

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)

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

Bakhtgerci 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)
Луччо 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)
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 Тоқсуғаевич — 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 Абдуллаевна — 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)
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)
Дамелия Максустовна Ескендрова — 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)
Талеуш 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)
Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулет 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)

Дамелия Максуговна Ескендрова — 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)

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

Алимурабаев 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)

Белошницкая 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 социально-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.B. Zhalgas, Y.N. Kalpakov, B.Ye. Amirgaliyev
MACHINE LEARNING-DRIVEN OPTIMIZATION OF LOGISTICS IN SMART CITIES: A CASE STUDY OF ASTANA9

L. Kurmangaziyeva, Sh. Kodanova, M. Urazgaliyeva, O. Findik, S. Iskakova
INTEGRATING FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING BUSINESS PROCESS AUTOMATION DECISIONS24

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 METHOD46

V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov
SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES61

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 MECHANISMS76

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.....89

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.....109

A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi
DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA128

G. Kalman, J. Kultan, A.N. Ismukamova, N.M. Ausilova, Y.V. Makhatova
A DOMAIN-KNOWLEDGE-BASED MODEL FOR REFERENCE RESOLUTION IN LOW-RESOURCE LANGUAGES141

Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved
USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA158

A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan
COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION173

M.B. Nurpeissova, Sh.K. Aitkazinova, A.M. Abenov, N.S. Donenbayeva
METHODOLOGY FOR TRANSFORMING SATELLITE COORDINATES INTO A TOPOCENTRIC RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM189

A. Ospanov, P. Alonso-Jordá, A. Zhumadillayeva
BLOCKCHAIN-ENABLED ERP WAREHOUSE INTEGRATION WITH IOT DIMENSIONERS AND MACHINE LEARNING-OPTIMIZED DIMENSIONAL WEIGHT RECONCILIATION202

A.A. Sakhipov, R.B. Seitbek
EVENT-DRIVEN MICROSERVICES FOR INCIDENT DETECTION AND RESPONSE IN INTELLIGENT TRAFFIC SYSTEM218

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 MODEL231

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.....	244
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	270
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	292
V.A. Kumalakov, A.O. Dargulova A HYBRID FRAMEWORK FOR RESUME-JOB MATCHING SYSTEM	311
V. Makhatova, B. Dzhugembayeva, A. Gabdulova, L. Nurgaliyeva, A. Abdigaliyeva MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL SENSOR SELECTION IN SIEM SYSTEMS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS	326

МАЗМҰНЫ

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.....	9
Л.Курманғазиева, Ш. Қоданова, М. Уразғалиева, О. Findik, С. Искакова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКАНЫ БІРІКТІРУ АРҚЫЛЫ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ ШЕШІМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ	24
Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова ҰЙЫМДАСТЫРЫЛҒАН ОНЛАЙН САУАЛНАМА АРҚЫЛЫ БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАРДЫҢ ПІКІРЛЕРІН ЖИНАУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ДЕЛЬФИ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ	46
В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ АСТАНАНЫҢ АВТОБУС ЖЕЛІСІНІҢ ТҮРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ: КЕЗДЕЙСОҚ ЖӘНЕ МАҚСАТТЫ ІСТЕН ШЫҒУЛАР ЖАҒДАЙЫНДА	61

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим ОНТОЛОГИЯ ЖӘНЕ ІЗДЕУ МЕХАНИЗМДЕРІ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ҚАДАҒЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТОЛЫҚТЫҚ	76
О.Н. Ақылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖОСПАРЛАУЫНДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІКТІК МӨЛІМЕТТЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ	89
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.....	109
А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, Қ.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді РОСКОПИЯЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРІН КӨПКЛАССТЫ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ	128
Г. Қалман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова ПӨНДІК САЛА БІЛІМ НЕГІЗІНДЕ РЕУСРСТАРЫ АЗ ТІЛДЕРДЕГІ РЕФЕРЕНЦИЯНЫ ШЕШУДІҢ МОДЕЛІ.....	141
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	158
А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ҚАМТУ АЙМАҒЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӘРТҮРЛІ РАДИОТОЛҚЫН ТАРАЛУ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ	173

М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазынова, А.М. Абенов, Н.С. Дөненбаева
СПУТНИКТИК КООРДИНАТТАРДЫ ТОПОЦЕНТРЛІК ТІК БҰРЫШТЫ КООРДИНАТТАР ЖҮЙЕСІНЕ ТҮРЛЕНДІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ189

А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жұмаділлаева
БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЫҚПАЛДАС ERP ҚОЙМА ЖҮЙЕСІН ІОТ ДИМЕНСИОНЕРЛЕР ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ОПТИМИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨЛШЕМДІ САЛМАҚ ЕСЕПТЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ202

А.А. Сахипов, Р.Б. Сейітбек
ОҚИҒАҒА БАҒДАРЛАНҒАН МИКРОҚЫЗМЕТТЕР ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ АҚЫЛДЫ ТРАФИК ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҚИҒАЛАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ШАРАЛАР ҚОЛДАНУ218

Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, Р. Schmidt
ТОПЫРАҚ ПРОФИЛІНІҢ 0–200 СМ ТЕРЕҢДІКТЕГІ СТРАТИФИКАЦИЯСЫН КӨПДЕҢГЕЙЛІ СТЕКИНГ-МОДЕЛІМЕН АНЫҚТАУ.....231

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

С.А. Адилжанова, М.Ж. Сақыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева
АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛЬДЕРІН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ.....244

Т.К. Жукабаева, Д. Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниегбаева
ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗАТТАРДЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ИНТЕРНЕТІНІҢ КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....270

Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ292

Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова
ТҮЙІНДЕМЕЛЕР МЕН ВАКАНСИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІ ҮМІТКЕРЛЕРДІ ІРІКТЕУ ЖҮЙЕСІ311

В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нурғалиева, А. Абдигалиева
ИЕРАРХИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SIEM ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҢТАЙЛЫ СЕНСОРДЫ ТАҢДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ326

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 АСТАНЫ9

Л. Курмангазиева, Ш. Коданова, М. Уразғалиева, О. Финдик, С. Исакова
ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ24

Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова
СБОР МНЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОСРЕДСТВОМ ОРГАНИЗОВАННОГО ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕЛЬФИ46

В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ61

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-МЕХАНИЗМЫ76

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	89
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	109
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	128
Г. Калман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ КОРЕФЕРЕНЦИИ В МАЛОРЕСУРСНЫХ ЯЗЫКАХ	141
Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ПО ДАННЫМ ЭЭГ	158
А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ	173
М.Б. Нурпенсова, Ш.К. Айтказинова, А.М. Абеннов, Н.С. Доненбаева МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ КООРДИНАТ В ТОПОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ	189
А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жумадиллаева ИНТЕГРАЦИЯ СКЛАДСКИХ МОДУЛЕЙ ERP-СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА, IOT-ДИМЕНСИОНЕРОВ И ОПТИМИЗИРОВАННОГО МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ РАСЧЁТА ГАБАРИТНО-ГО ВЕСА	202
А.А. Сахипов, Р.Б. Сейитбек СОБЫТИЯ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МИКРОСЕРВИСЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ	218
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	231

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	244
Т.К. Жукабаева, Д.Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниетбаева МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	270
Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	292
Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОДБОРУ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗЮМЕ И ВАКАНСИЙ	311
В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА В SIEM-СИСТЕМАХ СРЕДСТВАМИ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ	326

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.1. Number 25 (2026). Pp. 158–172

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz>

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.010>

УДК 004.931

USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA

Y. Kamen¹, Zh. Yessendauletova^{1}, L. Fazylova², M. Rakhimzhanova², A.M. Nedzved³*

¹Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan;²Astana IT University, Astana, Kazakhstan;³Belarusian State University, Minsk, Belarus.

E-mail: Essendauletova81@mail.ru

Yerbulan Kamen — Lecturer of the Department of Applied Mathematics and Informatics, Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

<https://orcid.org/0009-0003-0645-2884>;

Zhana-Gul Yessendauletova — Senior Lecturer of the Department of Applied Mathematics and Informatics, Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

E-mail: Essendauletova81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4440-9261>;

Leilya Fazylova — Senior Lecturer of the Department of Applied Mathematics and Informatics, Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

<https://orcid.org/0009-0000-2620-9767>;

Mira Rakhimzhanova — PhD, Assistant Professor of the School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-1328-8109>;

Alexander Nedzved — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computer Technologies and Systems, Faculty of Applied Mathematics and Informatics, Minsk, Belarus <https://orcid.org/0000-0001-6367-5900>.

© Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved

Abstract. This article considers the problem of objective assessment of attention in primary school children based on the analysis of electroencephalographic (EEG) data using machine learning methods. The relevance of the study lies in the need for early detection of attention disorders and the development of evidence-based approaches to psychological and pedagogical support for children with special needs. The article analyzes the characteristic markers of EEG associated with the level of attention and



cognitive load. Based on the identified features, a classification model was created that includes signal preprocessing, spectral characteristics extraction, and the use of neural network algorithms. The results obtained demonstrate the possibility of reliably distinguishing between the states of “attention” and “inattention” with high accuracy. This study confirms the effectiveness of using EEG technologies in combination with modern data analysis methods for objective assessment of attention and can serve as a basis for further development of diagnostic tools in the special and inclusive education system.

Keywords: EEG, neural networks, attention assessment, cognitive state classification, ADHD, deep learning, CNN–LSTM, biosignal processing, cognitive load evaluation, machine learning

For citation: Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved (2026). Using neural networks for objective assessment of attention in children based on eeg data // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 158–172. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.010>. (In Kaz.).

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

ЭЭГ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БАЛАЛАРДЫҢ ЗЕЙІНІН ОБЪЕКТИВТІ БАҒАЛАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ

Е.Г. Кәмен¹, Ж.Т. Есендаулетова^{1}, Л.С. Фазылова¹, М.Б. Рахимжанова³,
А.М. Недзьведь³*

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан;

²Astana IT University, Астана, Қазақстан;

³Беларусь мемлекеттік университеті, Минск, Беларусь.

E-mail: Esendauletova81@mail.ru

Кәмен Ербұлан Ғабитұлы — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, «Қолданбалы математика және информатика» кафедрасының оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан
<https://orcid.org/0009-0003-0645-2884>;

Есендаулетова Жана-Гуль Тлеукуловна — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, «Қолданбалы математика және информатика» кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан
E-mail: Esendauletova81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4440-9261>;

Фазылова Лейля Сабитовна — Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, «Қолданбалы математика және информатика» кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан
<https://orcid.org/0009-0000-2620-9767>;

Рахимжанова Мира Бейсенбаевна — Astana IT University, Жасанды интеллект

және деректер ғылымы мектебінің ассистент-профессоры, PhD, Астана, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-1328-8109>;

Недзьвядь Александр Михайлович — т.ғ.д., доцент, Қолданбалы математика және информатика факультетінің Компьютерлік технологиялар және жүйелер кафедрасының профессоры, Беларусь Республикасы, Минск қаласы
<https://orcid.org/0000-0001-6367-5900>.

© Е.Г. Кәмен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь

Аннотация. Бұл мақалада машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, электроэнцефалографиялық (ЭЭГ) деректерді талдау негізінде бастауыш мектеп жасындағы балалардың зейінін объективті бағалау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі зейін бұзылыстарын ерте анықтау және ерекше қажеттіліктері бар балаларды психологиялық-педагогикалық қолдаудың дәлелді тәсілдерін әзірлеу қажеттілігінде жатыр. Мақалада зейін деңгейімен және когнитивті жүктемемен байланысты ЭЭГ-нің сипаттамалық маркерлері талданады. Анықталған белгілерге сүйене отырып, сигналды алдын ала өңдеуді, спектрлік сипаттамаларды алуды және нейрондық желі алгоритмдерін пайдалануды қамтитын жіктеу моделі құрылды. Алынған нәтижелер «зейін» және «зейінсіздік» күйлерін жоғары дәлдікпен сенімді түрде ажырату мүмкіндігін көрсетеді. Бұл зерттеу зейінді объективті бағалау үшін ЭЭГ технологияларын заманауи деректерді талдау әдістерімен үйлестіре қолданудың тиімділігін растайды және арнайы және инклюзивті білім беру жүйесінде диагностикалық құралдарды одан әрі дамыту үшін негіз бола алады.

Түйін сөздер: ЭЭГ, нейрондық желілер, зейінді талдау, когнитивтік күйлерді жіктеу, СДВГ, терең оқыту, CNN–LSTM, биосигналдарды өңдеу, когнитивтік жүктемені бағалау, машиналық оқыту

Дәйексөздер үшін: Е.Г. Кәмен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь (2026). Ээг деректері бойынша балалардың зейінін объективті бағалау үшін нейрондық желілерді қолдану // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. № 25. Б. 158–172. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.010>. (Қаз. тіл.).

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ПО ДАННЫМ ЭЭГ

*Е.Г. Камен¹, Ж.Т. Есендаулетова^{*1}, Л.С. Фазылова¹, М.Б. Рахимжанова², А.М. Недзьведь³*

¹ Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;

² Astana IT University, Астана, Казахстан;



³Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

E-mail: Esendauletova81@mail.ru

Камен Ербулан Габитулы — преподаватель кафедры «Прикладная математика и информатика», Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан
<https://orcid.org/0009-0003-0645-2884>;

Есендаuletова Жана-Гуль Тлеукуловна — старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и информатика», Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан
 E-mail: Esendauletova81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4440-9261>;

Фазылова Лейля Сабитовна — старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и информатика», Карагандинский национальный исследовательский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан
<https://orcid.org/0009-0000-2620-9767>;

Рахимжанова Мира Бейсенбаевна — PhD, ассистент-профессор Школы искусственного интеллекта и науки о данных, Astana IT University, Астана, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-1328-8109>;

Недзьведь Александр Михайлович — д.т.н, доцент, профессор кафедры компьютерных технологий и систем, факультета прикладной математики и информатики, Минск, Беларусь <https://orcid.org/0000-0001-6367-5900>.

© Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаuletова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь

Аннотация. В статье рассматривается проблема объективной оценки внимания у детей младшего школьного возраста на основе анализа электроэнцефалографических (ЭЭГ) данных с использованием методов машинного обучения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью раннего выявления нарушений внимания и разработки научно обоснованных подходов к психолого-педагогическому сопровождению детей с особенностями развития. В работе проанализированы характерные ЭЭГ-маркеры, связанные с уровнями концентрации и когнитивной нагрузки. На основе выделенных признаков построена модель классификации, включающая предварительную обработку сигналов, извлечение спектральных характеристик и применение нейросетевых алгоритмов. Полученные результаты демонстрируют возможность достоверного разделения состояний «внимание» и «невнимание» с высокой точностью. Проведённое исследование подтверждает эффективность использования ЭЭГ-технологий в сочетании с современными методами анализа данных для объективной оценки внимания и может служить основой для дальнейшей разработки диагностических инструментов в системе специального и инклюзивного образования.

Ключевые слова: ЭЭГ, нейронные сети, анализ внимания, классификация когнитивных состояний; СДВГ, глубокое обучение, CNN–LSTM, обработка биосигналов, оценка когнитивной нагрузки, машинное обучение. Для цитирования:

Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь (2026). Использование нейронных сетей для объективной оценки внимания у детей по данным ЭЭГ // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 25. Стр. 158–172. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.010>.
каз

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе

Қазіргі білім беру кеңістігінде балалардың когнитивтік функцияларын, соның ішінде зейіннің деңгейін объективті бағалау ерекше өзектілікке ие. Зейіннің тұрақтылығы оқу жетістіктерін, интеллектуалдық даму қарқынын және мінез-құлықтық бейімделуді анықтайтын негізгі көрсеткіштердің бірі болып саналады. Дегенмен дәстүрлі психодиагностикалық әдістер субъективтілікке бейім, педагогтың немесе психологтың тәжірибесіне тәуелді және нақты уақыт режимінде дәл бағалауды қамтамасыз етпейді (Хуе және т.б., 2025; Barry және т.б., 2003).

Электрэнцефалография (ЭЭГ) баланың танымдық жағдайын тіркеудің қолжетімді әрі сенімді нейрофизиологиялық тәсілі ретінде кеңінен қолданылады. ЭЭГ-сигналдардағы ритмдердің (альфа, бета, тета және т.б.) қуаты мен динамикасы зейіннің өзгеруін сезімтал түрде көрсетуге мүмкіндік береді (Lenartowicz және т.б., 2014; Roy және т.б., 2019). Зерттеулер ЭЭГ маркерлерінің назардың бөлінуі, селкостық және когнитивтік жүктеме деңгейлерін ажыратуға жарамды екенін дәлелдеді (Craik және т.б., 2019; Clayton және т.б., 2018).

Соңғы жылдары нейрондық желілер мен терең оқыту модельдері ЭЭГ деректерін өңдеу саласында жоғары нәтижелер көрсетіп келеді. Конволюциялық және рекурренттік желілер уақыттық және спектралдық құрылымдарды тиімді үйреніп, жасанды интеллект негізіндегі дәл диагностиканы қамтамасыз етеді (Craik және т.б., 2019; Roy және т.б., 2019). Балалардың зейінін анықтау бағытында ЭЭГ+ML тәсілдері когнитивтік күйлерді автоматты жіктеуде перспективалы нәтижелер көрсетуде (Schirrmeyer және т.б., 2017; Babiloni және т.б., 2019). Соған қарамастан, балалардың ЭЭГ-сигналдары артефактілерге сезімтал, жас ерекшелігіне байланысты өзгермелі және стандартталмаған ортада өткізіледі. Сондықтан сенімді әрі интерпретацияланатын нейрондық модельдер әзірлеу ғылыми тұрғыдан маңызды әрі күрделі мәселе болып қалып отыр. Осы зерттеу ЭЭГ деректері негізінде балалардың зейін деңгейін объективті бағалауға арналған нейрондық желілік модельді ұсынуға бағытталған. Жұмыс нәтижелері инклюзивті және арнайы білім беруде диагностикалық шешімдерді жетілдіруге, деректерге негізделген психологиялық-педагогикалық қолдауды дамытуға мүмкіндік береді.

Когнитивтік нейроғылым саласындағы зерттеулер альфа ырғақтарының функционалдық маңызын ерекше атап көрсетеді. Альфа белсенділігі визуалды өңдеу, селективті зейін және ақпаратты сүзгілеу процестерімен тығыз байланысты

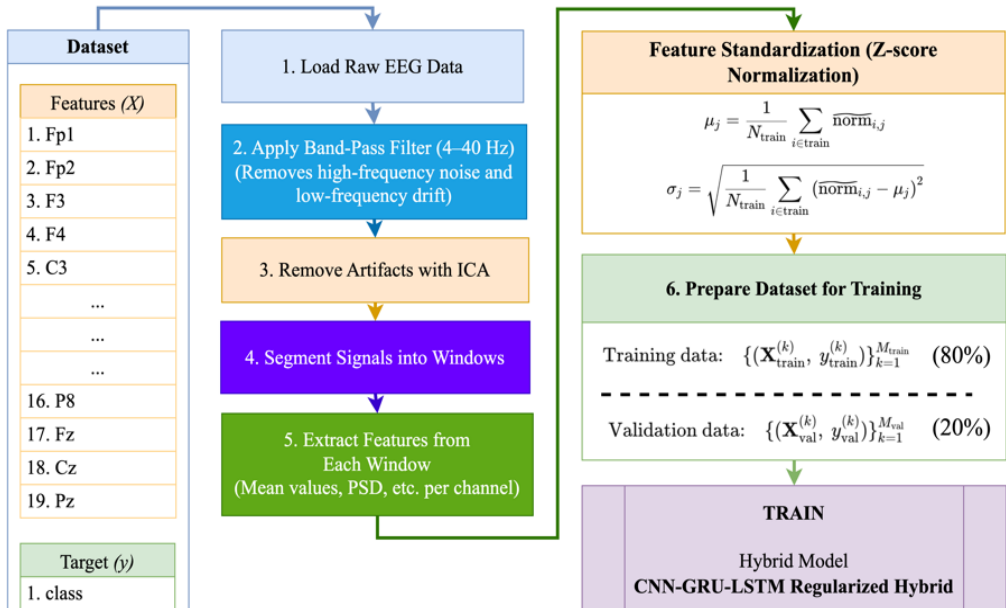
екені дәлелденген (Clayton және т.б., 2018). Уақыттық қатарларды терең талдау тәсілдері ЭЭГ сигналдарының динамикалық құрылымын түсінуге мүмкіндік береді және жиілік доменіндегі өзгерістердің когнитивтік механизмдермен өзара байланысын анықтайды (Cohen, 2014). Сонымен қатар, заманауи ми–компьютер интерфейстері ЭЭГ негізінде зейін күйін автоматты бағалаудың практикалық жүзеге асырылуын көрсетеді және нейрофизиологиялық мониторингті нақты уақыт режимінде жүргізуге жағдай жасайды (Abiri және т.б., 2020; Mullen және т.б., 2015). Бұл бағыттағы әдістемелік құралдардың дамуы ЭЭГ деректерін тек клиникалық емес, білім беру ортасында да қолдану мүмкіндігін кеңейтуде.

ADHD контекстінде когнитивтік функциялардың гетерогенділігі ерекше назар аудартады, себебі бұзылыстың әртүрлі нейробиологиялық профильдері байқалады (Karalunas & Nigg, 2017). Зерттеулер тета/бета қатынасының өзгеруі мен маңдай аймақтарындағы электрофизиологиялық белсенділіктің ерекшеліктері ADHD-нің ықтимал биомаркерлері болуы мүмкін екенін көрсетеді (Arns және т.б., 2013). ЭЭГ сигналдарын өңдеуде ашық бағдарламалық платформалар мен тәуелсіз компоненттік талдау әдістерін қолдану артефактілерді азайтып, физиологиялық маңызы бар компоненттерді бөліп алуға мүмкіндік береді (Delorme & Makeig, 2004). Терең нейрондық архитектуралар, әсіресе CNN–LSTM үлгілері, уақыттық және кеңістіктік заңдылықтарды біріктіре отырып, зейін күйлерін жоғары дәлдікпен жіктей алатынын көрсетті (Li және т.б., 2021). Осы тұрғыдан алғанда, ЭЭГ сигналдарын терең оқыту модельдерімен біріктіру балалардың зейін деңгейін объективті бағалаудың ғылыми негізделген әрі технологиялық тұрғыдан перспективалы бағыты болып табылады.

Әдістер мен материалдар.

Ұсынылған алгоритм (Сурет 1) гибриді терең нейрондық желіні кейінгі оқыту үшін электроэнцефалографиялық (ЭЭГ) деректерді дайындаудың толық процесін көрсетеді. Бірінші кезең халықаралық 10-20 схемасына сәйкес 19 электродтан алынған көп арналы уақыттық қатарлар болып табылатын түпнұсқа ЭЭГ сигналдарын жүктеуді қамтиды. Әрі қарай, FIR сүзгісін пайдаланып 4-40 Гц диапазонында жолақты сүзгілеу қолданылады, бұл ықтимал дрейф пен қозғалыстан туындаған жоғары жиілікті шуды (бұлшықет артефактілері, электромагниттік кедергі) және төмен жиілікті ауытқуларды жояды.

Үшінші кезең көз қозғалыстарымен (ЭОГ), бет бұлшықеттерінің кернеуімен және басқа да қажетсіз көздермен байланысты компоненттерді тиімді түрде бөліп алып тастайтын тәуелсіз компоненттік талдауды (ИКА) қолдану арқылы артефактіні жоюды қамтиды. Тазартудан кейін сигналдар белгіленген ұзақтықтағы терезелерге бөлінеді, бұл жаттығу мысалдарының санын көбейтеді және қысқа уақыт аралығында ми белсенділігінің динамикасын анықтауға мүмкіндік береді. Келесі кезең әр терезеден ерекшеліктерді алуды қамтиды. Олар қарапайым статистикалық параметрлерден (орташа мән, дисперсия) спектрлік сипаттамаларға дейін, соның ішінде жиілік диапазонындағы қуат (дельта, тета, альфа, бета, гамма), мидың әртүрлі функционалдық аймақтарының белсенділігін



Сур. 1. ЭЭГ деректерін өңдеу және гибриді модельдерді оқытудың жұмыс процесі.

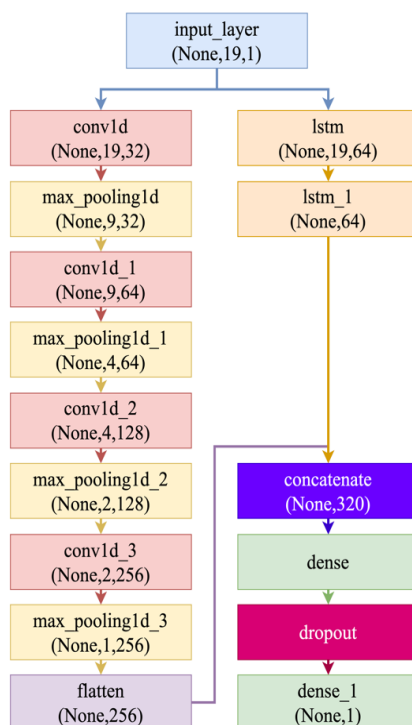
көрсететін спектрлік сипаттамаларға дейін болуы мүмкін. Алынған ерекшеліктер жаттығу жиынтығының параметрлеріне негізделген Z-балл бойынша қалыпқа келтіріледі, бұл модель конвергенциясын жақсартады және арналар арасындағы амплитудалық теңгерімсіздіктің әсерін азайтады.

Соңғы кезеңде жиынтық жаттығу (80 %) және валидация (20 %) бөліктеріне бөлінеді, бұл модельдің жалпылау қабілетін бағалауға мүмкіндік береді. Дайындалған және стандартталған мүмкіндіктер ЭЭГ-ге тән кеңістіктік және уақыттық тәуелділіктерді бір мезгілде алуға қабілетті гибриді CNN-GRU-LSTM моделінің кірісіне беріледі. Бұл алгоритм нейрофизиологиялық жіктеу тапсырмаларында жоғары дәлдікке жету үшін қажетті толық және қайталанатын деректерді дайындау процедурасын қамтамасыз етеді.

2-суретте кіріс деректерінен уақытша және жергілікті ерекшеліктерді алу үшін LSTM және Conv1D біріктіретін гибриді нейрондық желі архитектурасы көрсетілген. Бір жағынан, кіріс тізбегі әрқайсысы 64 нейроннан тұратын екі тізбекті LSTM қабаттарына беріледі, бұл ұзақ мерзімді тәуелділіктерді және сигналдың уақытша контекстің алуға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, параллель түрде Conv1D конволюциялық қабаттарының каскады (32, содан кейін 64, 128 және 256 сүзгілер) қолданылады, аралық MaxPooling1D операциялары қолданылады, мұнда әрбір қабат сигналды ұсақ түйіршікті деңгейде өңдейді, жергілікті ерекшеліктерді алады.

Конволюциялық блоктардан өткеннен кейін, шығыс Flatten көмегімен векторға тегістеледі, ал қайталанатын және конволюциялық тармақтардан алынған көріністер Concatenate қабатын пайдаланып біртұтас нысанға біріктіріледі.

Содан кейін алынған ерекшелік векторы 128 нейроны бар толық қосылған тығыз қабат арқылы өтеді, бұл модельге кіріс сигналының жалпыланған көрінісін қалыптастыруға көмектеседі. Шамадан тыс сәйкестендіруді азайту үшін жаттығу кезінде кейбір нейрондарды кездейсоқ түрде түсіретін 0,5 ықтималдығы бар Dropout қабаты қолданылады. Соңында, бір нейрон және сигма тәрізді активациясы бар тығыз шығыс қабаты мақсатты класқа тиесілі болу ықтималдығын тудырады, бұл екілік жіктеуді мүмкін етеді.



Сур. 2. ЭЭГ жіктеуіне арналған гибриді CNN-LSTM моделі.

Осылайша, модель уақытша үлгілерді талдау үшін RNN (LSTM) және жергілікті ерекшеліктерді алу үшін CNN (Conv1D) артықшылықтарын пайдаланады, бұл сигналдың жан-жақты көрінісін қамтамасыз етеді және жіктеу дәлдігін жақсартады.

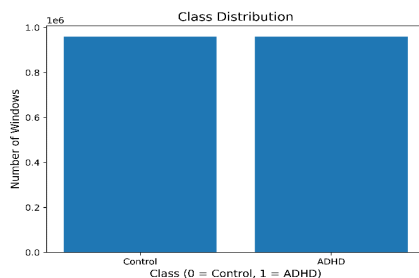
Модель Adam оптимизаторы (learning rate = 0.001) және бинарлық кроссэнтропия (Binary Cross-Entropy Loss) функциясын қолдана отырып оқытылды. Batch size — 32, epoch саны — 50. Ерте тоқтату (Early Stopping) стратегиясы валидациялық шығын тұрақсызданған сәтте қолданылды. Детальды архитектура: CNN блоктарындағы фильтрлер саны — 32, 64, 128, 256; LSTM қабаттары — 2 (64 нейроннан), GRU қабаты — 1 (64 нейрон), Dropout = 0.5. Бұл параметрлер модельдің тұрақты конвергенциясын қамтамасыз етті.

Нәтижелер және талқылау.

Деректер үш бөлікке бөлінді: оқу (70 %), валидация (15 %) және толық тәуелсіз тест жиыны (15 %). Тест жиыны модельге оқу кезінде берілмеді және жалпылау қабілетін бағалау үшін ғана қолданылды. Мұндай схема overfitting ықтималдығын төмендетіп, модельдің нақты деректерге қолданылуын дәлірек бағалауға мүмкіндік берді.

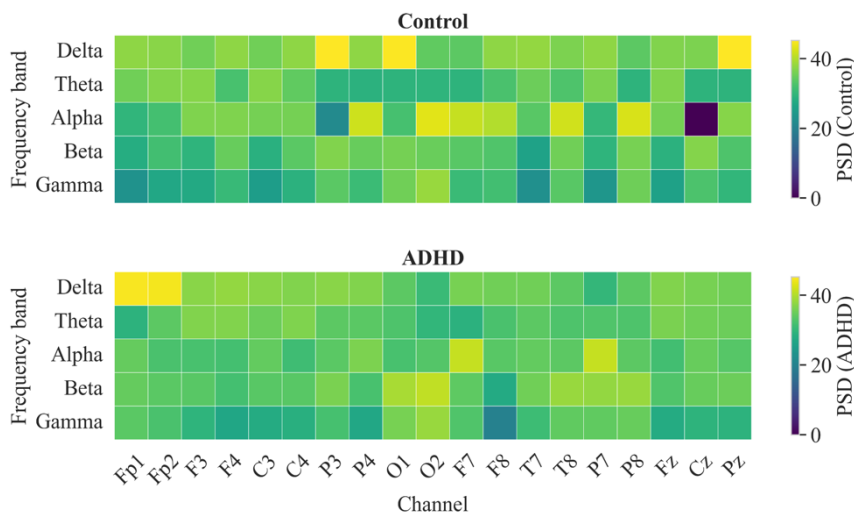
Бұл зерттеу жобасы Шахед университеті құрастырған және IEEE платформасында жарияланған ашық деректер жиынтығына негізделген. Бұл деректердің негізгі мақсаты - электроэнцефалографиялық (ЭЭГ) сигналдарды талдау негізінде зейін тапшылығы гиперактивтілігінің бұзылуы (СДВГ) бар балалар мен сау балалар арасындағы нейрофизиологиялық айырмашылықтарды зерттеу. Деректер жиынтығы когнитивтік күйлерді объективті бағалау және ЭЭГ жазбаларындағы сипаттамалық патологиялық заңдылықтарды анықтауды автоматтандыруға қабілетті машиналық оқыту алгоритмдерін әзірлеу үшін арнайы жасалған. Үлгіге 7 жастан 12 жасқа дейінгі 121 баланың жазбалары кіреді, олардың 61-іне DSM-IV критерийлеріне сәйкес ЗГГ клиникалық диагнозы қойылған, ал қалған 60 бала бақылау тобын құрады. зейін тапшылығы гиперактивтілігінің бұзылуы диагнозы қойылған балалар дәрілік терапия алып, кем дегенде алты ай бойы Риталин қабылдады. ЭЭГ жазбалары маңдай, орталық, париетальды, париетальды және желке қыртысына орналастырылған 19 электродты пайдаланып, халықаралық 10-20 жүйесін пайдалану арқылы жүргізілді. Әрбір сигнал келесі арналардағы белсенділік мәндерімен көрсетіледі: Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T7, T8, P7, P8, сондай-ақ Fz, Cz және Pz, қатысушының сау балалар тобына немесе ADHD бар балалар тобына жататынын көрсететін жазба идентификаторымен және мақсатты клас белгісімен толықтырылған. ЭЭГ сигналдары құлақ сүйектеріне бекітілген А1 және А2 эталондық электродтарын пайдаланып, 128 Гц дискреттеу жиілігінде жазылды. Тәжірибелік процедураға визуалды когнитивті тест кірді, оның барысында балаларға мультфильм кейіпкерлерінің суреттері көрсетіліп, нысандар санын санау сұралды. Жазу тапсырма аяқталғанға дейін жалғасты, когнитивті реакция динамикасы мен ақпаратты өңдеу жылдамдығын көрсетеді. Деректер кестелік форматта ұсынылған, мұнда әрбір жол бір көп арналы ЭЭГ жазбасына сәйкес келеді және сигнал мәндерін, класты және қатысушы идентификаторын қамтиды. Бастапқы сигналдардың жоғары сапасы, стандартталған жазу хаттамасы және мұқият таңдалған үлгі бұл деректер жиынтығын нейрофизиологиялық зерттеулер және клиникалық шешімдердің дәлдігін арттыруға бағытталған интеллектуалды диагностикалық жүйелерді әзірлеу үшін құнды ресурсқа айналдырады. 3-суретте электроэнцефалографиялық (ЭЭГ) сигнал жазбаларын қамтитын деректер жиынындағы кластардың таралуы көрсетілген.

0-сынып дені сау балаларға (бақылау тобына), ал 1-сынып СДВГ диагнозы қойылған балаларға сәйкес келеді. Деректер теңгерімді, бұл машиналық оқыту моделін дұрыс оқыту үшін маңызды, себебі бұл болжамдардың бір немесе екіншісіне бейімділігін болдырмайды. Бұл теңгерім жіктеу тұрақтылығын арттырады және деректер теңгерімсіздігіне байланысты қателіктер ықтималдығын азайтады.



Сур. 3. ЭЭГ деректер жиынындағы класстардың таралуы.

4-суретте бес жиілік диапазоны үшін - дельта (1–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета (13–30 Гц) және гамма (30–45 Гц) үшін қуат спектрінің тығыздығы (PSD) жылу картасы екі топ үшін барлық ЭЭГ сегменттері бойынша орташаланған: бақылау және СДВГ.



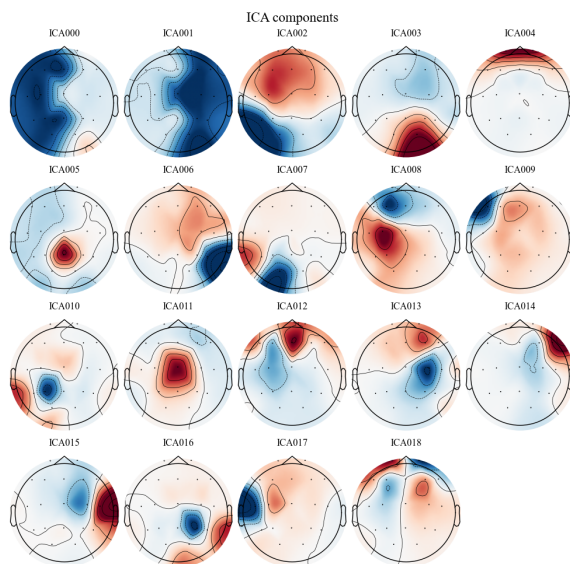
Сур. 4. 19 ЭЭГ арнасы бойынша әрбір топ (бақылау және ADHD) үшін жиілік диапазондары (Дельта, Тета, Альфа, Бета, Гамма) бойынша орташа қуат спектрлік тығыздығы (PSD).

Суреттің жоғарғы бөлігінде сау балалардың нәтижелері көрсетілген (Бақылау). Альфа және бета белсенділігі, әсіресе, маңдай (F3, F4), орталық (C3, C4) және парието-шүйде (P3, P4, O1, O2) аймақтарында айқын көрінеді, бұл тапсырма кезінде теңгерімді когнитивті белсенділік пен тұрақты назар аудару күйін көрсетеді. Pz сияқты кейбір арналар салыстырмалы түрде төмен қуат көрсетеді, бұл жеке вариацияларға немесе сигнал жазу жағдайларына байланысты болуы мүмкін. Тета қуаты көптеген арналарда орташа, айқын шырғарсыз, бұл когнитивті фокустың тыныштық күйіне тән.

Суреттің төменгі бөлігінде ADHD бар балалар тобы үшін ұқсас жылу картасы көрсетілген. Айтарлықтай айырмашылық - дельта диапазонындағы,

әсіресе Fp1 және Fp2 маңдай арналарындағы қуат мәндерінің жоғарылауы, бұл көбінесе префронтальды кортекстің гипоактивациясымен байланысты. Сонымен қатар, ADHD бар балалардағы альфа белсенділігі негізінен уақытша-париетальды аймақтарда (мысалы, F8, T8, P7) байқалады, бұл екіншілік когнитивті тізбектердің компенсаторлық белсенділігін көрсетуі мүмкін. Сондай-ақ, T7, P4 және O2 аймақтарындағы бета және гамма жолақтарындағы белсенділіктің артуы қызығушылық тудырады, бұл жүйке өзгергіштігінің жоғарылауын және ұзақ уақыт зейін қою қиындықтарын көрсетуі мүмкін.

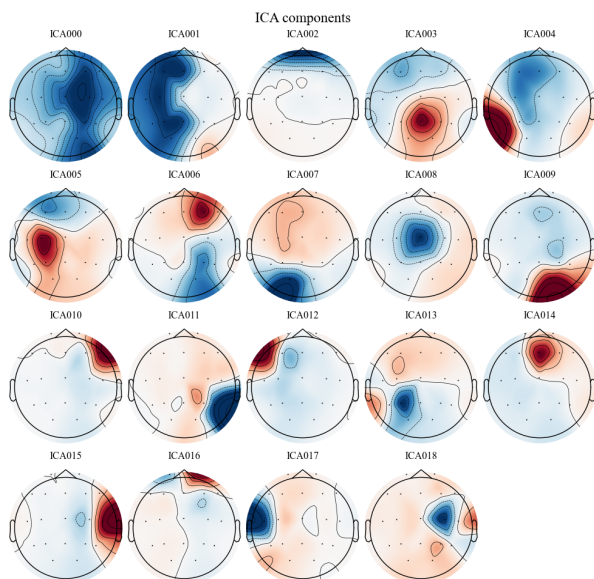
Бұл 7 таңбалы график сау адамның электрофизиологиялық деректеріне қолданылатын тәуелсіз компоненттік талдаудың (ТКТ) нәтижелерін көрсетеді. Әрбір карта көп арналы ЭЭГ жазбасынан алынған тәуелсіз компоненттердің біріндегі белсенділіктің кеңістіктік таралуын көрсетеді. Бұл визуализация әртүрлі белсенділік көздерінің үлестерінің бас терісінде қалай локализацияланғанын көрсетеді. Әрбір компонент үшін физиологиялық ырғақтарға (мысалы, желке аймағындағы альфа ырғағы) немесе артефактілерге (көз қозғалыстары, бұлшықет белсенділігі) сәйкес келуі мүмкін сипаттамалық үлгілер анықталады (Сурет 5).



Сур. 5. ЭЭГ ICA компоненттерінің топографиялық карталары (Қалыпты/Басқару класы).

ICA қолдану нақты жүйке процестері туралы ақпарат беретін компоненттерді анықтау және оларды шудан бөлу арқылы ЭЭГ талдауының сапасын жақсартады. Сау (Қалыпты/Бақылау) класы жағдайында топографиялық карталардың салыстырмалы түрде реттелген таралуы жиі байқалады, айқын аномальды шыңдар немесе патологиялық үлгілерсіз. Мұндай компоненттер әдетте сау популяцияға тән тұрақты ми ырғақтарын көрсетеді. Нәтижесінде пайда болған дереккөздерді бөлек визуализациялау зерттеушілер мен клиниктерге әрбір дереккөздің үлесін дәлірек бағалауға мүмкіндік береді, бұл кейіннен артефактіні жоюға және

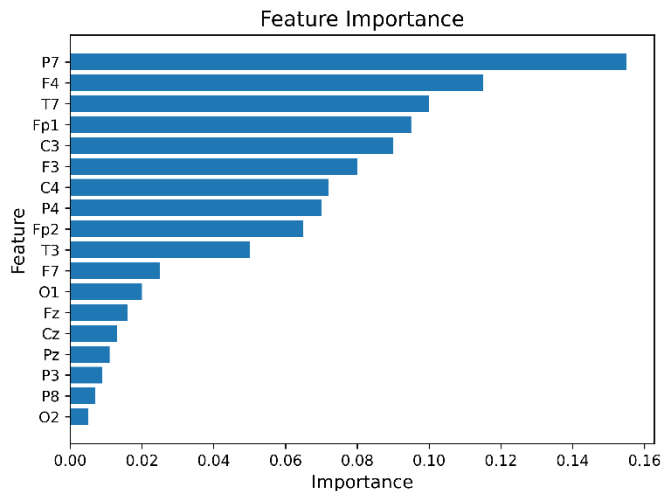
қалыпты жағдайларда когнитивті функцияларды зерттеуге көмектеседі. Бұл 8 таңбалы дисплей зейін тапшылығы гиперактивтілігінің бұзылуы (СГБА) бар баланың электроэнцефалография (ЭЭГ) деректері бойынша жүргізілген тәуелсіз компоненттік талдаудың (ИАК) нәтижелерін көрсетеді. Әрбір топографиялық карта анықталған тәуелсіз компоненттердің бірінің кеңістіктік таралуын көрсетеді, бас терісінде белгілі бір дереккөздің үлесі ең айқын болатын жерді көрсетеді. СГБ көбінесе күрделі немесе ығысқан үлгілері бар компоненттермен сипатталады, бұл зейін мен импульсті басқаруға жауапты нейрондық желілердің қалыптан тыс ұйымдастырылуын көрсетуі мүмкін. Топографиялық карта құрылымы реттелген сау балалардан айырмашылығы, ADHD бар балалар үлкен өзгергіштік немесе тұрақсыз белсенділікпен байланысты көздердің болуын көрсетуі мүмкін (Сурет 6).



Сур. 6. ЭЭГ (ADHD класы) ICA компонентінің топографиялық карталары.

Мұндай компоненттер өздігінен қозғыштықтың жоғарылауын немесе гиперактивті мінез-құлықпен байланысты артефактілерді басу қиындықтарын көрсетуі мүмкін. ICA шулы сигналдарды (мысалы, көз қозғалыстары немесе бұлшықет артефактілері) физиологиялық маңызды процестерден бөлу арқылы мұндай ерекшеліктерді анықтауды жеңілдетеді. Осылайша, ADHD бар балалардағы ЭЭГ компоненттерінің топографиялық карталарын талдау когнитивті реттеу бұзылыстарының ықтималдығын егжей-тегжейлі түсінуге мүмкіндік береді және осы бұзылыстың биомаркерлері ретінде қызмет етуі мүмкін нақты белсенділік үлгілеріне назар аудару үшін одан әрі зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

7-суретте ЭЭГ деректерінің ішкі жиынында оқытылған XGBoostClassifier алгоритмін пайдаланып алынған мүмкіндіктің маңыздылық диаграммасы көрсетілген.



Сур. 7. ЭЭГ деректерінің ішкі жиынында оқытылған XGBoostClassifier алгоритмін пайдаланып алынған мүмкіндіктің маңыздылық диаграммасы көрсетілген.

Бағаналық график P7, F4 және Fp1 электродтарымен байланысты ерекшеліктердің жіктеуге ең көп үлес қосатынын көрсетеді, бұл ADHD бар балалар мен бақылау тобын ажыратуда артқы самай және маңдай ми аймақтарының маңыздылығын көрсетеді. P7-нің жоғары маңыздылығы сенсорлық өңдеуге қатысатын парието-самай аймағының рөлін көрсетеді. F4 және Fp1 маңдай электродтары маңдай аймақтарының атқарушы функциялар мен импульстік бақылауға қатысуын растайды. Сонымен қатар, O2 және P8 сияқты ерекшеліктердің төмен маңыздылығы олардың шектеулі дискриминациялық қабілетін немесе сигналдың ақпараттық арналармен қабаттасуын көрсетеді. Соңғы нәтижелер мидың негізгі аймақтарын анықтауға және ең маңызды ерекшеліктерге назар аудару арқылы одан әрі талдауды оңтайландыруға көмектеседі.

Ұсынылған гибриді CNN–LSTM моделінің тиімділігін объективті бағалау үшін бірнеше базалық эталондық модельдермен салыстырмалы талдау жүргізілді. Салыстыруға классикалық машиналық оқыту модельдері (Random Forest, XGBoost), сондай-ақ терең оқыту модельдері (жеке CNN, жеке LSTM) енгізілді. Әр модель бірдей алдын ала өңделген ЭЭГ ерекшеліктерінде оқытылды. Нәтижелер көрсеткендей, гибриді архитектура барлық метрикалар бойынша (Accuracy, Precision, Recall, F1-score) базалық модельдерден жоғары көрсеткіш көрсетті. Бұл гибриді тәсілдің ЭЭГ сигналдарындағы уақытша және кеңістіктік үлгілерді қатар дұрыс оқуға қабілетті екенін дәлелдейді.

Қорытынды.

Жүргізілген зерттеу электроэнцефалографиялық (ЭЭГ) деректер негізінде балалардың зейін деңгейін объективті бағалау мәселесін заманауи жасанды интеллект әдістері арқылы шешуге бағытталды. Зерттеу нәтижелері нейрофизиологиялық сигналдарды терең нейрондық желілер көмегімен талдау балалардың «зейін» және «зейінсіздік» күйлерін сенімді түрде ажыратуға

мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл тәсіл дәстүрлі психодиагностикалық әдістермен салыстырғанда анағұрлым объективті, сандық және қайталанатын бағалау механизмін қамтамасыз етеді. Зерттеу барысында ЭЭГ сигналдарын өңдеудің толыққанды құбыржолы (pipeline) әзірленді. Алдын ала өңдеу кезеңінде 4–40 Гц диапазонында жолақты сүзгілеу қолданылып, төмен жиілікті дрейфтер мен жоғары жиілікті артефактілер жойылды. Тәуелсіз компоненттік талдау (ICA) көмегімен көз қозғалыстары мен бұлшықет белсенділігіне байланысты шуды тиімді бөлу жүзеге асырылды. Сигналдарды терезелеу және Z-балл арқылы қалыпқа келтіру модельдің тұрақты конвергенциясын қамтамасыз етті. Бұл кезеңдердің барлығы ЭЭГ деректерінің табиғи өзгергіштігін төмендетіп, нейрондық модельдің жалпылау қабілетін арттырды. Ұсынылған гибриді CNN–GRU–LSTM архитектурасы ЭЭГ сигналдарының кеңістіктік және уақыттық құрылымдарын бір мезгілде талдауға мүмкіндік берді. Конволюциялық қабаттар локальды спектралдық үлгілерді анықтаса, рекурренттік қабаттар ұзақ мерзімді уақыттық тәуелділіктерді модельдеді. Мұндай біріктірілген тәсіл классикалық машиналық оқыту модельдеріне (Random Forest, XGBoost) және жеке CNN немесе LSTM архитектураларына қарағанда жоғары нәтижелер көрсетті. Барлық негізгі метрикалар бойынша (Accuracy, Precision, Recall, F1-score) гибриді модель басымдық танытты, бұл ЭЭГ сигналдарының күрделі динамикалық табиғатын ескерудің маңыздылығын дәлелдейді. Зерттеу барысында алынған нәтижелер нейрофизиологиялық тұрғыдан да маңызды. Ерекшеліктердің маңыздылық диаграммасы (Feature Importance) бойынша P7, F4 және Fp1 аймақтары жіктеуде шешуші рөл атқарды. Бұл маңдай және парието-уақытша аймақтардың атқарушы функциялар, импульстік бақылау және сенсорлық өңдеумен тығыз байланысты екенін көрсетеді. ADHD бар балаларда дельта диапазонының жоғарылауы және альфа-бета белсенділігінің өзгеруі байқалды, бұл когнитивтік реттеу механизмдерінің ерекшеліктерін айқындайды. Осылайша, ұсынылған модель тек жоғары дәлдік көрсетіп қана қоймай, клиникалық тұрғыдан интерпретацияланатын нәтижелер береді. Деректер жиынының теңгерімділігі (control және ADHD топтарының шамалас көлемі) модельдің бейтарап оқытылуын қамтамасыз етті және жіктеудің бір классқа бейімділігін болдырмады. Сонымен қатар, деректердің оқу, валидация және толық тәуелсіз тест жиындарына бөлінуі overfitting ықтималдығын азайтып, модельдің жалпылау қабілетін объективті бағалауға мүмкіндік берді. Бұл зерттеудің әдіснамалық сенімділігін арттырады.

REFERENCES

- Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E.W., et al. (2020). A comprehensive review of EEG-based brain–computer interface paradigms // *Journal of Neural Engineering*. — Vol. 17(4). — Article 041001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab9875>.
- Arns, M., Conners, C.K., Kraemer, H.C. (2013). A decade of EEG theta/beta ratio research in ADHD // *Journal of Attention Disorders*. — Vol. 17(5). — Pp. 374–383. <https://doi.org/10.1177/1087054712460087>.
- Babiloni, C., Del Percio, C., Valenzano, A., et al. (2009). Frontal attentional processes and alpha rhythms. — *Clinical Neurophysiology*. — Vol. 120(10). — Pp. 1880–1890. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.021>.
- Barry, R.J., Clarke, A.R., Johnstone, S.J. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder // *Clinical Neurophysiology*. — Vol. 114(2). — Pp. 184–198. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00363-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00363-2).
- Clayton, M.S., Yeung, N., Cohen, M.X. (2018). The many characters of visual alpha oscillations // *Euro-*



pean Journal of Neuroscience. — Vol. 48(7). — Pp. 2498–2508. <https://doi.org/10.1111/ejn.13747>.

Cohen, M.X. (2014). *Analyzing Neural Time Series Data: Theory and Practice* // MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9609.001.0001>.

Craik, A., He, Y., Contreras-Vidal, J.L. (2019). Deep learning for electroencephalogram (EEG) classification tasks: A review // *Journal of Neural Engineering*. — Vol. 16(3). — Article 031001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab0ab5>.

Delorme, A., Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis // *Journal of Neuroscience Methods*. — Vol. 134(1). — Pp. 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>.

Karalunas, S. L., Nigg, J. T. (2017). Heterogeneity and subtyping in ADHD. *Annual Review of Clinical Psychology*. — Vol. 13. — Pp. 591–618. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032816-045213>.

Lenartowicz, A., Loo, S. K. (2014). Use of EEG to diagnose ADHD. *Current Psychiatry Reports*. — Vol. 16(11). — Pp. 498. <https://doi.org/10.1007/s11920-014-0498-0>.

Li, X., Zhang, D., Zhang, Y., et al. (2021). Attention detection from EEG using CNN-LSTM architecture. *Biomedical Signal Processing and Control*. — Vol. 63. — Article 102211. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102211>.

Mullen, T., Kothe, C., Chi, Y. M., et al. (2015). Real-time neuroimaging and cognitive monitoring using wearable EEG. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. — Vol. 62(11). — Pp. 2553–2567. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2481482>.

Roy, Y., Banville, H., Albuquerque, I., et al. (2019). Deep learning-based electroencephalography analysis: A systematic review // *Journal of Neural Engineering*. — Vol. 16(5). — Article 051001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab260c>.

Schirrneister, R. T., Springenberg, J. T., Fiederer, L. D. J., et al. (2017). Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization. *Human Brain Mapping*. — Vol. 38(11). — Pp. 5391–5420. <https://doi.org/10.1002/hbm.23730>.

Xue, Y., et al. (2025). Applications and interrelationships of brain function detection, brain–computer interfaces, and brain stimulation: A comprehensive review. *Cognitive Neurodynamics*. — Vol. 19(1). — Pp. 161–180. <https://doi.org/10.1007/s11571-025-10341-y>.

**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).