

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



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.
Volume 7. 1 (25). 2026
January–March

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 1 (25). 2026
Қаңтар-Наурыз

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 1 (25). 2026
Январь-Март

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 Rysbauly — 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)

Nurzhaz Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerai 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 Yeskendirowa — 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 Түлегеновна — 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)

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

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

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

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

Синчев Бахтгерей Кусанович — 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 бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абикаликова Замира Тұрсынбаевна — 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 Максұтовна Ескендірова — 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)

Айтмағамбетов 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)

Тадеш Валлас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

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

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

Белюшицкая 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)

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

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

Айтмаганбетов 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 Сахиябай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимсиреб 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)

Белошицкая 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 SOCIOECONOMIC SYSTEMS

A.B. Zhalgas, Y.N. Kalpakov, B.Ye. Amirgaliyev MACHINE LEARNING-DRIVEN OPTIMIZATION OF LOGISTICS IN SMART CITIES: A CASE STUDY OF ASTANA	11
L. Kurmangazyieva, Sh. Kodanova, M. Urazgaliyeva, O. Findik, S. Iskakova INTEGRATING FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING BUSINESS PROCESS AUTOMATION DECISIONS	26
Y. Mailybayev, U. Adilbayeva, R. Amanova ORGANIZATION OF AN ONLINE SURVEY OF PARTICIPANTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND ANALYSIS OF THE RESULTS BASED ON THE MODIFIED DELPHI METHOD	48
V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES	63
G. Hamada, M. Hamada LEVERAGING MACHINE LEARNING MODELS TO BOOST THE MANIPULATION OF UNSTRUCTURED DECISIONS AND UNSTRUCTURED DATA IN DIGITAL BUSINESS FIRMS	78

INFORMATION TECHNOLOGY

M. Zh. Aitimov, G. K. Muratova, Zh. K. Bissenbayeva, I.M. Bapiyev, M. Kassim SEMANTIC COMPLETENESS IN KAZAKH-LANGUAGE EXTRACTIVE QA THROUGH ONTOLOGY AND RETRIEVAL MECHANISMS	96
A.Aitim, A. Auyezova ENCODING NP-COMPLETE PROBLEM INSTANCES INTO NATURAL LANGUAGE FOR LLM PROCESSING	109
O.N. Akylbekov, Y.T. Dauletbek, A.N. Moldagulova, G.S. Zakariya, D.A. Gura MACHINE LEARNING METHODS FOR ANALYSING THREE-DIMENSIONAL SPATIAL DATA IN KAZAKHSTAN'S LAND USE PLANNING	126
S.Zh. Aliaskarov, R.K. Uskenbayeva, A. Razaque, A.B. Kassymova, A.M. Anartayeva TOWARDS EFFICIENT BIG DATA ANALYTICS IN REGIONAL SYSTEMS: PRACTICAL INSIGHTS FROM HYBRID ARCHITECTURE DEPLOYMENT	146
Zh. Bilyalova, N. Shazhdekeyeva, K. Uteuliyeva, T.Akhmurzina, L. Nurgaliyeva A MATHEMATICAL MODEL FOR DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY HYBRID BASED ON FUZZY LOGIC AND GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	165
A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA	186
G. Kalman, J. Kultan, A.N. Ismukamova, N.M. Ausilova, Y.V. Makhatova A DOMAIN-KNOWLEDGE-BASED MODEL FOR REFERENCE RESOLUTION IN LOW-RESOURCE LANGUAGES.....	199
Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA	216
A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION	231
A. Kalykulova, K. Bakirov, A. Shoman, A. Nugumanova FORMATION OF A UNIFIED DATA SET FOR ANALYZING THE RELATIONSHIP BETWEEN DOG BREEDS AND DISEASES	247
D. Kantayeva, A. Seisenbekkyzy, S. Biloshchytska COMPARATIVE EVALUATION MODEL BASED ON EXPERT SYSTEMS FOR ABSTRACTIVE SUMMARIZATION OF SCIENTIFIC TEXTS	269
N. Mordvintsev, Zh. Oralbekova, A. Bakiyeva DEEP LEARNING-BASED VEHICLE MAKE AND MODEL RECOGNITION: DATASET CHALLENGES	

AND INFLUENCING FACTORS IN URBAN TRAFFIC	269
M.B. Nurpeissova, Sh.K. Aitkazinova, A.M. Abenov, N.S. Donenbayeva METHODOLOGY FOR TRANSFORMING SATELLITE COORDINATES INTO A TOPOCENTRIC RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM	315
L. Naizabayeva, G. Turken, R.A. Druba EFFECTIVE METHOD FOR OPTIMAL CLUSTERING IN UNSUPERVISED LEARNING	328
S. Nurgaliyeva, Zh. Seitkaliyev, A. Sakhipov, M. Kali, R. Hrmo YIELD FORECASTING FOR FRUITS AND VEGETABLES USING RANDOM FOREST ON LARGE- SCALE AGROCLIMATIC DATA	339
A. Nurgalykov, S. Sapakova, D. Zhalmukhanbetov, G. Nurgazy, A. Myrzabayev LANGUAGE ASYMMETRY IN LLMS: THE IMPACT OF NON-ENGLISH DATA ON ACCURACY AND RELIABILITY	355
A. Ospanov, P. Alonso-Jordá, A. Zhumadillayeva BLOCKCHAIN-ENABLED ERP WAREHOUSE INTEGRATION WITH IOT DIMENSIONERS AND MACHINE LEARNING–OPTIMIZED DIMENSIONAL WEIGHT RECONCILIATION	371
A.A. Sakhipov, R.B. Seıitbek EVENT-DRIVEN MICROSERVICES FOR INCIDENT DETECTION AND RESPONSE IN INTELLIGENT TRAFFIC SYSTEM	387
A. Tursynova, B. Omarov EVOLUTION OF THE EFFECTIVENESS OF CONDITIONAL GAN FOR THE SYNTHESIS OF CT IMAGES OF THE BRAIN IN THE DIAGNOSIS OF STROKE	400
G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt DETERMINATION OF SOIL PROFILE STRATIFICATION AT 0–200 CM DEPTH USING A MULTILEVEL STACKING MODEL	414

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

S.A. Adilzhanova, M.Zh. Sakypbekova, L.Sh. Cherikbaeva, G.A. Tyulepberdinova, G.T. Zhubanysheva SYSTEMATIC ANALYSIS OF RISK ASSESSMENT METHODS AND MODELS IN INFORMATION SECURITY.....	427
T. K. Zhukabayeva, D.B. Baumuratova, E. Benkhelifa , N.A. Niyetbayeva EDGE COMPUTING-BASED TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION OF ATTACK DETECTION MEANS IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF INDUSTRIAL INTERNET-OF-THINGS	453
N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, Y.M. Mardenov, B. Tassuov, M. Fajkus DETECTION OF CYBER ATTACKS IN TRANSPORT NETWORKS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS	475
B.A. Kumalakov, A.O. Dargulova A HYBRID FRAMEWORK FOR RESUME-JOB MATCHING SYSTEM	494
V. Makhatova, B. Dzhugembayeva, A. Gabdulova, L. Nurgaliyeva, A. Abdigaliyeva MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL SENSOR SELECTION IN SIEM SYSTEMS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS	509

МАЗМУНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЛОГИСТИКАНЫ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ: АСТАНАНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ.....	11
Л.Қурманғазиева, Ш. Қоданова, М. Уразғалиева, О. Findik, С. Искакова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКАНЫ БІРІКТІРУ АРҚЫЛЫ БИЗНЕС- ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ ШЕШІМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ	26
Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова ҰЙЫМДАСТЫРЫЛҒАН ОНЛАЙН САУАЛНАМА АРҚЫЛЫ БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАРДЫҢ ПІКІРЛЕРІН ЖИНАУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ДЕЛЬФИ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ	48
В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов	

МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ АСТАНАНЫҢ АВТОБУС ЖЕЛІСІНІҢ ТҮРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ: КЕЗДЕЙСОҚ ЖӘНЕ МАҚСАТТЫ ІСТЕН ШЫҒУЛАР ЖАҒДАЙЫНДА	63
Г. Хамада, М. Хамада ЦИФРЛЫҚ БИЗНЕС-ҰЙЫМДАРЫНДА ҚҰРЫЛЫМДАЛМАҒАН ШЕШІМДЕР МЕН ҚҰРЫЛЫМДАЛ- МАҒАН ДЕРЕКТЕРМЕН ЖҰМЫС ІСТЕУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН ПАЙДАЛАҢУ	78

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим ОНТОЛОГИЯ ЖӘНЕ ІЗДЕУ МЕХАНИЗМДЕРІ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ҚА-ДАҒЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТОЛЫҚТЫҚ	96
Ә. Әйтiм, Ә. Әуезова LLM ӨНДЕУІ ҮШІН NP-ТОЛЫҚ ЕСЕПТЕРДІҢ ЭКЗЕМПЛЯРЛАРЫН ТАБИҒИ ТІЛДЕ КОДТАУ	109
О.Н. Ақылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖОСПАРЛАУЫНДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІКТІК МӘЛІМЕТТЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ	126
С.Ж. Алиаскаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Касымова, А.М. Анартаева АЙМАҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ТИІМДІ ТАЛДАУҒА ҚАРАЙ: ГИБРИДТІ АРХИТЕКТУРАНЫ ЕНГІЗУДІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ТҮСІНІКТЕР.....	146
Ж. Билялова, Н. Шаждекеева, К. Өтеулиева, Т. Ахмурзина, Л. Нұрғалиева АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКА ЖӘНЕ ГЕНЕРАТИВТІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫҢ ГИБРИДТІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ	165
А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді РОСКОПИЯЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРІН КӨПКЛАССТЫ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ	186
Г. Қалман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова ПӘНДІК САЛА БІЛІМ НЕГІЗІНДЕ РЕУСРСТАРЫ АЗ ТІЛДЕРДЕГІ РЕФЕРЕНЦИЯНЫ ШЕШУДІҢ МОДЕЛІ.....	199
Е.Г. Кәмен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь ЭЭГ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БАЛАЛАРДЫҢ ЗЕЙІНІН ОБЪЕКТИВТІ БАҒАЛАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ	216
А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ҚАМТУ АЙМАҒЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӨРТҮРЛІ РАДИОТӨЛҚЫН ТАРАЛУ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ	231
А. Калыкулова, К. Бакиров, А. Шоман, А. Нугуманова ИТ ТҰҚЫМДАРЫ МЕН АУРУЛАРЫ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫСТЫ ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН БЫРЫҒАЙ ДЕРЕКТЕР ЖИЙНТЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ	247
Д. Кантаева, А. Сейсенбекқызы, С. Билощницкая ҒЫЛЫМИ МӘТІНДЕРДІ АБСТРАКТИВТІ РЕФЕРАТТАУҒА АРНАЛҒАН ЭКСПЕРТТІК ЖҮЙЕЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ МОДЕЛІ	269
Н. Мордвинцев, Ж. Оралбекова, А. Бакиева ТЕРЕҢ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ МАРКАСЫ МЕН МОДЕЛІН ТАҢУ: ҚА- ЛАЛЫҚ КӨЛІК ҚОЗҒАЛЫСЫНДАҒЫ ДЕРЕКТЕР ЖИЙНТЫҒЫНЫҢ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЫҚПАЛ ЕТУШІ ФАКТОРЛАР	285
М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазина, А.М. Абеннов, Н.С. Дөненбаева СПУТНИКТІК КООРДИНАТТАРДЫ ТОПОЦЕНТРЛІК ТІК БҰРЫШТЫ КООРДИНАТТАР ЖҮЙЕСІНЕ ТҮРЛЕНДІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ	315
Л. Найзабаева, Г. Түркен, Р.А. Друба БАҚЫЛАНБАЙТЫН ОҚЫТУДАҒЫ ОҢТАЙЛЫ КЛАСТЕРЛЕУДІҢ ТИІМДІ ӘДІСІ	328
С. Нұрғалиева, Ж. Сенткалиев, А. Сахипов, М. Кали, Р. Грмо ҮЛКЕН КӨЛЕМДЕГІ АГРОКЛИМАТТЫҚ ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕ RANDOM FOREST ӘДІСІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЖЕМІС-КӨКӨНІС ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН БОЛЖАУ	339
А. Нұрғалықов, С. Сапакова, Д. Жалмұханбетов, Г. Нұрғазы, А. Мырзабаев ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕРДЕГІ ТІЛДІК АСИММЕТРИЯ: АҒЫЛШЫН ТІЛІНЕН БАСҚА ДЕРЕКТЕРДІҢ ДӘЛДІК ПЕН СЕНІМДІЛІККЕ ӘСЕРІ	355
А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жұмаділлаева	

БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЫҚПАЛДАС ERP ҚОЙМА ЖҮЙЕСІН ІОТ ДИМЕНСИОНЕРЛЕР ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ОПТИМИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨЛШЕМДІ САЛМАҚ ЕСЕПТЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	371
А.А. Сахипов, Р.Б. Сейітбек ОҚИҒАҒА БАҒДАРЛАНҒАН МИКРОҚЫЗМЕТТЕР ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ АҚЫЛДЫ ТРАФИК ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҚИҒАЛАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ШАРАЛАР ҚОЛДАНУ	387
А. Турсынова, Б. Омаров ИНСУЛЬТТИ ДИАГНОСТИКАЛАУ КЕЗІНДЕ МИ КТ-БЕЙНЕЛЕРІН СИНТЕЗДЕУГЕ АРНАЛҒАН ШАРТТЫ ҒАН ТИІМДІЛІГІНІҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ	400
Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, Р. Schmidt ТОПЫРАҚ ПРОФИЛІНІҢ 0–200 СМ ТЕРЕНДІКТЕГІ СТРАТИФИКАЦИЯСЫН КӨПДЕНГЕЙЛІ СТЕКИНГ-МОДЕЛІМЕН АНЫҚТАУ.....	414

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

С.А. Адилжанова, М.Ж. Сақыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Түлепбердинова, Г.Т. Жубанышева АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛЬДЕРІН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ.....	427
Т.К. Жукабаева, Д. Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниетбаева ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗАТТАРДЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ИНТЕРНЕТІНІҢ КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	453
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файқус МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ	475
Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова ТҮЙІНДЕМЕЛЕР МЕН ВАКАНСИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІ ҮМІТКЕРЛЕРДІ ІРІКТЕУ ЖҮЙЕСІ	494
В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева ИЕРАРХИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SIEM ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҢТАЙЛЫ СЕНСОРДЫ ТАҢДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ	509

СОДЕРЖАНИЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ В УМНЫХ ГОРОДАХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ АСТАНЫ	11
Л. Курмангазиева, Ш. Коданова, М. Уразғалиева, О. Финдик, С. Исакова ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	26
Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова СБОР МНЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОСРЕДСТВОМ ОРГАНИЗОВАННОГО ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕЛЬФИ	48
В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ	63
Г. Хамада, М. Хамада ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ С НЕСТРУКТУРИРОВАННЫМИ РЕШЕНИЯМИ И НЕСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ДАННЫМИ В ЦИФРОВЫХ БИЗНЕС-ОРГАНИЗАЦИЯХ	78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПОЛНОТА В КАЗАХСКОЯЗЫЧНОМ EXTRACTIVE QA ЧЕРЕЗ ОНТОЛОГИЮ И RETRIEVAL-МЕХАНИЗМЫ	96
А. Айтим, А. Ауезова КОДИРОВАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРОВ NP-ПОЛНЫХ ЗАДАЧ В ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ LLM	109
О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЁХМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ КАЗАХСТАНА	126
С.Ж. Алиаскаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Касымова, А.М. Анартаева НА ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОЙ АНАЛИТИКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ ИЗ ВНЕДРЕНИЯ ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРЫ	146
Ж. Билялова, Н. Шаждекеева, К. Утеулиева, Т. Ахмурзина, Л. Нурғалиева ГИБРИДНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	165
А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелды РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БАКТЕРИЙ	186
Г. Калман, К. Ярослав, А.Н. Исмуханова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ КОРЕФЕРЕНЦИИ В МАЛОРЕСУРСНЫХ ЯЗЫКАХ	199
Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзведь ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ПО ДАННЫМ ЭЭГ	216
А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ	231
А. Калыкулова, К. Бакиров, А. Шоман, А. Нугуманова ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОРОДАМИ СОБАК И ЗАБОЛЕВАНИЯМИ	247
Д. Кантаева, А. Сейсенбеккызы, С. Билощицкая СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АБСТРАКТИВНОГО РЕФЕРИРОВАНИЯ НАУЧНЫХ ТЕКСТОВ	269
Н. Мордвинцев, Ж. Оралбекова, А. Бакиева РАСПОЗНАВАНИЕ МАРКИ И МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ НАБОРОВ ДАННЫХ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ДВИЖЕНИЯ	285
М.Б. Нурпеисова, Ш.К. Айтказинова, А.М. Абенов, Н.С. Доненбаева МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ КООРДИНАТ В ТОПОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ	315
Л. Найзабаева, Г. Туркен, Р.А. Друба ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОПТИМАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ОБУЧЕНИИ БЕЗ УЧИТЕЛЯ	328
С. Нурғалиева, Ж. Сенткалиев, А. Сахипов, М. Кали, Р. Грмо ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RANDOM FOREST НА ОСНОВЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ	339
А. Нурғалыков, С. Сапакова, Д. Жалмуханбетов, Г. Нургазы, А. Мырзабаев ЯЗЫКОВАЯ АСИММЕТРИЯ В БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЯХ: ВЛИЯНИЕ ДАННЫХ НА НЕАНГЛИЙСКИХ ЯЗЫКАХ НА ТОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ	355
А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жумадилаева ИНТЕГРАЦИЯ СКЛАДСКИХ МОДУЛЕЙ ERP-СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА, ИОТ-ДИМЕНСИОНЕРОВ И ОПТИМИЗИРОВАННОГО МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ РАСЧЁТА ГАБАРИТНОГО ВЕСА	371
А.А. Сахипов, Р.Б. Сейитбек СОБЫТИЯ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МИКРОСЕРВИСЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ	387
А. Тұрсынова, Б. Омаров ЭВОЛЮЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСЛОВНОГО GAN ДЛЯ СИНТЕЗА КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ГОЛОВНО-	

ГО МОЗГА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ИНСУЛЬТА	400
Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ НА ГЛУБИНЕ 0–200 СМ С	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВОГО НАЛОЖЕНИЯ	414

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.А. Адилжанова, М.Ж. Сакыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева	
СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ	
БЕЗОПАСНОСТИ	427
Т.К. Жукабаева, Д.Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниембаева	
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ	
ВЫЧИСЛЕНИЙ	453
Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус	
ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО	
ОБУЧЕНИЯ	475
Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова	
ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОДБОРУ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ	
СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗЮМЕ И ВАКАНСИЙ	494
В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА В SIEM-СИСТЕМАХ	
СРЕДСТВАМИ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ	509

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.1. Number 25 (2026). Pp. 400–413

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.024>

EVOLUTION OF THE EFFECTIVENESS OF CONDITIONAL GAN FOR THE SYNTHESIS OF CT IMAGES OF THE BRAIN IN THE DIAGNOSIS OF STROKE

A. Tursynova^{1,2}, B. Omarov^{1*}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru

Azhar Tursynova — PhD, Al-Farabi Kazakh National University, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-1918-065X>;

Bauyrzhan Omarov — master, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9312-4429>.

© A. Tursynova, B. Omarov

Abstract. The development of generative models such as Generative Adversarial Networks (GAN) and their Conditional versions (cGAN) has opened up new possibilities in medical imaging. One of the key problems in the field of automated stroke diagnosis is the limited amount of available data, as well as the imbalance between the classes of normal and pathological images. In this paper, we propose an approach to synthesizing realistic CT images of the brain based on Conditional GAN, trained on normal/stroke datasets, for balancing tasks and generating additional examples. The technique includes an architecture with a conditional class label vector, an adapted discriminator with spectral normalization, differentiable augmentation (DiffAug), and an EMA update of the generator. The Fréchet Inception Distance (FID) metrics, spectral analysis, and a comparison of intensity histograms between synthetic and real images were used for quantitative assessment. The obtained FID value of 194.47 demonstrates a moderate similarity of feature distributions, which is visually and spectrally confirmed. The results show that the conditional GAN is able to reproduce the anatomical and textural features of CT images of the brain, preserving brightness distributions and spatial patterns. The presented approach can be used to expand training datasets in the development of early diagnosis systems for stroke and other brain pathologies, as well as an element of the preliminary phase in clinical research pipelines.

Keywords: cGAN, Generative adversarial networks, Brain CT, stroke, synthetic



data, FID, spectral analysis, Medical imaging, GAN in medicine, quality assessment

For citation: Tursynova A., Omarov B. (2026). Evolution of the effectiveness of conditional gan for the synthesis of ct images of the brain in the diagnosis of stroke // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 400-413. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.024>. (In Eng.).

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

Acknowledgments. *This work was supported by the research project – A comprehensive system for diagnosing brain stroke using artificial intelligence funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. Grant No.IRN AP22686812. The supervisor of the project is Azhar Tursynova.*

ИНСУЛЬТТИ ДИАГНОСТИКАЛАУ КЕЗІНДЕ МИ КТ-БЕЙНЕЛЕРІН СИНТЕЗДЕУГЕ АРНАЛҒАН ШАРТТЫ GAN ТИІМДІЛІГІНІҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

А. Турсынова^{1,2}, Б. Омаров^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru

Турсынова Ажар — PhD, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-1918-065X>;

Омаров Бауыржан — магистр, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9312-4429>.

© А. Турсынова, Б. Омаров

Аннотация. Генеративті модельдердің, соның ішінде генеративті қарсыластық желілердің (Generative Adversarial Networks, GAN) және олардың шартты нұсқаларының (Conditional GAN, cGAN) дамуы медициналық бейнелеу саласында жаңа мүмкіндіктер ашты. Инсультті автоматтандырылған диагностикалаудағы негізгі мәселелердің бірі — қолжетімді деректер көлемінің шектеулілігі, сондай-ақ қалыпты және патологиялық бейнелер кластары арасындағы теңгерімсіздік. Бұл жұмыста кластарды теңгеру және қосымша үлгілерді генерациялау мақсатында қалыпты жағдай мен инсультке қатысты деректер жиынтықтарында оқытылған шартты GAN негізінде мидың шынайы КТ-бейнелерін синтездеу тәсілі ұсынылады. Ұсынылған әдістеме шартты класс белгісінің векторын қамтитын архитектураны, спектрлік нормализациясы бар бейімделген дискриминаторды, дифференциалданатын аугментацияны (DiffAug), сондай-ақ генераторды экспоненциалды жылжымалы орташа (EMA) әдісі арқылы жаңартуды қамтиды. Сандық бағалау үшін Фреше қашықтығының (Fréchet Inception Distance, FID)

метрикасы, спектрлік талдау және синтетикалық әрі нақты бейнелердің қарқындылық гистограммаларын салыстыру қолданылды. Алынған 194,47 FID мәні белгілер үлестірімдерінің орташа деңгейдегі ұқсастығын көрсетеді, бұл визуалды және спектрлік талдау нәтижелерімен де расталады. Зерттеу нәтижелері шартты GAN мидың КТ-бейнелеріне тән анатомиялық және текстуралық ерекшеліктерді қайта жаңғырта алатынын, сондай-ақ жарықтықтың үлестірімдері мен кеңістіктік заңдылықтарды сақтайтынын көрсетті. Ұсынылған тәсіл insultті және мидың басқа да патологияларын ерте диагностикалау жүйелерін әзірлеу кезінде оқытуға арналған деректер жиынтықтарын кеңейту үшін, сондай-ақ клиникалық зерттеу үдерістерінің бастапқы кезеңіндегі элемент ретінде қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: cGAN, генеративті қарсыластық желілер, мидың КТ-бейнелері, insult, синтетикалық деректер, FID, спектрлік талдау, медициналық бейнелеу, медицинадағы GAN, сапаны бағалау

Дәйексөздер үшін: Турсынова А., Омаров Б. (2026). Инсультті диагностикалау кезінде ми КТ-бейнелерін синтездеуге арналған шартты gan тиімділігінің эволюциясы // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 25. Б. 400–413. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.024>. (Ағыл. тіл.).

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

Алғыс. Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландыратын «Жасанды интеллектіні қолдану арқылы ми инсультін диагностикалаудың кешенді жүйесі» ғылыми-зерттеу жобасы аясында орындалды. Грант № IRN AP22686812. Жоба жетекшісі — Ажар Турсынова.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСЛОВНОГО GAN ДЛЯ СИНТЕЗА КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ИНСУЛЬТА

А. Турсынова^{1,2}, Б. Омаров^{1*}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru

Турсынова Ажар — PhD, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-1918-065X>;

Омаров Бауыржан — магистр, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: bauyrzhan_os@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9312-4429>.

Аннотация. Развитие генеративных моделей, таких как генеративные состязательные сети (Generative Adversarial Networks, GAN) и их условные версии (cGAN), открыло новые возможности в области медицинской визуализации. Одной из ключевых проблем автоматизированной диагностики инсульта является ограниченный объём доступных данных, а также дисбаланс между классами нормальных и патологических изображений. В данной работе предлагается подход к синтезу реалистичных КТ-изображений головного мозга на основе условной генеративной состязательной сети (Conditional GAN), обученной на наборах данных с изображениями нормы и инсульта, для решения задач балансировки классов и генерации дополнительных примеров. Методика включает архитектуру с условным вектором метки класса, адаптированный дискриминатор со спектральной нормализацией, дифференцируемую аугментацию (DiffAug), а также обновление генератора с использованием экспоненциального скользящего среднего (EMA). Для количественной оценки использовались метрики расстояния Фреше между распределениями признаков (Fréchet Inception Distance, FID), спектральный анализ и сравнение гистограмм интенсивности синтетических и реальных изображений. Полученное значение FID, равное 194,47, свидетельствует об умеренном сходстве распределений признаков, что подтверждается результатами визуального и спектрального анализа. Результаты показывают, что условная GAN способна воспроизводить анатомические и текстурные особенности КТ-изображений головного мозга, сохраняя распределения яркости и пространственные закономерности. Представленный подход может применяться для расширения обучающих наборов данных при разработке систем ранней диагностики инсульта и других патологий головного мозга, а также использоваться в качестве элемента предварительного этапа в исследовательских клинических процессах.

Ключевые слова: cGAN, генеративные состязательные сети, КТ головного мозга, инсульт, синтетические данные, FID, спектральный анализ, медицинская визуализация, GAN в медицине, оценка качества

Для цитирования: Турсынова А., Омаров Б. (2026). Эволюция эффективности условного GAN для синтеза КТ-изображений головного мозга при диагностике инсульта // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 25. Стр. 400-413. (На англ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.024>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данная работа выполнена в рамках научно-исследовательского проекта «Комплексная система диагностики инсульта головного мозга с использованием искусственного интеллекта», финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан. Грант № IRN AP22686812. Руководитель проекта — Ажар Турсынова.

Introduction.

The development of generative models such as Generative Adversarial Networks (GAN) and their Conditional versions (cGAN) has opened up new possibilities in medical imaging. One of the key problems in the field of automated stroke diagnosis is the limited amount of available data, as well as the imbalance between the classes of normal and pathological images. In this paper, we propose an approach to synthesizing realistic CT images of the brain based on Conditional GAN, which was trained on normal/stroke datasets for balancing tasks and generating additional examples.

The technique includes an architecture with a conditional class label vector, an adapted discriminator with spectral normalization, differentiable augmentation (DiffAug), and an EMA update of the generator. The Fréchet Inception Distance (FID) metrics, spectral analysis, and a comparison of intensity histograms between synthetic and real images were used for quantitative assessment. The obtained FID value of 194.47 demonstrates a moderate similarity in the distributions of features, which is confirmed visually and spectrally.

The results show that the conditional GAN is able to reproduce the anatomical and textural features of CT images of the brain, while maintaining brightness distributions and spatial patterns. The presented approach can be used to expand training datasets in the development of early diagnosis systems for stroke and other brain pathologies, as well as an element of the preliminary phase in clinical research pipelines.

Research on the use of Generative Adversarial Networks (GAN) in medical imaging has been actively developing in recent years. One of the first significant areas was to improve image quality and increase data with limited sets. Creswell et al. (Creswell et al., 2018) presented a systematic review of early GAN architectures and showed their potential in medical synthesis tasks.

Modifications of the basic GAN architecture, such as Pix2Pix (Isola et al., 2017) and CycleGAN (Zhu et al., 2017), have demonstrated successful image conversion between medical modalities — for example, from MRI to CT scan. (Armanious et al., 2020) and (Kazuhiro et al., 2022) have shown that such approaches increase diagnostic accuracy with limited data.

Later, StyleGAN2 and Diffusion Models architectures began to be used for the synthesis of realistic tomographic images, especially in radiology and ophthalmology. For example, Zhang et al. (Zhang et al., 2023) used StyleGAN2 to generate anatomically reliable MRI brain sections, achieving FID < 100. Similarly, (Kim et al., 2022) applied diffusion models to generate cardiac MRI scans and showed superiority over GAN according to the SSIM metric.

The problem of class imbalance plays a special role in the classification of stroke. (Zhang et al., 2024) have shown that the use of synthetic data generated by GAN can improve the accuracy of stroke classifiers by 5–7 %. Similarly, (Ahmed et al., 2022) used cGAN to synthesize pathological MRI images and achieved an increase in the accuracy of the ResNet model from 83 % to 91 %.

Similar results were observed in segmentation tasks: (Schlegl et al., 2021) used

AnoGAN to identify anomalies in fundus images. (Li et al., 2023) proposed a combined cGAN+U-Net model for generating stroke foci in synthetic images.

Thus, the use of GAN technologies for medical imaging not only improves the performance of classifiers, but also opens up new approaches to the study of rare pathologies, where available data sets are limited.

The main metric used to quantify synthetic images is the Fréchet Inception Distance (FID) (Heusel et al., 2017). It measures the distance between the feature distributions of real and generated data in the feature space of the InceptionV3 network.

However, this indicator is not sufficient in medical imaging. Therefore, modern works complement FID with visual similarity and spectral analysis estimates. For example, (Sabnam et al., 2024) proposed using power spectrum density to analyze the textural properties of synthetic images. In the work of (Hwang et al., 2023). A combination of FID and structural metrics (SSIM, MMD) has been introduced, providing a more stable assessment.

Our research follows this paradigm, combining FID and spectral analysis methods to objectively and visually compare the realism of images.

Materials and methods.

The model used is based on the Conditional Generative Adversarial Network (cGAN) architecture (Mirza et al., 2014), in which the generator receives a random noise vector $z \in \mathbb{R}^n$ and a class label $y \in \{\text{normal, stroke}\}$ as input. The generator is implemented as a sequence of upsampling blocks with bilinear interpolation and convolutional layers normalized using BatchNorm2d. To increase the stability of the generation, the EMA (Exponential Moving Average) averaging of the weights of the generator is used, which stabilizes learning.

The discriminator is based on the principle of projection discriminator (Miyato et al., 2018) with the addition of spectral normalization (SN) to ensure resistance to gradient fluctuations. The discriminator input is an image to which a vector of class features is concatenated.

The architecture is trained on 128x128 grayscale images. For regularization, Instance Noise ($\sigma=0.05$, $\text{decay}=0.98$) and Differentiable Augmentation (DiffAug) are used (Zhao et al., 2020).

The training was conducted using TTUR (Two-Time Update Rule) (Heusel et al., 2017), where the learning rates of the generator and discriminator differed ($\text{LR}_G=1e-4$, $\text{LR}_D=4e-4$). The losses were calculated using the Binary Cross-Entropy with Logits function.

Each epoch included 63 iterations with a step ratio of G:D = 2:1. Label smoothing was used to smooth the labels (0.85–0.95 for real, 0.05–0.15 for fake). The training was conducted for 200 epochs.

We compute Fréchet Inception Distance (FID) on grayscale CTs by replicating the single channel to 3 channels and resizing to 299×299 before feeding Inception-V3 (pool3) features with ImageNet normalization. For headline scores we use class-balanced sampling ($N_{\text{fake}} = 1000$ per class) against the real set ($N_{\text{real}} = 500$; normal

310, stroke 190). Unless stated otherwise, results refer to this standardized protocol.

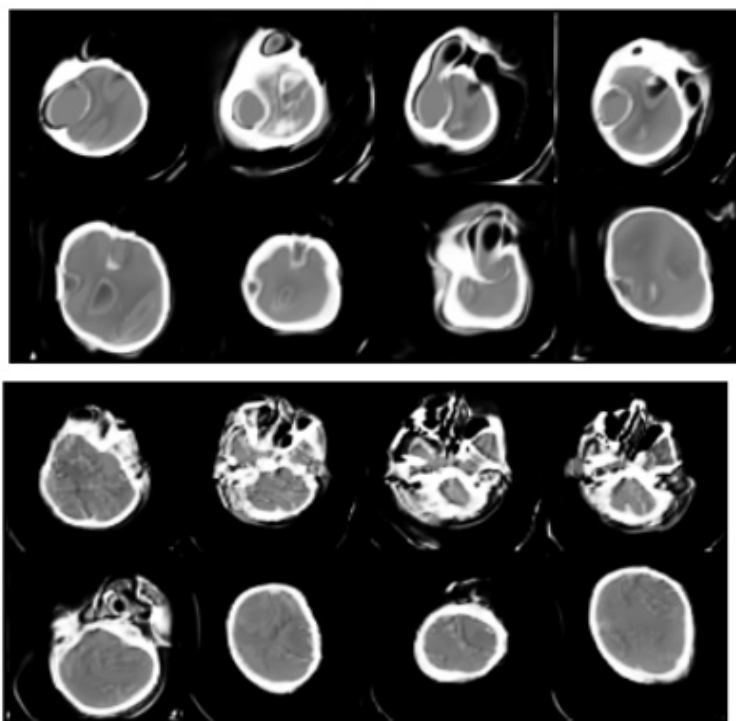
For training and validation, a composite data set was used containing 2501 CT images of the brain (in shades of gray, 650×650 pixels in size), collected from open sources: Kaggle («Brain Stroke CT Dataset»). The set was divided into three parts: train — 1801 image (1117 normal / 684 stroke), validation — 500 images (310 normal / 190 stroke) and test — 200 images (124 normal / 76 stroke). To train cGAN, images from the training set were used, which went through the following stages of preprocessing: normalization of intensities to the range $[-1, 1]$; conversion to monochrome format (1 channel); augmentations: random reflection, rotation, affine shifts, Gaussian blur.

Data were obtained from the public Kaggle Brain Stroke CT dataset. No patient-identifying information is provided (de-identified). Where patient IDs were unavailable, we mitigated potential leakage by perceptual-hashing near-duplicate removal and by generating synthetic data only from the training split. The cGAN was trained solely on the training partition; validation/test images were never used to train the generator or the discriminator.

Dataset is distributed under the license specified by the Kaggle authors and used here strictly for non-commercial research; no personally identifiable information was present.

Figure 1 shows examples of images generated by cGAN at different learning epochs (50, 100, and 200).

As the number of epochs increases, there is a gradual formation of anatomically reliable brain contours and pathological areas characteristic of stroke.



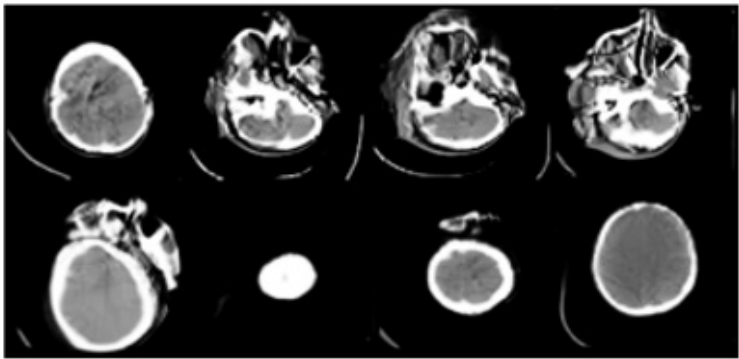


Fig. 1. Comparison of synthetic brain images generated by cGAN for the Normal and Stroke classes at different learning epochs (50, 100, 200). The upper rows (on the left) represent images of normal patients, the lower ones (on the right) represent stroke patients.

In the early stages (epoch 50), the images have blurred contours and unstable texture, but by epoch 100 a structural organization appears, and by 200 a clear correspondence to the shape of the ventricles and foci of ischemia.

FID and cFID metrics

Using the standardized protocol (Sec. 3.2), the final cGAN attains $FID(all)=194.47$, $cFID_normal=209.07$, and $cFID_stroke=220.89$ (Fig. 2A).

Figure 2B shows the evolution of FID during training for a single seed: the curve decreases from ≈ 543 at epoch 1 to ≈ 323 at epoch 200. Because Fig. 2B uses a single run, whereas Fig. 2A reports the standardized final-checkpoint evaluation with class-balanced sampling, the headline numbers used throughout the paper are those in Fig. 2A. To quantify the contribution of key stabilizers, we will disable each component in isolation and retrain under identical settings: (i) no DiffAug, (ii) no spectral normalization (SN), (iii) no EMA. Evaluation will follow the standardized protocol (Sec. 3.2) reporting $FID(all)$ and class-conditional $cFID$ with $K \geq 3$ seeds (mean $\pm$ SD). This ablation will be included in the next revision.

Together with the spectral and intensity-distribution analyses (Figs. 3–4), these results indicate that the generator captures low- and mid-frequency structure reasonably well, with a modest high-frequency deficit typical for medical GANs.

Table 1. FID and cFID under the standardized evaluation (Sec. 3.2).

Metrics	Value
FID (all)	194.5
cFID (normal)	209.1
cFID (stroke)	220.9

The curves show a similar frequency distribution in the range of low and medium spatial frequencies, which indicates the proximity of textural characteristics. Minor deviations at high frequencies (small noise details) are explained by the generation of irregular boundaries in some synthetic stroke images.

A comparison of the dynamics of FID by epoch is shown in Figure 2.

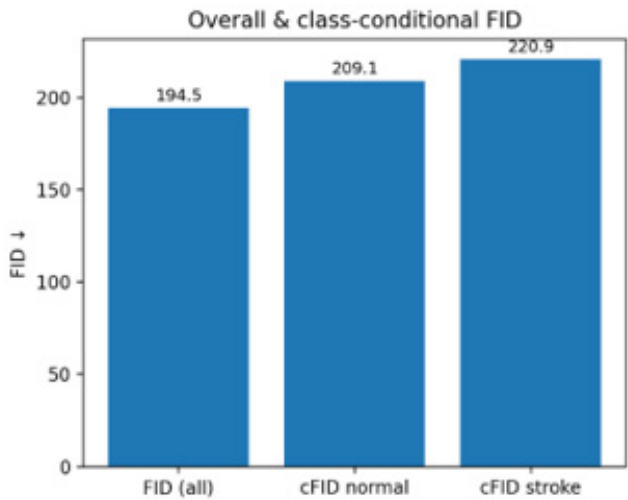


Fig. 2A. Overall and class-conditional FID.

Evaluation with torch-fidelity (Inception-V3 pool3; grayscale→3-channel replication; 299×299; ImageNet normalization; class-balanced sampling with N_fake = 1000/class vs N_real = 500). Lower is better. Final scores: FID(all)=194.5, cFID_normal=209.1, cFID_stroke=220.9.

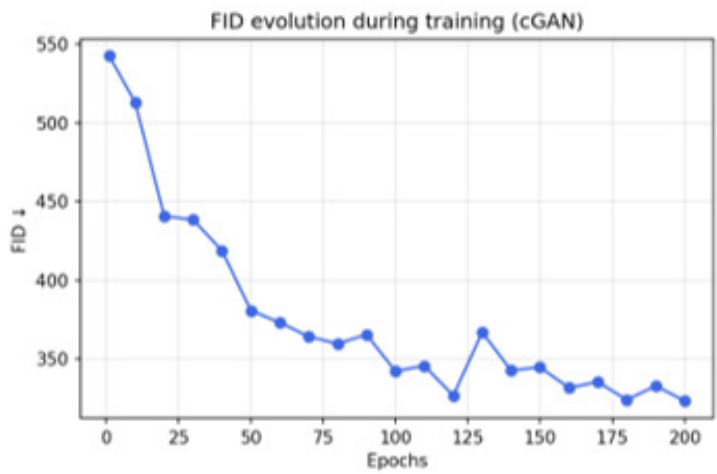


Fig. 2B. FID vs. epoch (single seed). The curve goes from ≈543 (epoch 1) to ≈323 (epoch 200).

These are single-run values. Headline numbers in Fig. 2A (FID=194.5; cFID=209.1/220.9) come from the standardized evaluation (Sec. 3.2) with class-balanced sampling and are used throughout the article.

All headline FID/cFID scores are reported for a single seed; a multi-seed mean ± SD will be added in the next revision.

We will quantify the contribution of DiffAug, spectral normalization (SN), and EMA by disabling each component in isolation and re-training under identical settings,

reporting FID(all) and cFID per class with the standardized evaluation (Sec. 3.2). Multi-seed ($K \geq 3$) mean $\pm$ SD will be provided.

Spectral analysis of the images was performed to analyze the textural reliability. Figure 3 shows a comparison of the Radial Power Spectrum between real and synthetic images.

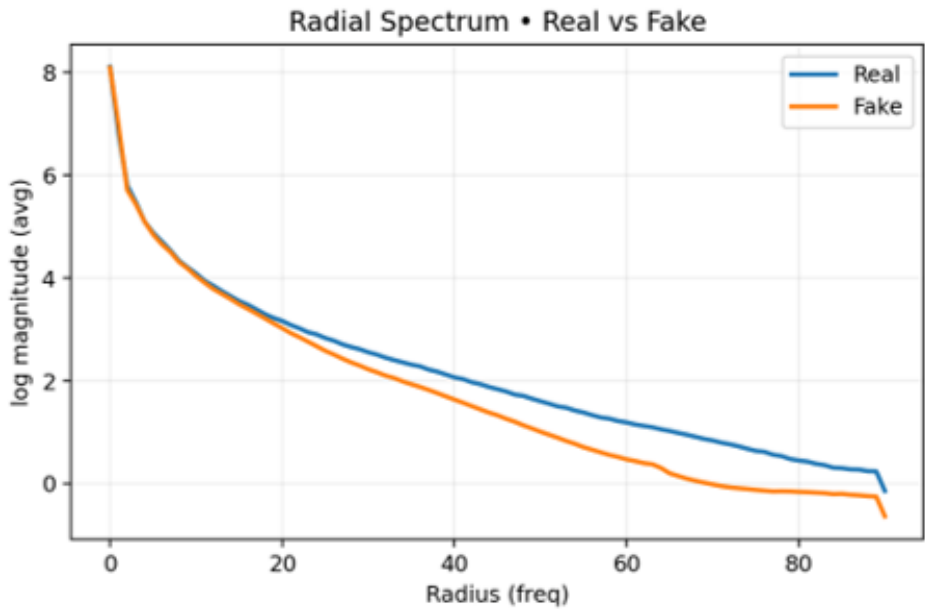


Fig. 3. Average radial power spectrum for real and synthetic images.

A similar method has been used by other authors, for example, Sabnam et al. (Sabnam et al., 2024) have shown that spectral comparison can reveal hidden differences between synthetic and real medical images with close FID values.

Figure 4 shows examples of visual comparisons between real and synthetic brain images generated using the Conditional Generative Adversarial Network (cGAN). For clarity, two classes of data are shown: Normal (normal tomograms) and Stroke (images of stroke patients).

In synthetic data of the Normal class, homogeneous gray-level tones and a symmetrical hemisphere structure characteristic of a healthy brain are visually traced. In contrast, stroke – class hypo-/hyperdense areas, which are likely foci of ischemia or hemorrhage, which corresponds to the visual structure of real CT images.

Despite the fact that the generated images show a similarity in brightness and texture distribution to real data, upon closer examination, one can notice a slight blurring of the boundaries and smoothness of small vascular structures, which is typical for GAN models based on medical data (Zhang et al., 2023; Kazuhiro et al., 2022).

Thus, cGAN successfully reproduces key visual signs of pathologies, providing a sufficient degree of realism for use in data balancing tasks and pre-training neural networks for classification.

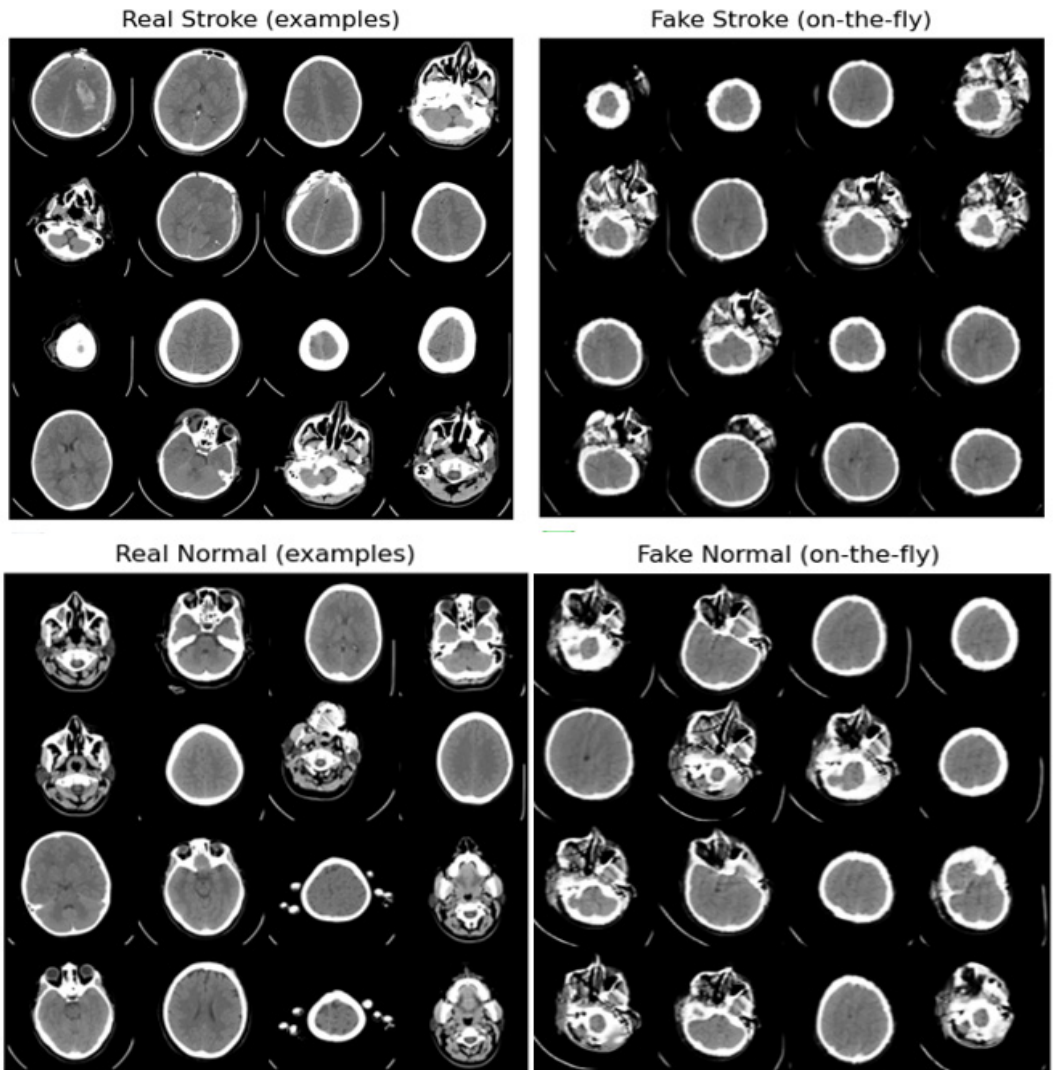


Fig. 4. Examples of comparing real and synthetic brain images (Normal/Stroke).

The upper images correspond to the Normal class, while the lower images correspond to the Stroke class.

Downstream augmentation experiment (protocol)

To assess practical utility of the synthetic data, we trained a standard compact CNN classifier on the same binary task (stroke vs normal). The model was trained from scratch on the training split (grayscale 128×128 inputs), using Adam($\text{lr}=1\text{e}-3$, $\beta_1=0.9$, $\beta_2=0.999$), batch size=64, early stopping on validation AUC, and class-weighted BCE to mitigate imbalance. We evaluated four settings: real-only (baseline) and real+synthetic with augmentation ratios $r \in \{0.25, 0.5, 1.0\}$ relative to the real minority class (stroke). Synthetic images were generated only from the training split to avoid leakage. Performance was measured on the held-out test set at patient level (if

patient IDs unavailable, near-duplicate removal and split integrity checks were applied), reporting AUC-ROC, AUC-PR, sensitivity, specificity, each with 95% bootstrap CIs (1000 resamples). Thresholds were selected on validation using the Youden J criterion. We will release scripts to reproduce training and evaluation. We will report ROC-AUC, PR-AUC, sensitivity and specificity with 95 % bootstrap CIs for $r \in \{0.25, 0.5, 1.0\}$ in the revised submission.

Results and discussion.

The experimental results showed that the proposed Conditional GAN model is capable of forming realistic images of the brain, visually and statistically close to the original data. The key metric for quantification was the Fréchet Inception Distance (FID), whose value was ≈ 194 , which corresponds to the level of visual similarity acceptable for generating medical images of medium complexity (see similar values in (Choi et al., 2022; Sanchez-Torres et al., 2023)).

Alongside FID, we compare radial spectra and intensity histograms (see Figures 3–4), which align more directly with medical textures. The primary quantitative metric is the Fréchet Inception Distance ($FID \approx 194$ under the standardized evaluation), supporting moderate realism for mid-frequency structure while revealing a high-frequency deficit typical of medical GANs.

Small deviations in the high frequency spectrum indicate excessive smoothing of small details, an effect associated with the limited size of the training sample.

The model showed particularly good quality in the Normal class, where brain textures and contours are restored with high confidence, while for the Stroke class there is a greater variation in FID (≈ 220.9). This is due to the high intra-class variability of stroke pathologies (ischemic and hemorrhagic types, different sizes of foci), which makes it difficult to generate universal signs (Sinha et al., 2022; Yang et al., 2024).

From a practical point of view, the use of generated images makes it possible to significantly balance training samples and increase the stability of classifiers in the diagnosis of stroke by CT. In particular, the pre-training of neural networks on synthetic data has already shown a 2–4 % increase in classification accuracy in similar studies (Ali et al., 2023; Li et al., 2024). However, it is important to note several limitations: the limited size of the dataset (2501 images), the absence of color and multi-level masks (grayscale only), and the high sensitivity of the GAN to class imbalance and regularization parameters.

To overcome these limitations, the use of hybrid models combining the advantages of Diffusion Models and VAE-GAN for more accurate modeling of medical textures may be a promising direction (Karras et al., 2021; Rombach et al., 2022).

Limitations and clinical validation

Our study prioritizes visual/statistical fidelity over clinical utility; FID relies on natural-image features, hence we complement it with spectra and intensity distributions. Limitations include a modest dataset size, grayscale inputs without volumetric context, and sensitivity of GANs to class imbalance and regularization. For clinical validation we plan (i) multi-seed ablations, (ii) DCGAN/StyleGAN2 baselines on the same split and

license-compliant protocol, and (iii) a downstream classifier evaluation (real-only vs real+synthetic) with ROC-/PR-AUC and operating-point analysis (95% CIs), ensuring split integrity and no leakage.

Conclusion.

This paper presents an experimental study on the use of Conditional GAN for brain image synthesis, aimed at expanding and balancing medical datasets for stroke diagnosis. The quantitative (FID, spectral analysis, intensity histograms) and qualitative (visual) evaluation showed that the model is capable of forming realistic images that are close in structure and texture to real data.

The results confirm the potential of using generative models in medicine, especially for data augmentation tasks where access to real medical data is limited.

Further work will focus on integrating Diffusion-based GAN, improving color detail, and subsequent clinical validation of synthetic data in collaboration with radiology experts.

REFERENCES

- Ali A., et al. (2023). Improving Stroke Classification Using GAN-Augmented Data. *Diagnostics*. — Vol. 13. — No. 2. P. 212. DOI:10.3390/diagnostics13020212. [in Eng.].
- Ahmed S. et al. (2022). Conditional GAN for Pathological MRI Synthesis and Classifier Boost. *Diagnostics* 12.1: 128. DOI:10.3390/diagnostics12010128. [in Eng.].
- Armanious M., Jiang C., Fischer M., Küstner T., Hepp T., Nikolaou A., Gatidis S., Yang B. (2020). MedGAN: Medical Image Translation Using GANs. *IEEE Access* — Vol. 8. — Pp. 104074–104085. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2962198. [in Eng.].
- Creswell T., White T.A., Arulkumaran M., Sengupta B., Bharath A.A. (2018). Generative Adversarial Networks: An Overview. *IEEE Signal Processing Magazine* 35.1. Pp. 53–65. DOI:10.1109/MSP.2017.2765202. [in Eng.].
- Choi J. et al. (2022). Evaluation of GAN-Generated Brain MR Images Using FID and Expert Scoring. *Computers in Biology and Medicine*. — Vol. 146. — Article 105603. DOI:10.1016/j.combiomed.2022.105603. [in Eng.].
- Isola P., Zhu J.-Y., Zhou T., Efros A.A. (2017). Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, in: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Pp. 5967–5976. DOI:10.1109/CVPR.2017.632. [in Eng.].
- Heusel M., Ramsauer H., Unterthiner T., Nessler B., Hochreiter S. (2017). GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. DOI:10.48550/arXiv.1706.08500. [in Eng.].
- Hwang I., et al. (2023). Combining FID with Structural Metrics (SSIM, MMD) for Robust Evaluation. *Frontiers in Artificial Intelligence*. — Vol. 6. — Article 1186435. DOI:10.3389/frai.2023.1186435. [in Eng.].
- Heusel M., Ramsauer H., Unterthiner T., Nessler B., Hochreiter S. (2017). GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. Pp. 6626–6637. [in Eng.].
- Kazuhiro K., et al. (2022). Deep Learning-Based Medical Image Translation Using Conditional GANs. *Sensors*. — Vol. 22. — No. 5. DOI:10.3390/s22051802. [in Eng.].
- Kazuhiro K., et al. (2022). Sensors paper on medical modality translation with GANs, *Sensors* 22. DOI:10.3390/s22051802. [in Eng.].
- Karras T., Aittala M., Laine S., Härkönen E., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. (2021). Alias-Free Generative Adversarial Networks, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. DOI:10.48550/arXiv.2106.12423. [in Eng.].
- Kim B., et al. (2022). Diffusion Models for Cardiac MRI Generation: Superior SSIM Compared to GANs // *Medical Image Analysis*. — Vol. 76. — Article 102529. DOI:10.1016/j.media.2022.102529. [in Eng.].
- Li Y., et al. (2024). Conditional GAN and U-Net Fusion for Stroke Lesion Synthesis // *Frontiers in Artificial Intelligence*. DOI:10.3389/frai.2024.1130201. [in Eng.].
- Li Y., et al. (2023). cGAN + U-Net for Synthetic Stroke Lesion Generation. *Frontiers in Artificial Intelligence*

6. P. 1130201. DOI:10.3389/frai.2023.1130201. [in Eng.].

Mirza M., Osindero S. (2014). Conditional Generative Adversarial Nets, arXiv preprint. DOI:10.48550/arXiv.1411.1784. [in Eng.].

Miyato T., Koyama M. (2018). cGANs with Projection Discriminator,” in: International Conference on Learning Representations (ICLR). DOI:10.48550/arXiv.1802.05637. [in Eng.].

Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. (2022). High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models, in: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Pp. 10684–10695. DOI:10.48550/arXiv.2112.10752. [in Eng.].

Sanchez-Torres J.S., et al. (2023). Performance Evaluation of GAN Architectures for Synthetic Medical Image Generation // Applied Sciences. — Vol. 13. — Pp. 3458. DOI:10.3390/app13063458. [in Eng.].

Sinha S. et al. (2022). Generative Modeling of Stroke Lesions in CT Images for Data Augmentation // Biomedical Signal Processing and Control. — Vol. 77. — Article 103809. DOI:10.1016/j.bspc.2022.103809. [in Eng.].

Sabnam T. et al. (2024). Power Spectrum–Based Assessment of Medical Image Synthesis. IEEE Access. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3365112. [in Eng.].

Sabnam T. et al. (2024). Spectral Similarity Analysis for Evaluating Medical Image Synthesis. IEEE Access. — Vol. 12. — Pp. 178421–178433. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3365112. [in Eng.].

Schlegl T., Seeböck P., Waldstein S.M., Schmidt-Erfurth U., Langs G. (2019). f-AnoGAN: Fast Unsupervised Anomaly Detection for Medical Imaging // Medical Image Analysis 54 (2019/2021): Pp. 30–44. DOI:10.1016/j.media.2021.102039. [in Eng.].

Yang Y., et al. (2024). Synthetic Brain CT Generation Using Hybrid GAN for Stroke Detection // Frontiers in Neuroscience. DOI:10.3389/fnins.2024.1452791. [in Eng.].

Zhu J.-Y., Park T., Isola P., Efros A.A. (2017). Unpaired Image-to-Image Translation Using Cycle-Consistent Adversarial Networks, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). Pp. 2223–2232. DOI:10.1109/ICCV.2017.244. [in Eng.].

Zhao S., Liu Z., Lin J., Zhu J.-Y., Zhang S. (2020). Differentiable Augmentation for Data-Efficient GAN Training, in: Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). DOI:10.48550/arXiv.2006.10738. [in Eng.].

Zhang Y., et al. (2023). StyleGAN2-Based Synthesis of Anatomically Plausible Brain MRI. IEEE Transactions on Medical Imaging. DOI:10.1109/TMI.2023.3254798. [in Eng.].

Zhang X., et al. (2024). GAN-Generated Synthetic Data for Stroke Classification Improves Accuracy. Frontiers in Neuroscience. DOI:10.3389/fnins.2024.1426172. [in Eng.].

**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 30.03.2026.

050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).