familiar and ever-increasing risks associated with the industrial system. The IIoT devices can be vulnerable to vast array of viruses, threats, and attacks. Therefore, an efficient protection strategy is required to ensure that the millions of IIoT devices are safe from these risks. However, resource constraint IIoT devices have not been designed to have effective security features. Due to this, in recent years, cloud, fog, and edge-based IIoT has received great attention in the research community. The computationally intensive tasks such as security, data analytics, decision making, and reporting are performed at the cloud or fog using a powerful computing infrastructure. The data security of the IIoT device has been provided by employing improved Rivest-ShamirAdelman (RSA. Федеративное обучение (FL) предлагает решение этой задачи: каждое устройство обучает модель локально на собственных данных, а на центральный сервер передаются лишь параметры модели. Такой подход позволяет строить глобальную модель без прямого доступа к локальным данным, что делает его особенно привлекательным для масштабируемых распределённых IoT-систем (Albanbay et al., 2025).

Тем не менее классическая одноуровневая схема федеративного обучения, реализованная в алгоритме FedAvg, сопряжена с существенной коммуникационной нагрузкой. В каждом раунде обучения все клиентские устройства передают полный вектор параметров модели непосредственно на глобальный сервер, после чего получают обновлённую модель обратно (Campos et al., 2022) most ML-enabled IDS approaches use centralized approaches where IoT devices share their data with data centers for further analysis. To mitigate privacy concerns associated with centralized approaches, in recent years the use of Federated Learning (FL. Для решения этой проблемы в литературе предложены многоуровневые архитектуры FL, в которых между устройствами и глобальным сервером располагаются промежуточные узлы-шлюзы, выполняющие локальную агрегацию обновлений своей группы. Такой подход позволяет сократить число передач на глобальный сервер: вместо каждого устройства обновление отправляет лишь шлюз группы. Однако недостатком одноуровневого FedAvg остаётся то, что коммуникационная нагрузка возрастает линейно с числом устройств, шлюзы же передают обновления на глобальный сервер в каждом раунде вне зависимости от того, насколько значимо изменилась модель.

Проблема минимизации коммуникационных затрат в FL является одной из центральных в текущих исследованиях (Donta et al., 2024). Основополагающий алгоритм FedAvg (McMahan et al., 2023) which in turn can greatly improve the user experience on the device. For example, language models can improve speech recognition and text entry, and image models can automatically select good photos. However, this rich data is often privacy sensitive, large in quantity, or both, which may preclude logging to the data center and training there using conventional approaches. We advocate an alternative that leaves the training data distributed on the mobile devices, and learns a shared model by aggregating locally-computed

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

updates. We term this decentralized approach Federated Learning. We present a practical method for the federated learning of deep networks based on iterative model averaging, and conduct an extensive empirical evaluation, considering five different model architectures and four datasets. These experiments demonstrate the approach is robust to the unbalanced and non-IID data distributions that are a defining characteristic of this setting. Communication costs are the principal constraint, and we show a reduction in required communication rounds by 10–100x as compared to synchronized stochastic gradient descent.»,»DOI»:»10.48550/arXiv.1602.05629»,»note»:»arXiv:1602.05629 [cs]»,»number»:»arXiv:1602.05629»,»publisher»:»arXiv»,»source»:»arXiv.org»,»title»:»Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data»,»URL»:»http://arxiv.org/abs/1602.05629»,»author»:[{«family»:»McMahan»,»given»:»H. Brendan»},{«family»:»Moore»,»given»:»Eider»},{«family»:»Ramage»,»given»:»Daniel»},{«family»:»Hampson»,»given»:»Seth»},{«family»:»Arcas»,»given»:»Blaise Agüera»,»dropping-particle»:»y»}],»accessed»:{«date-parts»:[[«2026»,4,15]]},»issued»:{«date-parts»:[[«2023»,1,26]]}}}],»schema»:»https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json»} заложил базу для распределенного обучения, однако его высокая чувствительность к пропускной способности сети стимулировала поиск альтернативных архитектур. Современные исследования в области федеративного обучения (FL) сосредоточены на преодолении ограничений пропускной способности сетей за счет оптимизации иерархических структур. Идея промежуточных агрегирующих узлов между устройствами и сервером (архитектура Client-Edge-Cloud) также встречается в литературе (Simos et al., 2022; Zhang et al., 2024), однако её применение к задаче обеспечения безопасности IoT-сетей остаётся малоизученным. Ряд авторов(Gusain et al., 2025; Ribero et al., 2020)»container-title»:»International Journal on Computational Modelling Applications»,»DOI»:»10.63503/j.ijcma.2025.115»,»ISSN»:»3048-8516»,»issue»:»2»,»language»:»en»,»license»:»Copyright (с предлагает использовать методы адаптивного изменения частоты синхронизации в зависимости от состояния беспроводных каналов связи, что теоретически повышает производительность в системах промышленного интернета вещей (IIoT). Также значительное внимание уделяется алгоритмам сжатия моделей и квантования весов Nariman & Hamarashid, 2025)4,15]]}}}],»schema»:»https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json»} для минимизации сетевой нагрузки. Тем не менее, несмотря на развитие методов адаптивной агрегации и энергоэффективных протоколов, в существующих работах все еще недостаточно изучен вопрос установления жесткого баланса между предельно редкой глобальной синхронизацией и сохранением точности классификации в крупномасштабных IoT-сетях (Barona et al., 2025).

Несмотря на активное развитие иерархических моделей, в научной литературе всё ещё не хватает работ, предлагающих прямое сравнение классических и многоуровневых систем с позиции радикальной экономии сетевых ресурсов и их влияния на качество обнаружения киберугроз (Tursynbek et al., 2026). Большинство существующих подходов опирается на условия с интенсивным

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

обменом данными между локальными узлами и облаком, что не позволяет объективно оценить потенциал федеративного обучения в сетях с низкой пропускной способностью. Датасет CICIoT2023 широко используется для обнаружения кибератак в IoT, однако его применение в сочетании с двухуровневой иерархической архитектурой FL, а также прямое количественное сравнение с классической одноуровневой схемой, ранее не рассматривались. В данной работе впервые для этого датасета реализована и экспериментально исследована подобная архитектура с использованием разработанной модели 1D-CNN (56 396 параметров), включая прямое сравнение с одноуровневой схемой. В результате показано, что снижение частоты глобальной синхронизации до одного раза на семь локальных раундов не приводит к статистически значимой потере точности (разница составляет 0,05 процентного пункта) при сокращении объёма передаваемого на сервер трафика более чем в 20 раз.

Материалы и методы.

Экспериментальное исследование базируется на использовании набора данных CICIoT2023 (Neto et al., 2023). На текущий момент этот датасет является одним из самых новых и распространенных ресурсов для анализа кибератак в среде Интернета вещей. Он был разработан Канадским институтом кибербезопасности (UNB) на основе активности 105 реальных устройств и охватывает 33 типа атак. В нашей работе данные были распределены между 20 имитируемыми узлами, при этом на каждое устройство приходится по 54 000 записей. Таким образом, общий объем выборки составил менее 1,1 миллиона образцов. Каждая запись в массиве содержит 39 информативных признаков, описывающих характеристики трафика, и одну целевую метку класса. Датасет был предварительно сбалансирован и перемешан, после чего разделён между 20 имитируемыми устройствами с помощью StratifiedKFold (n_splits=20, shuffle=True). В результате каждое из 20 устройств получило ровно 54 000 записей, из них поровну каждого из 12 классов (по 4500 записей на класс). Таким образом, все 20 устройств видят все 12 типов атак в одинаковой пропорции, и распределение данных между устройствами является однородным (IID). Каждая запись обрабатывалась как независимый пример, без учёта последовательности предыдущих записей.

Процесс подготовки данных был разделен на несколько этапов для обеспечения корректного обучения нейронной сети. Первоначально была проведена глубокая очистка выборки, в ходе которой удалялись дубликаты и записи с пустыми или некорректными значениями, что позволило исключить вычислительные ошибки при расчете градиентов. Далее была выполнена нормализация всех признаков с помощью метода Min-Max Scaling, в результате чего значения были приведены к диапазону [0, 1]. Это обеспечило единообразие данных и предотвратило доминирование отдельных параметров при извлечении признаков сверточными слоями модели.

Для классификации сетевого трафика была разработана модель на базе одномерной сверточной нейронной сети (1D-CNN). Данная архитектура выбрана благодаря высокой эффективности при обработке структурированных векто-

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

ров данных и низким вычислительным затратам на конечных IoT-устройствах. В Таблице 1 сведены основные параметры архитектуры сети и конфигурация процесса обучения.

Таблица 1. Параметры архитектуры CNN и конфигурация обучения.

Компонент / Параметр	Значение
Input Shape	(None, 39, 1)
Reshape	(39, 1)
Conv1D (Layer 1)	64 filters, kernel 3
BatchNorm + LeakyReLU	—
Dropout	0.2
Conv1D (Layer 2)	64 filters, kernel 3
BatchNorm + LeakyReLU	—
MaxPooling1D (1)	Pool size 2
Conv1D (Layer 3)	128 filters, kernel 3
BatchNorm + LeakyReLU	—
Dropout	0.3
MaxPooling1D (2)	Pool size 2
GlobalAveragePooling1D	—
Dense	128, LeakyReLU
Dropout	0.3
Output Layer	12 units, Softmax
Batch Size	1024
Learning Rate	0.001
Local Epochs	10
Optimizer	Adam
Параметры	56 396 (55 884 обучаемых + 512 BatchNorm)

Использование метода CNN в данной работе обусловлено необходимостью автоматического извлечения признаков из сырого сетевого трафика. Слои одномерной свертки позволяют выявлять корреляции между 39 входными признаками, в то время как слои подвыборки (Max Pooling) снижают размерность данных и вычислительную нагрузку. Для повышения обобщающей способности модели и предотвращения переобучения применен слой Dropout. Обучение проводится с использованием оптимизатора Adam при скорости обучения 0.001. Выбранный размер батча 1024 и проведение 10 локальных эпох обеспечивают стабильную сходимость модели на каждом из узлов перед этапом федеративной агрегации весов.

Алгоритм Federated Averaging (FedAvg) был выбран в качестве метода агрегации благодаря его способности минимизировать сетевой трафик при сохранении конфиденциальности данных. Суть алгоритма заключается в итеративном процессе, при котором каждый из 20 узлов выполняет локальное обучение, после чего передает на сервер только обновленные веса модели. Сервер вычисляет новую глобальную модель путем взвешенного усреднения полученных па-

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

раметров, где вклад каждого участника прямо пропорционален количеству его локальных примеров. Математически процедура агрегации на раунде $t+1$ описывается следующей формулой:

$$w^{(t+1)} = \sum_{k=1}^{K} \frac{n_k}{\sum_{j=1}^{K} n_j} w_k^{(t)} \quad (1)$$

где $w_k^{(t)}$ — параметры локальной модели *k* -го клиента после *t* -го раунда обучения; n_k — число локальных образцов на k -м устройстве; *K* — количество узлов, участвующих в федеративном обучении. Отметим, что величина $w_k^{(t)}$ представляет собой не «сырые» веса, а результат *E* локальных эпох обучения клиента *k*, выполненных от текущего значения глобальной модели. Данный подход позволяет модели эффективно аккумулировать знания о паттернах кибератак со всех сегментов сети, не требуя централизации сырого трафика.

Для оценки эффективности распределенного обучения были разработаны и протестированы две конфигурации сетевой топологии. В одноуровневой архитектуре (Single-tier) все 20 IoT-устройств напрямую взаимодействуют с центральным сервером. В этой схеме каждый раунд обучения требует передачи параметров от каждого узла, что при 21 раунде агрегации генерирует суммарно 420 коммуникационных транзакций. Такая структура создает значительную нагрузку на магистральные каналы связи и центральный агрегатор, что может быть критично для масштабируемых сетей.

В противовес этому, предложенная двухуровневая (иерархическая) архитектура вводит промежуточный слой агрегации, распределяя 20 устройств по 5 группам (по 4 узла в каждой). Основной объем обмена весами происходит локально внутри групп, в то время как связь с глобальным сервером осуществляется дискретно — один раз на семь локальных циклов. Данный подход позволяет сократить количество глобальных транзакций до 15, что в 28 раз снижает нагрузку на центральный сервер по сравнению с одноуровневой моделью. Это обеспечивает экономию ресурсов пропускной способности без потери репрезентативности данных, так как глобальная модель по-прежнему получает агрегированные знания от всех сегментов сети.

На Рисунке 1 представлена разработанная двухуровневая архитектура федеративного обучения, адаптированная для распределенных IoT-сетей. В отличие от стандартных подходов, данная топология включает промежуточный уровень обработки данных.

- *Глобальный сервер:* располагается в верхней части иерархии и отвечает за финальную агрегацию параметров модели. Он координирует работу всей системы, но взаимодействует только с пограничными шлюзами, что минимизирует количество прямых соединений.
- *Пограничные шлюзы:* выступают в роли промежуточных агрегаторов. Каждый шлюз объединяет группу клиентов (устройств), собирает их

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

локально обученные веса и выполняет предварительное усреднение. Это позволяет проводить интенсивный обмен данными внутри локальных сегментов сети, не перегружая глобальный канал связи.

- *Клиенты:* на нижнем уровне находятся конечные устройства, которые непосредственно выполняют обучение разработанной модели CNN на своих локальных данных. После завершения циклов обучения они передают обновленные веса на соответствующий пограничный шлюз.

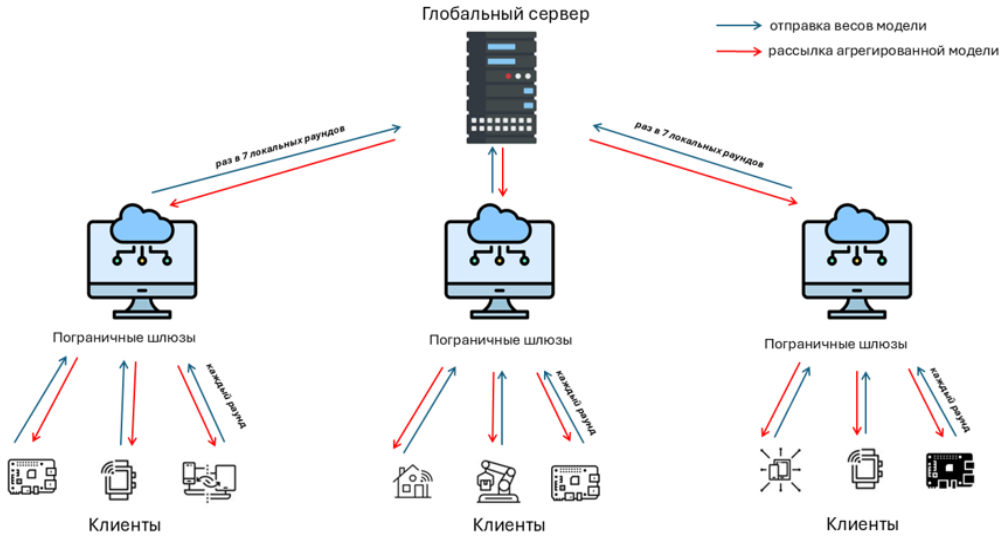


Рис. 1. Иерархическая архитектура двухуровневого FL.

Такая структура позволяет реализовать дискретную синхронизацию. В то время как обмен между клиентами и шлюзами происходит часто, связь шлюзов с глобальным сервером осуществляется только раз в несколько циклов.

Результаты и обсуждение.

В данном разделе представлены результаты сравнительного эксперимента двух архитектур федеративного обучения: одноуровневой (Single-level FL) и двухуровневой (Two-level FL). Обе конфигурации обучались на датасете CICIoT2023 с использованием модели CNN при N = 20 устройствах в течение 21 абсолютного раунда. В двухуровневой архитектуре 20 устройств объединены в 5 групп по 4 устройства; агрегация внутри групп выполняется на шлюзах, а на глобальный сервер передаются обновления лишь 3 раза (по одному разу на каждые 7 локальных раундов), что составляет 15 глобальных передач.

Сравнение качества классификации.

Таблица 2 содержит итоговые метрики качества обеих архитектур в финальном (21-м) абсолютном раунде. Как видно из таблицы, разница в точности между двумя архитектурами составляет лишь 0,05 процентного пункта, разница в Macro F1 — 0,0005, а в ROC-AUC — 0,0003. Все три показателя находятся в пределах статистической погрешности и не имеют практической значимости с

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

точки зрения качества классификации. Таким образом, переход от одноуровневой к двухуровневой архитектуре не приводит к заметному ухудшению обнаружения атак.

Таблица 2. Сравнение финальных метрик качества

Метрика	Single-level FL	Two-level FL	Разница
Accuracy	88,87%	88,82%	−0,05%
Macro F1	0,8802	0,8797	−0,0005
ROC-AUC	0,9393	0,9390	−0,0003
Loss	0,2496	0,2502	+0,0006

Визуальный анализ результатов, представленный на Рисунке 2а, демонстрирует высокую степень конвергенции (сходимости) всех 20 узлов. Несмотря на локальное обучение на различных сегментах данных, графики точности всех устройств после 2-го раунда собираются в единый плотный кластер, достигая финального плато в районе 88,82%.

Для проверки статистической устойчивости результатов обучение каждой архитектуры было повторено 5 раз с различными значениями random seed (42, 1, 7, 123, 2024). Для двухуровневой архитектуры получено среднее значение accuracy 88,799% ($\sigma = \pm 0{,}026$ п.п.), для одноуровневой — 88,818% ($\sigma = \pm 0{,}023$ п.п.). Разброс между запусками с разными seed (±0,02–0,03 п.п.) сопоставим с разницей между архитектурами, что говорит о статистической неразличимости двух схем по точности при IID-распределении данных.

Таблица 3. Статистика по 5 запускам с разными random seed

Архитектура	Mean accuracy	Std	n
Two-level FL	88,799%	±0,026 п.п.	5
One-level FL	88,818%	±0,023 п.п.	5

Дополнительно проведено сравнение с двумя альтернативными подходами (Таблица 4). Централизованное обучение (все данные на одном сервере, без федеративной схемы) служит верхней границей качества: accuracy составила 88,94%, то есть разрыв с федеративными схемами не превышает 0,14 процентного пункта. Также исследовано 8-битное квантование весов при передаче между устройствами, шлюзами и глобальным сервером (симметричное линейное квантование per-tensor): оно обеспечивает 4-кратное сокращение объёма передаваемых данных при точности, практически идентичной неквантованному варианту (88,82% в обоих случаях), и ошибке округления порядка $4{,}6 \times 10^{-6}$ (MSE).

На Рисунке 2б показана динамика функции потерь. Резкое снижение Loss-показателей в начальный период и отсутствие значимых скачков (осцилляций) в моменты глобальной агрегации (каждые 7 раундов) подтверждают стабильность предложенного иерархического алгоритма. Это доказывает, что промежуточное усреднение на уровне шлюзов эффективно стабилизирует веса модели перед их передачей на глобальный сервер.

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

Таблица 4. Сравнение с альтернативными подходами

Вариант	Accuracy	Loss
Centralized (upper bound)	88,94%	0,2475
Two-level FL, mean (5 seeds)	88,80%	—
One-level FL, mean (5 seeds)	88,82%	—
Two-level FL + int8 quantization	88,82%	0,2502

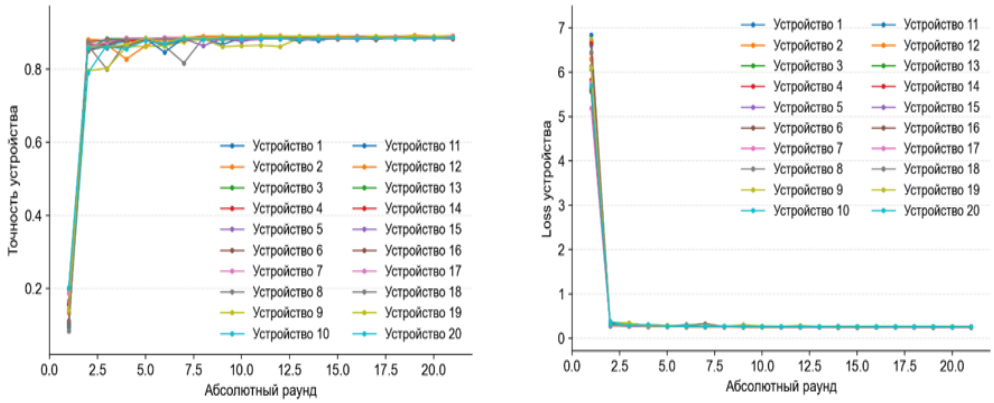


Рис. 2. Динамика показателей обучения для 20 IoT-устройств в двухуровневой архитектуре FL: (а) точность классификации; (б) значения функции потерь.

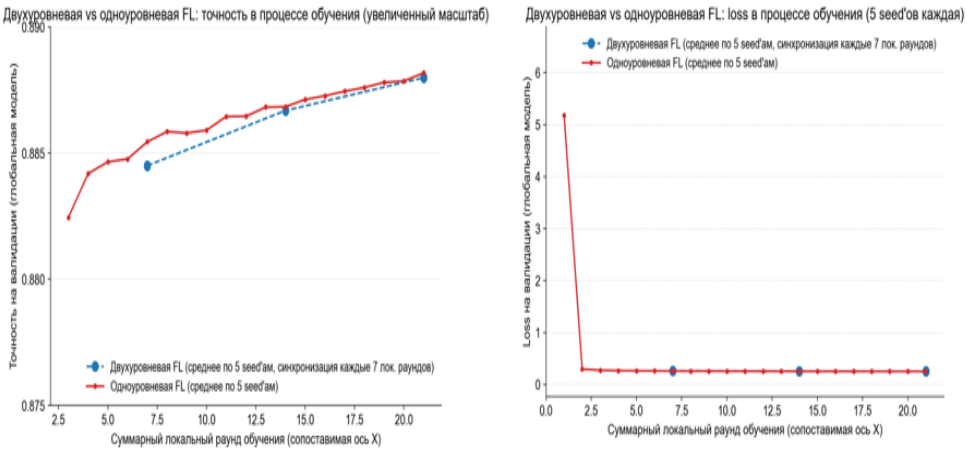


Рис. 3. Сравнение динамики обучения одноуровневой и двухуровневой архитектур FL по метрикам: (а) Accuracy; (б) Loss, усреднённым по 5 запускам с разными random seed.

Сравнение коммуникационных затрат.

Принципиальное различие между двумя архитектурами проявляется в числе глобальных передач параметров модели на сервер. В таблице 5 представлено сравнение коммуникационных затрат. Двухуровневая архитектура сокращает число глобальных передач с 420 до 15, то есть в 28 раз. Это достигается за счёт двух механизмов: во-первых, вместо 20 устройств на глобальный сервер

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

выходят лишь 5 шлюзов; во-вторых, глобальная синхронизация происходит не в каждом раунде, а лишь раз в 7 локальных раундов. В совокупности оба механизма обеспечивают 96,4-процентную экономию глобального трафика.

В абсолютных величинах: при размере модели 56 396 параметров (225 584 байта ≈ 0,215 МБ в формате float32) одноуровневая схема передаёт на сервер около 90,3 МБ трафика (420 передач), тогда как двухуровневая — около 3,2 МБ (15 передач), что даёт абсолютную экономию порядка 87,1 МБ.

Таблица 5. Сравнение коммуникационных затрат

Параметр	Single-level FL	Two-level FL
Устройств / шлюзов на глобальный сервер	20	5
Глобальных раундов	21	3
Итого глобальных передач	420	15
Сокращение	—	в 28 раз (−96,4%)

Динамика обучения в обеих архитектурах имеет схожий характер: на первом раунде точность составляет около 10%, что соответствует случайной инициализации модели, а уже со второго раунда происходит резкий скачок до уровня 88,2–88,8%. В одноуровневой архитектуре дальнейшее улучшение носит плавный монотонный характер: точность медленно возрастает с 88,24% (раунд 2) до 88,87% (раунд 21) на протяжении всех 21 раунда. В двухуровневой архитектуре аналогичного уровня качества достигается уже к 7-му абсолютному раунду (первый глобальный раунд: 88,44%), а к 21-му раунду модель выходит на 88,82%. Таким образом, двухуровневая архитектура обеспечивает практически эквивалентное конечное качество при значительно более редкой глобальной синхронизации.

Полученные результаты убедительно демонстрируют, что иерархическая двухуровневая архитектура FL обеспечивает выгодный компромисс между коммуникационной эффективностью и качеством модели. Потеря точности в 0,05% является пренебрежимо малой величиной в сравнении с 28-кратным сокращением нагрузки на глобальный сервер. В контексте реальных IoT-сетей, где пропускная способность каналов между конечными устройствами и облачным сервером зачастую ограничена, подобная экономия трафика имеет принципиальное значение для практического развёртывания систем федеративного обучения. Промежуточная агрегация на уровне шлюзов позволяет интенсивный локальный обмен обновлениями оставлять внутри группы, вынося на глобальный уровень лишь финальный агрегированный вектор. Это не только снижает трафик, но и повышает устойчивость системы к возможным перебоям в связи с центральным сервером.

Обсуждение масштабируемости и ограничений.

Эксперименты в данной работе проведены преимущественно на (N=20) устройствах, однако аналитическая оценка коммуникационных затрат может быть распространена на сети большего масштаба. При фиксированном размере группы число глобальных передач растёт линейно с увеличением (N) как в од-

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

ноуровневой, так и в двухуровневой схеме. При объединении четырёх устройств на один шлюз коэффициент роста для двухуровневой архитектуры оказывается в 4 раза меньше. Дополнительное сокращение коммуникаций достигается за счёт выполнения глобальной синхронизации один раз в 7 раундов и не зависит от числа устройств. Например, при (N=200) одноуровневая схема потребует около 4200 глобальных передач за 21 раунд, тогда как двухуровневая — порядка 150, что соответствует сокращению коммуникационной нагрузки примерно в 28 раз.

Для проверки того, сохраняется ли качество классификации при увеличении масштаба сети, дополнительно проведены эксперименты с большим числом устройств (Таблица 6). При (N=50) (размер группы — 5 устройств, число групп — 10) точность составила 88,67%, а при (N=100) (размер группы — 5 устройств, число групп — 20) — 88,41%. Незначительное изменение точности по сравнению с конфигурацией (N=20) показывает, что при IID-распределении данных увеличение числа устройств и числа групп не приводит к существенному ухудшению качества классификации. Таким образом, аналитические и экспериментальные результаты указывают на возможность масштабирования предложенной двухуровневой архитектуры при сохранении преимуществ по коммуникационной эффективности и сопоставимого качества модели. Вместе с тем вопросы дополнительной вычислительной и коммуникационной нагрузки на шлюзы, а также отказоустойчивости при дальнейшем увеличении (N), требуют отдельного исследования и рассматриваются как направление дальнейшей работы.

Таблица 6. Эмпирическая проверка масштабируемости

Устройств	Group size	Групп	Accuracy
20	4	5	88,82%
50	5	10	88,67%
100	5	20	88,41%

Таблица 7. Нагрузка на шлюз: время агрегации и разброс между устройствами

Метрика	Two-level	One-level
Время агрегации (group+global)	37,5 с (n=3)	8,8 с (n=5)
Время обучения устройства, mean	12,3 с	12,2 с
Время обучения устройства, диапазон	9,6–14,3 с	9,8–16,2 с

Проведено измерение времени агрегации на шлюзах по временным меткам логов обучения (Таблица 7). Двухуровневая схема тратит на агрегацию (групповую и глобальную) в среднем 37,5 с за цикл синхронизации против 8,8 с у одноуровневой схемы — дополнительные 28,7 с являются ожидаемой платой за второй уровень усреднения. При этом среднее время локального обучения устройства сопоставимо между схемами (12,3 с и 12,2 с соответственно), а разброс между самым быстрым и медленным устройством внутри группы объясняется шумом планировщика ОС, а не дисбалансом объёма данных, поскольку распределение данных однородно (IID).

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

Заключение.

В данной работе предложена и исследована иерархическая двухуровневая архитектура федеративного обучения, адаптированная для обнаружения кибератак в распределенных сетях IoT. Эксперименты на датасете CICIoT2023 показали, что использование промежуточных шлюзов для агрегации весов позволяет достичь точности 88,82%, что практически идентично показателю стандартной одноуровневой модели (88,87%). Незначительная разница в 0,05% подтверждает, что иерархическая структура сохраняет высокую надежность классификации при значительном изменении топологии сети.

Ключевым достижением исследования стало радикальное снижение коммуникационной нагрузки на глобальный сервер: количество транзакций сократилось с 420 до 15, что эквивалентно экономии трафика на 96,4%. Анализ динамики обучения (Рис. 2а, 2б) подтвердил стабильную сходимость модели на всех 20 устройствах, доказывая эффективность промежуточного усреднения данных. Таким образом, разработанный подход является оптимальным решением для масштабируемых систем безопасности IoT, где критически важны экономия ресурсов и пропускная способность каналов связи. Ограничением данной работы остаётся отсутствие сравнения со схемами с более чем двумя уровнями иерархии и с адаптивными методами частоты синхронизации — включение таких сравнений обозначено как направление дальнейшей работы.

REFERENCES

Abuhasel, K. A., & Khan, M. A. (2020). A Secure Industrial Internet of Things (IIoT) Framework for Resource Management in Smart Manufacturing // IEEE Access. — Vol. 8. — Pp. 117354–117364. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004711 [in Eng].

Albanbay, N., Tursynbek, Y., Graffi, K., Uskenbayeva, R., Kalpeyeva, Z., Abilkaiyr, Z., & Ayapov, Y. (2025). Federated Learning-Based Intrusion Detection in IoT Networks: Performance Evaluation and Data Scaling Study // Journal of Sensor and Actuator Networks. — Vol. 14. — No. 4. — Pp. 78. DOI: https://doi.org/10.3390/jsan14040078 [in Eng].

Barona López, L. I., & Borja Saltos, T. (2025). Heterogeneity Challenges of Federated Learning for Future Wireless Communication Networks // Journal of Sensor and Actuator Networks. — Vol. 14. — No. 2. — Pp. 37. DOI: https://doi.org/10.3390/jsan14020037 [in Eng].

Campos, E. M., Saura, P. F., González-Vidal, A., Hernández-Ramos, J. L., Bernabé, J. B., Baldini, G., & Skarmeta, A. (2022). Evaluating Federated Learning for intrusion detection in Internet of Things: Review and challenges // Computer Networks. — Pp. 203. Article 108661. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108661 [in Eng].

Nariman, G. S., & Hamarashid, H. K. (2025). Communication overhead reduction in federated learning: a review // International Journal of Data Science and Analytics. — Vol. 19. — No. 2. — Pp. 185–216. [in Eng].

Donta, P. K., Hazra, A., & Lovén, L. (Eds). (2024). Learning Techniques for the Internet of Things. Springer Nature Switzerland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-50514-0 [in Eng].

Gusain, N., & Sharma, H. (2025). Communication-Efficient Federated Learning in Industrial IoT — A Framework for Real-Time Threat Detection and Secure Device Coordination // International Journal on Computational Modelling Applications. — Vol. 2. — No. 2. — Pp. 18–29. DOI: https://doi.org/10.63503/j.ijcma.2025.115 [in Eng].

McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & Arcas, B. A. y. (2023). Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data (arXiv:1602.05629). arXiv. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1602.05629 [in Eng].

Neto, E. C. P., Dadkhah, S., Ferreira, R., Zohourian, A., Lu, R., & Ghorbani, A. A. (2023). CICIoT2023: A Real-Time Dataset and Benchmark for Large-Scale Attacks in IoT Environment. Sensors. — Vol. 23. — No. 13. — Pp. 5941. DOI: https://doi.org/10.3390/s23135941 [in Eng].

Ribero, M., & Vikalo, H. (2020). Communication-Efficient Federated Learning via Optimal Client

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

Sampling (arXiv:2007.15197). arXiv. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.15197 [in Eng].

Simos, M., Bouzinis, P. S., Diamantoulakis, P. D., Sarigiannidis, P., & Karagiannidis, G. K. (2022). Hierarchical Federated Learning for the Next Generation IoT. 2022 18th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). — Pp. 198–203. DOI: https://doi.org/10.1109/WiMob55322.2022.9941355 [in Eng].

Tursynbek, Y., Albanbay, N., Djenouri, D., Latif, S., Akhmediyarova, A., Alibiyeva, Z., Alimkulova, J., & Oralbekova, D. (2026). Secure Federated Intrusion Detection for Resource-Constrained IoT Devices Using Lightweight Cryptography: A Hardware-Validated Study // Future Internet. — Vol. 18. — No. 6. — Pp. 306. DOI: https://doi.org/10.3390/fi18060306[in Eng].

Vashisth, S., & Goyal, A. (2025). A Survey of Federated Learning for IoT: Addressing Resource Constraints and Heterogeneous Challenges // Informatica. — Vol. 49. — No. 17. DOI: https://doi.org/10.31449/inf.v49i17.7707 [in Eng].

Zhang, H., Du, J., Hou, X., Jiang, C., Wang, J., & Niyato, D. (2024). Convergence Analysis of Hierarchical Split Federated Learning. — Pp. 817. DOI: https://doi.org/10.1109/GLOBECOM52923.2024.10901714 [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"