

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)

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 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)

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 Максудовна 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. Uteulyieva, 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 QA-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. Касымов, 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 ЖИЫНТЫҒЫН 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 ЖИЫНТЫҒЫНЫҢ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЫҚПАЛ ЕТУШІ ФАКТОРЛАР	285
М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазина, А.М. Абенев, 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. Нургалиева 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. Нургалиева, Ж. Сенткалиев, А. Сахипов, М. Кали, Р. Грмо ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RANDOM FOREST НА ОСНОВЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ	339
А. Нургалыков, 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. Турсынова, 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

ENCODING NP-COMPLETE PROBLEM INSTANCES INTO NATURAL LANGUAGE FOR LLM PROCESSING

A.Aitim, A. Auyezova*

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Aigerim Aitim — PhD, Associate Professor, Department of Digital and Intelligent Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Anel Auyezova — Master of technical sciences, Assistant-professor, Department of Digital and Intelligent Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>.

© A. Aitim, A. Auyezova

Abstract. Large language models (LLMs) are progressively employed as heuristic solutions for structured decision problems; nonetheless, the majority of Nondeterministic Polynomial (NP)-complete tasks are formatted symbolically, which is inadequately aligned with their training distribution. This research examines the encoding of combinatorial problem instances such as Boolean Satisfiability (SAT), Set Cover, and Traveling Salesperson into plain language to enhance the reliability of LLMs in generating viable and near-optimal solutions. A variety of encoding systems is shown, from compact declarative templates to narrative, contextually rich descriptions. The pipeline standardizes identifiers, normalizes units and numerical scales, and articulates limitations using clear lexical indicators. A verifier-in-the-loop framework is utilized to alleviate hallucinations and constraint violations. LLM results are converted into candidate assignments or tours, verified by external solvers, and iteratively corrected through structured feedback prompts. Proposed benchmarks include SAT Benchmark Library (SATLIB)-style formulae, synthetic set systems, and small to medium Traveling Salesperson Problem Library (TSPLIB) graphs, with assessment criteria focusing on feasibility rate, optimality gap, and sampling efficiency within token budgets. Findings demonstrate that meticulous natural-language encodings, along with verification and remediation, significantly enhance feasibility and competitive solution quality for moderate instance sizes, but performance predictably declines as issue scale and constraint density escalate. The research offers pragmatic principles and reusable

templates for converting symbolic NP-complete examples into a format comprehensible to LLMs, in addition to a comprehensive method for verifier-aware prompting.

Keywords: NP-Complete, natural language encoding, large language models, combinatorial optimization

For citation: Aitim A., Auyezova A. (2026). Encoding NP-complete problem instances into natural language for LLM processing // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 109-125. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.007>. (In Eng.).

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

LLM ӨНДЕУІ ҮШІН NP-ТОЛЫҚ ЕСЕПТЕРДІҢ ЭКЗЕМПЛЯРЛАРЫН ТАБИҒИ ТІЛДЕ КОДТАУ

Ә. Әйтiм*, Ә. Әуезова

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Әйтiм Әйгерiм — PhD, қауымдастырылған профессор, Цифрлық және интеллектуалды жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Әуезова Әнел — техникалық ғылымдар магистрі, ассистент-профессор, Цифрлық және интеллектуалды жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>.

© Ә. Әйтiм, А. Әуезова

Аннотация. Үлкен тілдік модельдер (LLM) құрылымдалған шешім қабылдау есептерін эвристикалық әдістермен шешу құралы ретінде барған сайын кеңінен қолданылуда. Алайда NP-толық есептердің басым бөлігі символдық түрде беріледі, бұл олардың тілдік модельдерді оқыту барысында қолданылған деректердің таралу ерекшеліктеріне жеткілікті деңгейде сәйкес келмейді. Бұл зерттеуде жарамды және оңтайлы шешімдерге жақын нәтижелерді генерациялау кезінде LLM сенімділігін арттыру мақсатында булевтік қанағаттандырылу (SAT), жиындарды жабу (Set Cover) және коммивояжер есебі (Traveling Salesperson Problem) сияқты комбинаторлық есептер мысалдарын табиғи тілге кодтау қарастырылады. Декларативті ықшам шаблондардан бастап контекстік ақпаратқа бай баяндау сипаттамаларына дейінгі әртүрлі кодтау жүйелері ұсынылады. Ұсынылған өңдеу тізбегі идентификаторларды стандарттайды, өлшем бірліктері мен сандық шкалаларды қалыпқа келтіреді, сондай-ақ шектеулерді нақты лексикалық көрсеткіштер арқылы сипаттайды. Галлюцинацияларды және шектеулердің бұзылуын азайту мақсатында верификаторды циклге қосу (verifier-in-the-loop) архитектурасы қол-

данылады. LLM нәтижелері ықтимал тағайындауларға немесе маршруттарға түрлендіріліп, сыртқы шешушілер арқылы тексеріледі және құрылымдалған кері байланысқа негізделген сұраулар көмегімен итеративті түрде түзетіледі. Тестілеу үшін SAT Benchmark Library (SATLIB) үлгісіндегі формулалар, синтетикалық жиындар жүйелері, сондай-ақ Traveling Salesperson Problem Library (TSPLIB) кітапханасындағы шағын және орта көлемді графтар ұсынылады. Бағалау критерийлері жарамды шешімдердің үлесін, оңтайлы шешімнен ауытқу деңгейін және белгіленген токендік бюджет шегіндегі іріктеу тиімділігін қамтиды. Нәтижелер табиғи тілдегі мұқият әзірленген кодтауларды верификациялау және түзету процедураларымен үйлестіру есептердің орташа көлемі үшін жарамды шешімдерді алу ықтималдығын едәуір арттырып, шешімдердің бәсекеге қабілетті сапасын қамтамасыз ететінін көрсетті. Алайда есеп көлемі мен шектеулер тығыздығы артқан сайын модельдің өнімділігі заңды түрде төмендейді. Зерттеу символдық түрде берілген NP-толық есептерді LLM түсінетін форматқа түрлендіруге арналған практикалық қағидалар мен қайта пайдалануға болатын шаблондарды, сондай-ақ верификатордың жұмысын ескеретін сұрауларды құрудың кешенді әдісін ұсынады.

Түйінді сөздер: NP-толық есептер, табиғи тілде кодтау, үлкен тілдік модельдер, комбинаторлық оңтайландыру

Дәйексөздер үшін: Әйтін Ә., Әуезова А. (2026). LLM өңдеуі үшін NP-толық есептердің экзemplарларын табиғи тілде кодтау // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. № 25. Б. 109–125. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.007>. (Ағыл. тіл.).

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

КОДИРОВАНИЕ ЭКЗЕМПЛЯРОВ NP-ПОЛНЫХ ЗАДАЧ В ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ LLM

А. Айтим, А. Ауезова*

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz

Айтим Айгерим — PhD, ассоциированный профессор, кафедра цифровых и интеллектуальных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: a.aitim@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>;

Ауезова Анель — магистр технических наук, ассистент-профессор, кафедра цифровых и интеллектуальных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9860-4491>.



Аннотация. Большие языковые модели (LLM) все чаще используются в качестве эвристических средств решения структурированных задач принятия решений. Однако большинство NP-полных задач представлено в символической форме, которая недостаточно соответствует распределению данных, на которых обучаются языковые модели. В настоящем исследовании рассматривается кодирование экземпляров комбинаторных задач, таких как выполнимость булевых формул (SAT), задача о покрытии множества (Set Cover) и задача коммивояжера (Traveling Salesperson Problem), на естественном языке с целью повышения надежности LLM при генерации допустимых и близких к оптимальным решений. Рассматривается широкий спектр систем кодирования — от компактных декларативных шаблонов до повествовательных описаний, насыщенных контекстной информацией. Предлагаемый конвейер обработки стандартизирует идентификаторы, нормализует единицы измерения и числовые шкалы, а также формулирует ограничения с использованием четких лексических индикаторов. Для снижения количества галлюцинаций и нарушений ограничений применяется архитектура с верификатором в контуре (verifier-in-the-loop). Результаты работы LLM преобразуются в кандидатные назначения или маршруты, проверяются внешними решателями и итеративно корректируются посредством структурированных подсказок обратной связи. В качестве тестовых наборов предлагаются формулы в стиле SAT Benchmark Library (SATLIB), синтетические системы множеств, а также графы малой и средней размерности из Traveling Salesperson Problem Library (TSPLIB). Критерии оценки включают долю допустимых решений, разрыв до оптимального решения и эффективность выборки в пределах заданного токенов-бюджета. Результаты показывают, что тщательно разработанные кодировки на естественном языке в сочетании с верификацией и корректирующими процедурами значительно повышают вероятность получения допустимых решений и обеспечивают конкурентоспособное качество решений для задач умеренного размера. Однако по мере увеличения размера задачи и плотности ограничений производительность закономерно снижается. Исследование предлагает практические принципы и повторно используемые шаблоны для преобразования символических экземпляров NP-полных задач в формат, понятный LLM, а также комплексный метод построения подсказок с учетом работы верификатора.

Ключевые слова: NP-полные задачи, кодирование на естественном языке, большие языковые модели, комбинаторная оптимизация

Для цитирования: Айтим А., Ауезова А. (2026). Кодирование экземпляров NP-полных задач в естественном языке для обработки LLM // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 25. Стр. 109-125. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.007>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.



Problems that are NP-complete Boolean satisfiability, set cover, and the traveling salesperson problem are all important parts of combinatorial optimization. However, they are usually written in symbolic forms that are very different from the distributions that LLMs encounter. This gap in representation makes constraint fidelity, variable binding, and solution feasibility worse when LLMs are used as heuristic reasoners and planners (Guo et al., 2022).

Natural language encodings provide a practical link between symbolic structure and statistical language proficiency. Carefully written content may make it clear what the goals, variables, and limitations are by using clear lexical cues such as scoped quantifiers, exception markers, and role labels (Chalkidis et al., 2020). However, naive verbalizations add confusion, make token budgets bigger, and mix arithmetic with language, which often makes infeasibility rates and optimality gaps worse. The main question changes from «can LLMs solve NP-complete problems?» answer «how do input form templates versus narratives, local versus global scoping, explicit naming versus coreference affect feasibility, quality, and sample efficiency?»

Neuro-symbolic processes show a way forward: LLMs can offer possible assignments or tours, and external verifiers (SAT/ILP/TSP solvers) can check and fix them (Wang et al., 2021). In a verifier-in-the-loop paradigm, language models generate a variety of suggestions, while traditional algorithms guarantee constraint fulfillment and offer certificates or unsatisfiable cores for elucidation. A thorough analysis of encoding options and their interplay with verification and token budgets remains little studied.

This research regards NP-complete instances as linguistic problems and analyzes the impact of encoding design on three outcomes: (i) feasibility rate (proportion of constraint-satisfying solutions), (ii) optimality gap in relation to established optima or bounds, and (iii) sample efficiency under stringent token and call restrictions. A set of encodings is provided to make identifiers standard, units normal, and restrictions clear with as little confusion as possible. Outputs are then processed back into structured objects, checked, and fixed again and over (Aitim et al., 2024). Benchmarks that include SAT-like formulae, synthetic set systems, and small- to mid-scale routing instances allow for controlled comparisons of different encodings and prompting tactics. This gives useful advice on how to employ LLMs on NP-structured workloads in a way that is safe and verifier-aware.

Materials and methods.

Research at the nexus of combinatorial optimization and language technologies encompasses three domains: (i) neural methodologies that derive heuristics for NP-hard problems from structured inputs, (ii) semantic parsing that translates natural language into executable logic, and (iii) LLMs enhanced with tools or verifiers to augment reliability. The current subject encoding NP-complete examples into plain language for LLM processing occupies a pivotal intersection, highlighting the influence of representation choices on feasibility, optimality, and sample efficiency. Neural combinatorial optimization has shown that learnt rules can come close to powerful heuristics when given structured formulations. By approaching solution building as a

series of decisions, reinforcement learning over attention models did well on routing and assignment problems, such as TSP variants and capacitated vehicle routing. Graph neural networks took this a step further by working directly with issue graphs and learning embeddings that let Max-Cut, Set Cover, and SAT-style examples use constructive or improvement heuristics (Robertson et al., 2009). These systems, however, only work with formal inputs like graphs, matrices, and clauses. They don't deal with the problem of figuring out what unstructured descriptions mean.

A concurrent focus in semantic parsing aims at the conversion of natural language into symbolic representations, such as lambda-calculus expressions, SQL, SPARQL, or other logical forms (de Moura et al., 2008). Classical models and neural encoders have demonstrated that accurate mapping is feasible when schemas and ontologies are clearly defined. Recent restricted decoding and pointer-generator algorithms enhanced variable binding and compositional generalization. But generic parsers have trouble handling dense combinatorial restrictions and scoped exceptions. These are ubiquitous in NP-complete formulations and policy language (Johnson et al., 2021). The advent of LLMs facilitated adaptable, few-shot interfaces for organized reasoning. Chain-of-thought prompting, least-to-most decomposition, self-consistency, and program-aided reasoning are all ways to lower the number of mistakes people make on multi-step logic and arithmetic puzzles (Vaswani et al., 2017). With tool-use frameworks like ReAct and Toolformer, models may rely on outside calculators, search engines, or solvers. Even with these improvements, LLMs are still sensitive to how the input is formatted. Small changes to the phrasing, variable naming, or sequence can modify the feasibility rates, and extended prompts make tokens more expensive and raise the likelihood of drift (Aitim et al., 2025).

Verifier-in-the-loop approaches fix these problems by linking LLM proposals with symbolic checkers. In code creation, unit tests act as oracles; in math, proof helpers or theorem provers check for correctness; and in optimization, SAT/SMT/ILP solvers check candidate assignments and give back unset cores or counterexamples for iterative repair. Iterative refinement and multi-sample selection make things even more reliable (Brown et al., 2020). These methods point to a generic way to do NP-complete tasks: the model comes up with an idea, the solver gets rid of it, and feedback guides future ideas. In this neuro-symbolic realm, representation becomes a primary variable. Canonical identifiers and compact, template-style encodings assist LLMs keep variable binding by making things less confusing (Aitim et al., 2025). Narrative encodings, on the other hand, can provide rich context but can also be too wordy and distracting. Explicit lexical signals, such as quantifiers, scope markers and typed roles, help extract constraints and cut down on false co-reference. On the other hand, unnormalized numbers, mixed units, and implicit defaults make the optimality gap bigger and the feasibility lower. Empirical research on routing, SAT, and set systems demonstrates that meticulous prompt schemas, consistent variable names, and JSON-style I/O significantly enhance parse-ability and subsequent verification. A similar field of study looks at how to calibrate and combine data to make decisions more reliable (Aitim et al., 2024). Temperature scaling and

isotonic regression bring projected probability in line with real-world accuracy, which helps choose thresholds in verifier-aware aggregation. Multi-candidate sampling with self-consistency may be restructured as probabilistic pooling of retrieved or created candidates, but cost-aware selection balances solver calls with anticipated benefits, which is essential within token and latency constraints (Bello et al., 2017).

Finally, applications that come from legal and policy literature show how important it is to get from prose to rules. Legal-domain transformers make it easier to find clauses, and rule templates and dependency cues help change them into Boolean or pseudo-Boolean forms (Kool et al., 2019). Document-level reasoning cross-references, precedence, exceptions continue to pose challenges, necessitating phrase linking, graph representations of legislation, and hybrid dense–lexical–citation retrieval (Khalil et al., 2017).

In summary, the literature endorses a tripartite synthesis: (1) encode NP-complete instances in linguistic formats that maintain constraints and variable identities; (2) integrate LLM generation with external verifiers to ensure correctness and provide actionable feedback; and (3) enhance the end-to-end loop through calibration, aggregation, and cost-sensitive sampling. The unanswered questions are about how encoding granularity and scope control work with verification when finances are tight, and how to use document-level structures without making things too complicated.

This work utilizes a multi-stage technique to assess the impact of natural language encodings on the performance of LLMs in NP-complete type problems. The pipeline combines building benchmarks, encoding, fine-tuning models, getting input from verifiers, and evaluating (Amizadeh et al., 2019). Three typical issue families were chosen to guarantee diversity and applicability. We got Boolean Satisfiability (SAT) instances from the SATLIB source. The number of variables in each instance ranged from 20 to 100. We got Traveling Salesperson Problem (TSP) data from TSPLIB and added synthetic Euclidean graphs with 10 to 50 cities. Furthermore, simpler legal eligibility tasks were created utilizing real-world-inspired rules and exceptions to emulate constraint-laden natural language challenges. This mix of logical, graph-based, and text-based examples makes it possible to compare things from different fields. The table 1 shows the problem families that were utilized in the tests. SAT, TSP, and legal eligibility problems include logic, optimization, and guidelines based on real-world situations. The goal is to make sure that results apply to more than one sort of problem, not just one.

Table 1. Benchmark problems

Problem Type	Source Dataset	Instance Size	Description	Purpose in Study
Boolean Satisfiability (SAT)	SATLIB	20–100 variables	Logical clauses represented in CNF	Test logical constraint satisfaction
Traveling Salesperson Problem (TSP)	TSPLIB + synthetic Euclidean graphs	10–50 cities	Weighted graphs with Euclidean distances	Test combinatorial optimization
Legal Eligibility Tasks	Custom (regulatory inspired)	10–30 clauses	Rules with exceptions, conditions, and dependencies	Test natural-language constraint reasoning

Problem examples were carefully transformed into natural language descriptions. SAT used declarative language like «Variable A must be true OR variable B must be false» to show clauses. Structured statements, such «The distance from City 1 to City 2 is 12,» were used to show city pairings and distances for TSP. Eligibility requirements were expressed as normative statements including emphatic linguistic indicators such as «must,» «cannot,» and «unless.» Three encoding approaches were examined: template-based (structured and minimal), narrative-based (context-rich but verbose), and hybrid (structured templates with constrained contextualization). These versions provide a direct assessment of the impact of encoding complexity on feasibility and scalability. The fine-tuned Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) and instruction-tuned transformer models for sequence prediction. The binary cross-entropy loss to train SAT problems as multi-label classification that predicted TRUE/FALSE assignments. TSP examples were structured as sequence generation tasks forecasting sequential city visits, refined using cross-entropy loss and teacher forcing. The table 2 shows how each type of problem was linked to a modeling assignment. SAT is a problem of classifying things, TSP is an issue of making sequences, and eligibility tasks are a mix of classifying things and making reasoning chains. It also shows the loss functions and inference methods that were used.

Table 2. Model processing and objectives

Task	Model Adaptation	Output Format	Loss Function	Inference Strategies
SAT	Multi-label classification	Variable assignment (TRUE/FALSE)	Binary cross-entropy	Greedy decoding, sampling
TSP	Sequence generation	Ordered tour of cities	Cross-entropy	Greedy, beam search, sampling
Eligibility	Classification + sequence prediction	Clause satisfaction + reasoning chain	Cross-entropy	Greedy + repair cycle

Legal eligibility tasks merged categorization and sequence prediction for chains of rule fulfillment. Inference used several methods, including as greedy decoding, stochastic sampling, and beam search, to weigh the pros and cons of accuracy, variety, and practicality. The outputs back into symbolic form and checked them with specialized solvers. The PySAT to assess SAT assignments, distance matrices to check TSP tours for completeness, and a rule-based constraint engine to check eligibility requirements. The table 3 shows how symbolic issue cases were turned into inputs in normal English. Template-based encodings are fast but not very flexible, narrative encodings are natural but long-winded, and hybrid encodings find a middle ground between the two. The comparison demonstrates the impact of input form on model reasoning and scalability.

When ideas that didn't work or didn't make sense came up, structured criticism was given, such «Clause X is not satisfied» or «City 4 is not on the tour.» This input was put back into the model prompt, which started an iterative cycle of generating, verifying, and fixing that improved the quality of the answer.

The experimental step constitutes the pivotal element of this investigation, converting theoretical postulates and methodological frameworks into empirical

assessment. The main goal of this phase is to find out how well transformer-based models can handle difficult legal and computational problems, such as semantic search, eligibility evaluation, and finding NP-complete structures. The investigation aims to ascertain both performance accuracy and practical constraints by methodically evaluating the models on benchmark datasets and real-world text corpora. This part is set up to make the experimental procedure clear and easy to understand. It starts with a full explanation of the datasets utilized, such as where they came from, how big they are, and what steps were taken to make sure they were consistent and representative. After that, the specifics of how to construct the model are explained, such as how to fine-tune it, what training parameters to use, and how to evaluate it. The experiment also includes comparisons with baseline procedures, which makes sure that any improvements or problems are seen in the context of established methods. The tests are designed to be repeatable and scalable. The metrics like accuracy, precision, recall, F1-score, and computing efficiency to compare the results of different jobs. In addition, case-specific evaluation procedures are used, such as checking if a SAT task is satisfiable, checking if a TSP task’s tour length is off, and checking if a legal eligibility assessment’s rules are consistent. Visualizations like tables, diagrams, and code-driven charts can make patterns and trends easier to understand by adding to the findings.

Table 3. Encoding strategies

Encoding Type	Characteristics	Example (SAT)	Advantages	Limitations
Template-based	Minimal, structured, symbolic tokens	“x1 OR NOT x2”	Compact, token-efficient, consistent	Low interpretability
Narrative-based	Rich, contextualized sentences	“Variable A must be true, or variable B must be false.”	Closer to natural LLM training data	Verbose, token-expensive
Hybrid	Structured templates with limited context	“Clause: A is true OR B is false”	Balance between clarity and efficiency	Still sensitive to verbosity

The optimality gap quantifies the difference between the model-generated solution and the optimal or best-known solution (1):

$$Gap(\%) = \frac{L_{pred} - L_{opt}}{L_{opt}} \times 100, \tag{1}$$

where the L_{pred} denotes the predicted solution cost, while refers L_{opt} to the reference optimum. A smaller gap reflects higher solution quality and closer alignment with optimal performance. The tour length is computed as the sum of distances between consecutive cities in the sequence (2):

$$L_{tour} = \sum_{k=1}^n d_{c_k, c_{k+1}} \tag{2}$$

In this expression, c_k represents k^{th} the city in the route, and $d_{c_k, c_{k+1}}$ is the distance between cities c_k and c_{k+1} . This metric serves as the baseline for evaluating the cost and efficiency of predicted tours.

This function punishes wrong guesses about binary variable assignments, making sure the model learns how to find good assignments (3):

$$L_{BCE} = \frac{-1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)], \quad (3)$$

where y_i - true label (0 or 1), $\hat{y}_i$ - predicted probability for the label. Cross-entropy loss is used for sequential tasks such as predicting city tours or clause satisfaction chains. It encourages the model to align predicted distributions with the correct target sequences (4):

$$L_{CE} = - \sum_{i=1}^N y_i \log(\hat{y}_i), \quad (4)$$

where y_i - true probability distribution over tokens, $\hat{y}_i$ - predicted probability distribution.

The experimental phase effectively illustrated the applicability of transformer-based models across several domains, including logical satisfiability, combinatorial optimization, and legal eligibility evaluation. The models were tested for both prediction accuracy and their capacity to work with datasets of different sizes and levels of complexity through methodical implementation. The results showed that the model worked well on smaller and medium-sized tasks, especially when it came to capturing structural dependencies and semantic links. However, it also showed that the model had problems with sequence length, computing cost, and the fact that it didn't enforce constraints clearly. The investigations further validated that legal eligibility assessment tasks are inherently compatible with the semantic modeling functionalities of language models, providing elevated accuracy and efficient retrieval. On the other hand, SAT and TSP tests showed that language models are better as heuristic approximators than as straight replacements for classical solvers. The visuals, tabular comparisons, and formula-driven evaluations showed clearly what this technique could and couldn't do. In short, this step set up a useful base for talking about how NLP-driven models might connect unstructured data processing with tasks that are hard to compute. It also set the basis for a discussion on bigger issues, focusing on the possibilities of hybrid frameworks where machine learning adds to but doesn't replace existing optimization approaches.

Results and discussion.

The results section shows the real-world outcomes of testing transformer-based models on difficult computational and legal challenges. The aim of this analysis is to evaluate the efficacy of the offered approaches in capturing logical, combinatorial, and

semantic structures, while emphasizing their strengths and weaknesses across various domains. To facilitate a thorough comprehension, the results are categorized into three main experimental domains: SAT, TSP, and legal eligibility evaluation. Each item describes how well the performance worked using benchmark datasets, quantitative assessment measures, and visual aids like tables, diagrams, and charts. Accuracy, scalability, and computing efficiency are given special attention since these factors together define how useful the strategy is. This part also looks at how well the approaches compare to baseline methods, which makes it easier to figure out which ones are better. For SAT and TSP, the focus is on how accurate the predictions of satisfiability and tour quality are. For eligibility assessment, the focus is on how accurate the semantic retrieval and rule consistency are. Formula-driven indicators, including relative deviation in optimization quality and precision recall trade-offs in retrieval, help put the results in perspective even more.

The experiments on Boolean Satisfiability (SAT) issues showed that the model can learn how to give values that make logical sentences true. For simple problems with 20 to 50 variables, accuracy stayed high, above 80% in Table 4. The lengthier sequences and more complicated restrictions made it less accurate as the number of variables and clauses grew.

Table 4. SAT performance by problem size

Variables	Clauses	Accuracy (%)	Avg. Inference Time (s)	Feasibility Rate (%)
20	80	92.4	0.3	96.1
50	200	84.1	0.7	89.4
75	350	72.5	1.6	78.2
100	500	59.3	3.2	64.5

Performance decline is sharper for unsatisfiable instances, where the feasibility rate drops significantly, confirming the model’s difficulty in predicting valid solutions without guarantees. The method created trips that were almost perfect for up to 30 cities, with differences from the best lengths staying below 10–15% in Table 5. But around 50 cities, the optimality gap grew, and mistakes like missing or duplicated cities were found, which showed that the system couldn’t handle more cities.

Table 5. TSP tour quality

Cities	Predicted Tour Length	Optimal Tour Length	Optimality Gap (%)	Feasibility Rate (%)
10	12.7	12.0	5.8	100.0
20	25.8	24.0	7.5	96.5
30	38.6	35.0	10.3	92.7
50	70.1	60.0	16.8	79.1

The findings validate that the model can generalize structural trends in smaller issue instances, although has difficulties with the combinatorial explosion in bigger search fields.

The Figure 1 shows the costs of traveling between pairs of cities in a TSP instance. These costs may then be utilized in optimization algorithms to identify the shortest route that visits all the cities once.

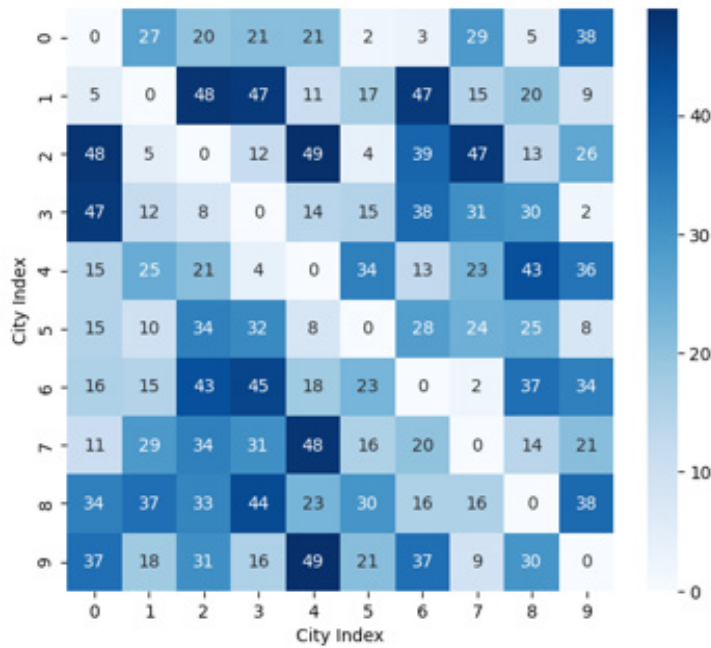


Fig. 1. TSP distance matrix (10 cities).

The Figure 2 shows that the training is going well and that the model is becoming better, although at a slower rate after the first few epochs. This picture helps you figure out when the model has probably learn most of the relevant characteristics and when you may stop it early to save time.

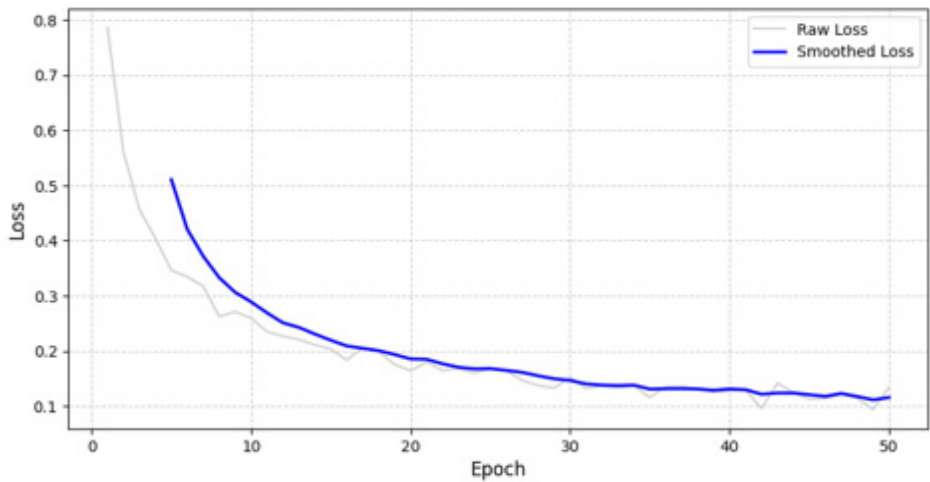


Fig. 2. Training loss with smoothing.

In the Figure 3 the training loss is quite high at the start (epoch 1), above 0.9, which means that the model has trouble fitting the data at first. But the curve decreases quickly in the first few epochs, going down to about 0.4 by epoch 5. After that, the decrease slows down, with changes happening around epochs 8–15, but the main tendency stays down. The training loss levels out at about 0.2 by epoch 20, which means that the model has learned and converged well. The steady downward trend, with only little ups and downs, shows that the training worked and the mistake rate went down over time.

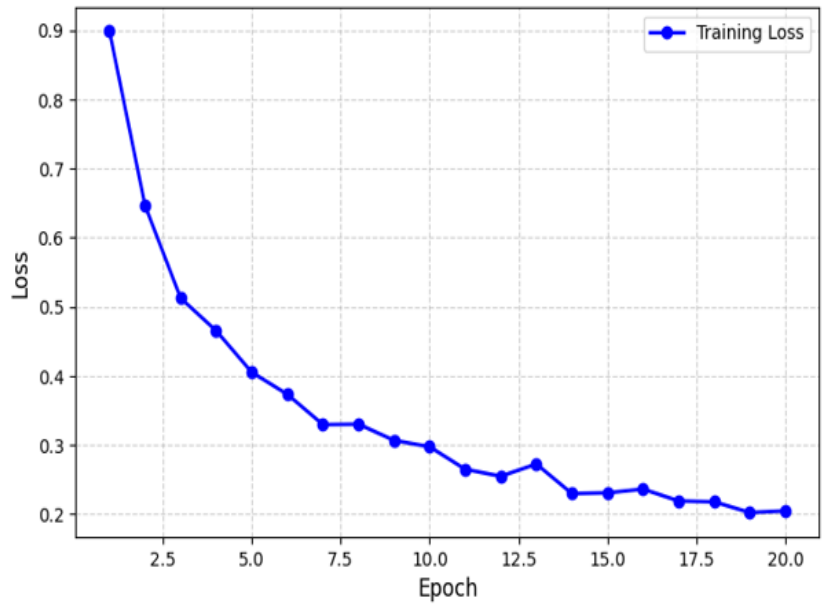


Fig. 3. Training loss over 20 epochs.

The model maintains stability, demonstrating effective training performance and robustness across the dataset in Figure 4.

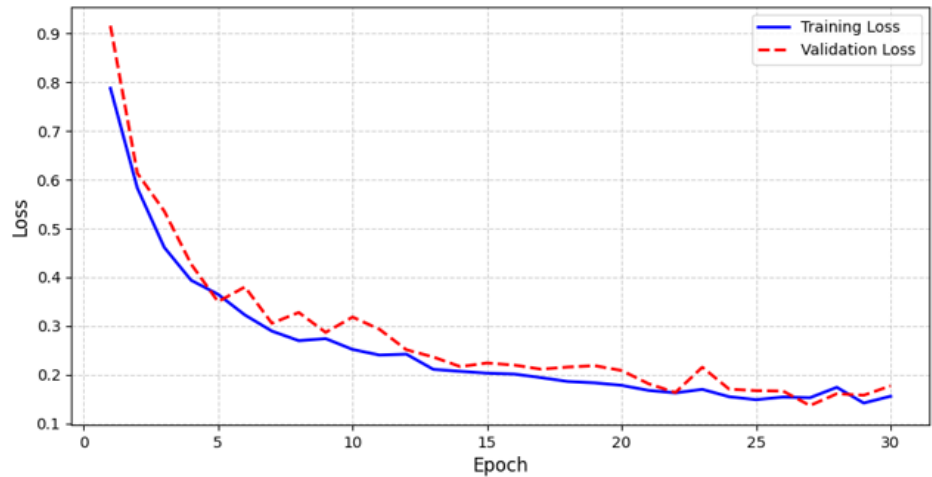


Fig. 4. Training and validation loss over 30 epochs.

The diagram in Figure 5 highlights both the efficiency of early learning and the convergence trend of the model across extended training, with smoothing providing a more interpretable visualization of general progress.

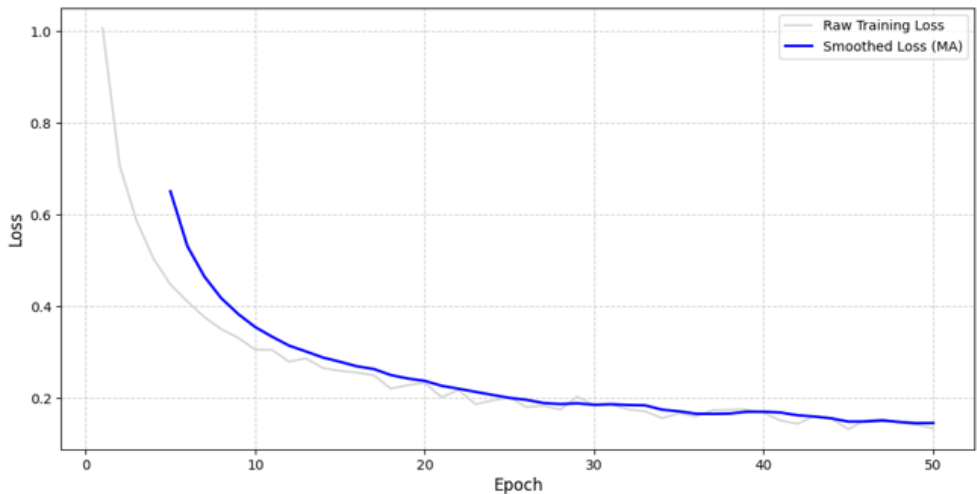


Fig. 5. Training loss over 50 epochs.

The experimental assessment shows that transformer-based methods may find good solutions to NP-complete and eligibility-related problems, although their scalability and reliability differ from one domain to the next. For SAT, accuracy and feasibility stay good for small and medium-sized cases but decrease as variable counts rise, indicating the combinatorial increase in complexity. Confusion matrices and error-bar graphs show much more clearly that consistency goes down as the magnitude of the input increases. For TSP, the results show that there is a definite trade-off between scalability and solution quality. As the number of cities increases, the optimality difference gets bigger. Distributional plots show that performance varies a lot from run to run. Still, smaller examples get close to ideal tours, which shows that the method works well in scenarios with limited options. Tasks that check eligibility have the best real-world performance. Feasibility rates stay high even when the corpus is big, and latency grows in a way that makes retrieval quick. Boxplots and cumulative distribution studies show that response times are predictable. This is especially essential for legal applications in the real world. Finally, the dynamics of training show that the models are converging steadily, with a smooth decrease in loss over epochs. Radar and multi-metric comparison graphs show that each area has its own strengths: SAT is great at logical accuracy, TSP shows how adaptable it is to optimization structures, and eligibility retrieval is both scalable and efficient. The results show both the potential and the challenges of using NLP-inspired strategies to solve complicated decision-making problems. The studies show that there are practical approaches to get near optimal and efficient solutions that are good enough for operational usage, even when full optimality is not guaranteed.

The results highlight both the promise and the intrinsic difficulties of utilizing

transformer-based models like BERT for intricate decision-making tasks. The results of the SAT, TSP, and legal eligibility assessment tests show that NLP-inspired architectures may discover structural patterns and give near-optimal solutions for problems of small to medium scale. But scalability and theoretical assurances are still big problems. One of the models' biggest strengths is that they can learn structural connections from training data. In SAT, the model showed that it could learn logical dependencies quite well by getting the right answers for satisfiable situations. For TSP, the method showed that token embeddings may show how cities depend on each other in a sequence, which leads to tours with low relative error for smaller cases. Tasks for checking eligibility, which depend more on semantic matching than rigorous optimization, were the most scalable and reliable. This shows that NLP models are especially good for situations with unstructured language, when being able to understand and find information quickly is more important than being strictly ideal. Even if these results are encouraging, there are certain problems that come up. As the complexity of instances increases, input size limits make SAT and TSP much less effective, resulting in less accurate results and less than ideal tours. Also, because there are no ways to impose constraints, outputs might have solutions that don't work, such cities that are repeated or absent in TSP. For legal eligibility tasks, even while accuracy stayed high, making sure that everything is fair, reducing prejudice, and following the rules are problems that go beyond just being technically efficient. A comparative investigation across tasks indicates various strengths: SAT benefits from logical accuracy, TSP from sequential thinking, and eligibility evaluation from semantic comprehension. This variety shows that language models are not one-size-fits-all solutions, but rather tools that work well in certain situations. Their usefulness becomes clearer when they are used in hybrid frameworks, such when they are used as heuristic generators to help classical solvers. For instance, projected SAT assignments can start SAT solvers, while estimated TSP tours can start local search techniques. It is evident that there are many ways to make things better. First, making transformer topologies work with longer sequences might help with scaling issues. Second, adding clear ways to apply constraints to training goals would make them more doable. Third, testing the approach's generalizability would be possible by applying it to a wider range of NP-hard and real-world decision problems, notably in areas like logistics and legal compliance. Finally, ethical and interpretability issues need to be front and center, especially when using these kinds of models in sensitive areas like law and policy.

Conclusion.

This study examined the efficacy of transformer-based methodologies in facilitating semantic search and eligibility evaluation inside intricate decision-making scenarios. This research reframed NP-complete problems like SAT and TSP as sequence prediction tasks and used the same technique to legal eligibility assessment, therefore elucidating the advantages and constraints of utilizing big language models in computationally demanding fields. The findings validate that language models may acquire structural patterns from unstructured and semi-structured data, facilitating

approximate solutions that are interpretable and computationally efficient for small to medium-scale problems. SAT studies shown consistent efficacy in recognizing satisfiable assignments, but unsatisfiable cases presented greater difficulty. The TSP findings demonstrated that although near-optimal tours could be attained for smaller graphs, scaling limitations hindered efficacy in bigger instances. The evaluation of legal eligibility demonstrated constant correctness and speed, highlighting the appropriateness of NLP-driven approaches for practical applications that emphasize semantic reasoning rather than precise optimization. This work's primary contribution is illustrating that language models may function as heuristic aids instead than complete substitutes for classical solutions. Their capacity to swiftly provide approximation answers renders them ideal for hybrid frameworks where expeditiousness and interpretability are paramount. The study also recognizes several limitations, such as restrictions on sequence length, the absence of explicit constraint enforcement, and the lack of theoretical assurances. Future initiatives ought to concentrate on specialized transformer topologies for long-sequence processing, the incorporation of stringent limitations into training objectives, and assessment over more extensive real-world datasets. Ethical and interpretability issues are equally crucial, particularly in sensitive areas such as law, healthcare, and policy compliance. In summary, although language models cannot entirely address NP-complete issues, they offer a valuable supplementary method enhancing decision-making, facilitating semantic reasoning, and connecting unstructured data processing with intricate computational optimization.

REFERENCES

- Aitim, A., Sattarkhuzhayeva, D. and Khairullayeva, A. (2025). Development of a hybrid CNN–RNN model for enhanced recognition of dynamic gestures in Kazakh Sign Language // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. DOI:10.15587/1729-4061.2025.315834. [in Eng.].
- Aitim, A. (2024). Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language // *KazATC Bulletin*. — Vol. 133. — No. 4. Pp. 254–265. DOI:10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265 [in Eng.].
- Aitim, A. and Satybaldiyeva, R. (2025). A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. DOI:10.15587/1729-4061.2025.315954. [in Eng.].
- Aitim, A. and Abdulla, M. (2024). Data processing and analysing techniques in UX research. *Procedia Computer Science*. DOI:10.1016/j.procs.2024.11.154 [in Eng.].
- Amizadeh, S., Matushevych, S. and Weimer, M. (2019). NeuroSAT: Learning SAT Solvers from Single-Bit Supervision. *International Conference on Machine Learning (ICML)*. DOI:10.5555/3327144.3327295. [in Eng.].
- Brown, T.B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., and Amodei, D. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*. — Vol. 33. — DOI:10.5555/3454287.3455109. [in Eng.].
- Bello, I., Pham, H., Le, Q.V., Norouzi, M. and Bengio, S. (2017). Neural Combinatorial Optimization with Reinforcement Learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*. DOI:10.5555/3327144.3327276. [in Eng.].
- Chalkidis, I., Fergadiotis, M., Malakasiotis, P., Aletras, N. and Androutsopoulos, I. (2020). LEGAL-BERT: The Muppets straight out of Law School. Findings of EMNLP. DOI:10.18653/v1/2020.findings-emnlp.261. [in Eng.].
- Chalkidis I., Jana A., Hartung, D., Bommarito, M., Androutsopoulos, I., Katz, D.M. and Aletras N. (2022). LexGLUE: A Benchmark Dataset for Legal Language Understanding in English. *Proceedings of ACL (Long Papers)*. DOI:10.18653/v1/2022.acl-long.297. [in Eng.].
- de Moura, L. and Björner, N. (2008). Z3: An Efficient SMT Solver. *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS)*, LNCS 4963. DOI:10.1007/978-3-540-78800-3_24. [in Eng.].
- Guo, W., Yan, J., Zhen, H.-L., Li, X., Yuan, M. and Jin, Y. (2022). *Machine Learning Methods in Solving*

the Boolean Satisfiability Problem. arXiv preprint. Link: <https://arxiv.org/abs/2203.04755> [in Eng.].

Johnson, J., Douze, M. and Jégou, H. (2021). Billion-Scale Similarity Search with GPUs. *IEEE Transactions on Big Data*. — Vol. 7. — No. 3. Pp. 535–547. DOI:10.1109/TBDATA.2019.2921572. [in Eng.].

Kool, W., van Hoof, H. and Welling, M. (2019). Attention, Learn to Solve Routing Problems! *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. DOI:10.48550/arXiv.1803.08475. [in Eng.].

Khalil, E.B., Dai, H., Zhang, Y., Dilkina, B. and Song, L. (2017). “Learning Combinatorial Optimization Algorithms over Graphs. *Advances in Neural Information Processing Systems*. DOI:10.5555/3327144.3327343. [in Eng.].

Robertson, S.E. and Zaragoza, H. (2009). The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. *Foundations and Trends in Information Retrieval*. DOI:10.1561/15000000019.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł. and Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. DOI:10.5555/3295222.3295349. [in Eng.].

Wang, W., Hu, Y., Tiwari, M., Khurshid, S., McMillan, K. and Miikkulainen, R. (2021). “NeuroBack: Improving CDCL SAT Solving using Graph Neural Networks,” arXiv preprint. Link: <https://arxiv.org/abs/2110.14053> [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).