

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 Максutowна 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 Токсужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

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

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

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

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

Дамеля Максютнова 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 Сахпай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимереб 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. Алиасқаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Қасымов, 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 ДАНЫМ 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. 61–75

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.004>

SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES

*V.A. Takizhanov**, *A.Z. Ibragimov*, *A. Shalakhmetov*

Astana IT University, Astana, Kazakhstan;

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com

Takizhanov Vyacheslav Aleksandrovich — Master's student in Computer Science and Engineering, Astana IT University

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3880-7334>;

Ibragimov Aldiyar Zhaxylykovich — PhD student in Computer Science, Astana IT University

E-mail: a.ibragimov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3697-8647>;

Shalakhmetov Aidarbek — PhD student in Computer Science, Astana IT University

E-mail: aidar.shalakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6779-770X>.

© V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov

Abstract. This study investigates the structural robustness of Astana's bus transport network using complex network theory. The network was modeled in L-space based on open 2GIS data, where bus stops represent nodes and route segments represent edges. Key metrics, including the size of the largest connected component, mean shortest path length and mean inverse path length, were analyzed under both random and targeted failure scenarios. The results show that the network maintains high resilience to random disruptions but is highly vulnerable to targeted removals of high-betweenness nodes and bridge edges, which act as critical connectors between major urban areas. Their removal leads to rapid fragmentation and a collapse of global connectivity. The findings highlight the imbalance between local redundancy and global dependency within the city's public transport system and provide a foundation for resilience-oriented planning, emphasizing redundancy reinforcement and diversification of inter-hub connections to ensure uninterrupted service during disruptions.

Keywords: public transport network, complex network theory, structural robustness, network resilience, betweenness centrality, targeted attacks, network vulnerability analysis

For citation: V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov (2026). Simulation-based robustness assessment of Astana's bus network under random and targeted failures // International journal of information and communication technologies. 2026.



Vol. 7. No. 25. Pp. 61–75. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.004>. (In Eng.).

МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ АСТАНАНЫҢ АВТОБУС ЖЕЛІСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ: КЕЗДЕЙСОҚ ЖӘНЕ МАҚСАТТЫ ІСТЕН ШЫҒУЛАР ЖАҒДАЙЫНДА

*В.А. Такижанов**, *А.Ж. Ибрагимов*, *А. Шалахметов*

Astana IT University, Астана, Қазақстан.

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com

Такижанов Вячеслав Александрович — Компьютерлік ғылымдар және инженерия мамандығы бойынша магистрант, Astana IT University

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3880-7334>;

Ибрагимов Алдияр Жаксылыкович — Компьютерлік ғылымдар мамандығы бойынша PhD докторанты, Astana IT University

E-mail: a.ibragimov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3697-8647>;

Шалахметов Айдарбек — Компьютерлік ғылымдар мамандығы бойынша PhD докторанты, Astana IT University

E-mail: aidar.shalakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6779-770X>.

© В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов

Аннотация. Бұл зерттеуде Астананың автобус көлік желісінің құрылымдық орнықтылығы күрделі желілер теориясы тұрғысынан талданды. Желі 2GIS платформасының ашық деректері негізінде L-кеңістікте модельденді, мұнда автобус аялдамалары түйіндер ретінде, ал маршрут бөліктері қырлар ретінде қарастырылды. Негізгі көрсеткіштер, ең үлкен байланысқан компоненттің өлшемі, орташа ең қысқа жол және орташа кері жол ұзындығы, кездейсоқ және мақсатты істен шығу сценарийлері жағдайында талданды. Нәтижелер көрсеткендей, желі кездейсоқ бұзылуларға жоғары төзімділік танытқанымен, жоғары делдалдық орталықтылыққа ие түйіндер мен көпірлік қырларды жою кезінде едәуір осал болып келеді. Мұндай элементтердің жойылуы желінің тез фрагментациялануына және жаһандық байланыстылықтың үзілуіне әкеледі. Зерттеу нәтижелері қалалық қоғамдық көлік жүйесіндегі жергілікті артықтық пен ғаламдық тәуелділіктің теңгерімсіздігін айқындай отырып, орнықтылыққа бағытталған жоспарлауға негіз қалайды. Бұл бағытта көпір өткелдеріндегі қайталама байланыстарды күшейту мен торапаралық қосылыстарды әртараптандырудың маңыздылығы атап өтіледі.

Түйін сөздер: қоғамдық көлік желісі, күрделі желілер теориясы, құрылымдық орнықтылық, желінің орнықтылығы, делдалдық орталықтылық, мақсатты шабуылдар, желінің осалдықтарын талдау

Дәйексөздер үшін: В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов (2026). Модельдеу негізінде Астананың автобус желісінің тұрақтылығын бағалау: кездейсоқ және мақсатты істен шығулар жағдайында // Халықаралық ақпараттық



және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 25. 61–75 бет. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.004>. (Ағыл. Тіл.).

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ

*В.А. Такижанов**, *А.Ж. Ибрагимов*, *А. Шалахметов*

Astana IT University, Астана, Казахстан.

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com

Такижанов Вячеслав Александрович — магистрант по направлению “Компьютерные науки и инженерия”, Astana IT University

E-mail: ezpigeon.hill@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3880-7334>;

Ибрагимов Алдияр Жаксылыкович — PhD-докторант по направлению “Компьютерные науки”, Astana IT University

E-mail: a.ibragimov@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3697-8647>;

Шалахметов Айдарбек — PhD-докторант по направлению “Компьютерные науки”, Astana IT University

E-mail: aidar.shalakhmetov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6779-770X>.

© В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов

Аннотация. В настоящем исследовании анализируется структурная устойчивость автобусной транспортной сети Астаны с использованием методов теории сложных сетей. Сеть моделировалась в L-пространстве на основе открытых данных платформы 2GIS, где автобусные остановки представлены в виде узлов, а участки маршрутов в виде рёбер. Основные показатели, включая размер наибольшего связанного компонента, среднюю кратчайшую длину пути и среднюю обратную длину пути, были проанализированы при случайных и целенаправленных сценариях отказов. Результаты показали, что сеть обладает высокой устойчивостью к случайным сбоям, но проявляет значительную уязвимость при целенаправленном удалении узлов с высокой посреднической центральностью и мостовых рёбер, выполняющих функцию ключевых соединителей между основными городскими зонами. Их удаление приводит к быстрой фрагментации сети и потере глобальной связности. Полученные результаты выявляют дисбаланс между локальной избыточностью и глобальной зависимостью в системе общественного транспорта города и создают основу для планирования, ориентированного на повышение устойчивости, с акцентом на усиление дублирующих связей и диверсификацию межузловых соединений для обеспечения непрерывности транспортного обслуживания при сбоях.

Ключевые слова: сеть общественного транспорта, теория сложных сетей, структурная устойчивость, устойчивость сети, посредническая центральность,

целенаправленные атаки, анализ уязвимости сети

Для цитирования: В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов (2026). Оценка устойчивости автобусной сети Астаны на основе моделирования при случайных и целенаправленных отказах // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2026. Т. 7. No. 25. Стр. 61–75. (На англ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.004>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

In the context of rapid urban growth and increased uncertainty in transport demand, the resilience and reliability of public transport become key factors of urban safety and quality of life. The approach of complex network theory has proven effective for quantitatively assessing the connectivity and vulnerability of transport systems: such networks often exhibit robustness to random failures while showing heightened sensitivity to targeted impacts on the most significant elements (Ge et al., 2022). However, for Astana there is no systematic robustness assessment that directly contrasts random failures with targeted disruptions to nodes and edges. To address this gap, we quantify the robustness of Astana’s bus network under both random and targeted scenarios and outline planning-relevant implications. We analyze Astana’s bus network using stop and route data sourced from 2GIS, within the city’s administrative boundaries.

Astana is a young capital with a rapidly changing spatial structure and pronounced monocentricity, divided by the Yesil River into large functional zones and connected by a limited set of bridge crossings that form potential “bottlenecks” for passenger flows. Climatic extremes (a long and cold winter with strong winds) reinforce the requirements for network reliability and route redundancy: even short-term outages of nodes and links during peak periods can lead to cascading overloads of adjacent corridors (Huang et al., 2023). Given the dominance of bus services (in the absence of a fully functioning inner-city rail system), redundancy of transfer alternatives is critical, especially on the arteries crossing the river and in areas of mass residential development on the right and left banks (Jia et al., 2019).

The aim of this study is to quantitatively assess the structural robustness of Astana’s bus network and to identify the key elements that determine its reliability under various disruption scenarios. We model the network in the L-space representation: nodes are stops, edges are sequential links along routes; we analyze the network’s response to sequential removal of nodes/edges both in random order and in order of decreasing degree and betweenness centrality; we track the dynamics of the share of the largest connected component $S(c)$, the mean and maximum shortest path length, as well as the mean inverse path length, correctly defined for disconnected graphs (Tran et al., 2019). Additionally, we consider scenarios of “cascading effects”, wherein the failure of a critical stop leads to the removal of the routes serving it, thereby simulating realistic failure propagation (Li et al., 2025). Details of the materials, metrics and experimental

procedures are provided in the “Materials and Methods” section.

The novelty of this study lies in integrating a comprehensive complex-network assessment of Astana’s bus network robustness, explicitly contrasting random and targeted failure scenarios, with a direct translation of degradation curves and identified critical nodes and links into practice-oriented recommendations. This perspective links network indicators to Astana’s public transport development strategy, prioritizing uninterrupted service under challenging climatic and spatial conditions. The object of the study is the bus transport network of Astana; the subject is its structural robustness under random and targeted node and edge removals. We hypothesize that the network maintains substantial tolerance to random failures but exhibits pronounced vulnerability to targeted disruptions of high-betweenness transfer nodes and bridge edges.

Materials and methods.

Observations of urban public transport routes show that their paths form a network with a complex structure. This approach makes it possible to view transport systems through the lens of complex network theory, where public transport infrastructure is modeled and analyzed using graph-theoretic tools (Derrible & Kennedy, 2011). Over the past decades, the concept of complex networks has become a central field of research, combining methods from graph theory and statistical physics. Within this framework, a network is defined as a set of nodes connected by edges, allowing interactions to be described in both natural and man-made systems.

Particular attention in complex network studies is paid to nontrivial properties that differ sharply from those of classical random graphs. In particular, it has been found that such networks exhibit the small-world effect, short distances between nodes, a high level of local clustering and a pronounced ability for self-organization (Xiao et al., 2024). These characteristics ensure robustness against random failures while making the system vulnerable to targeted attacks on key elements, a pattern repeatedly observed in real-world transit networks (Cicchini et al., 2024).

Applying this approach to transport systems makes it possible to reveal hidden patterns in their structure, assess connectivity and resilience levels and detect correlations that go beyond random link distributions (Chen et al., 2024; Hassan et al., 2022). Thus, analyzing a bus network as a complex system allows not only for a graph-based structural description but also for conclusions about its reliability and operational robustness.

For this study, a custom Python parser was developed to automatically collect open data from the 2GIS platform. The data were collected in September 2025, meaning that all network topology and route information used in the analysis reflects the actual state of the public transport system at that moment. The parser extracts the complete set of bus stops and routes within the administrative boundaries of Astana, recording the ordered sequence of stops for each route. The resulting data are stored in CSV format to ensure reproducibility and subsequent processing. Based on these data, the transport network is represented as a graph, which enables the application of methods of complex network theory to analyze its structure and robustness. All calculations and network

metrics were performed using the NetworkX library in Python.

In this study, the bus network is modeled in the L-space representation. Each stop corresponds to a node, while consecutive stops along a route are connected by edges, following standard practice in spatial analyses of bus transport networks (Shanmukhappa et al., 2018). Thus, the resulting graph captures the structure of the bus network, where edges reflect the actual sequence of movements along bus routes.

Several basic indicators are used to describe the structural properties of the transport network. One of them is the average node degree $\langle k \rangle$, which shows how many connections each vertex of the graph has on average. It is calculated as

$$\langle k \rangle = \frac{2M}{N}, \quad (1)$$

where M is the number of edges and N is the number of nodes.

Another important parameter is the average shortest path length $\langle l \rangle$, which characterizes the average distance between all pairs of nodes within a single connected component.

$$\langle l \rangle = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j} l(i, j), \quad (2)$$

where $l(i, j)$ is the shortest path between nodes i and j .

Additionally, the maximum shortest path length l^{max} , corresponding to the longest shortest distance in the network, is also considered. This indicator reflects the graph's diameter and allows for an assessment of its overall "spread".

Another important characteristic of the transport network is the clustering coefficient. It shows how tightly the neighbors of each vertex are connected to each other. For a given node i , this indicator is calculated as

$$C_i = \frac{2y_i}{k_i(k_i-1)}, \quad k_i \geq 2, \quad (3)$$

where y_i denotes the number of edges between the neighbors of vertex i_j and k_j is its degree. The average value across all nodes gives the clustering coefficient of the entire network. For convenience, it can be normalized to the value obtained for an Erdős–Rényi random graph of comparable size:

$$C = \frac{\langle C_i \rangle}{C_{ER}}, \quad C_{ER} = \frac{2M}{N^2} \quad (4)$$

This parameter reflects the tendency of the network to form local "triangles", thus demonstrating the level of internal connectivity.

In addition, to analyze the network structure, the degree distribution of nodes $P(k)$ is used. It shows the probability that a randomly chosen vertex has degree k . In real transport networks, the degree distribution often follows a power-law of the form

$$P(k) \sim k^{-\gamma}, \quad k \gg 1, \quad (5)$$

where the exponent γ characterizes the rate of decay of the distribution.

Additionally, we report two aggregate measures related to the degree distribution.

The parameter $\kappa^{(k)}$ denotes the Molloy–Reed ratio $\kappa^{(k)} = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle}$, which provides a criterion for the existence and robustness of the giant component. The parameter $k^{(z)}$

denotes $\kappa^{(z)} = \frac{z_2}{z_1}$, the ratio of the mean number of second neighbors to first neighbors; deviations between $\kappa^{(k)}$ and $\kappa^{(z)}$ indicate degree correlations and structural heterogeneity of the network.

To identify which specific nodes are structurally critical for maintaining connectivity, the betweenness centrality metric is used. It shows how often a vertex i appears in the shortest paths between other pairs of nodes:

$$C_B(i) = \sum_{j \neq i \neq k \in N} \frac{\sigma_{jk}(i)}{\sigma_{jk}}, \quad (6)$$

where σ_{jk} is the number of shortest paths between nodes j and k and $\sigma_{jk}(i)$ is the number of such paths that pass through node i . The average value of C_B makes it possible to identify nodes that play a key role in the transport system.

Within a percolation-theoretic framework, we assess the robustness of Astana’s bus network by iteratively removing elements and monitoring how its structure degrades. At each step of the experiment, a single node or edge is removed according to a specified strategy, all network indicators are recalculated on the modified graph, and the procedure continues until almost all elements are eliminated. This setup allows us to directly compare accidental failures with informed attacks that target structurally important components.

We consider two main classes of node-removal scenarios. In random failures, nodes are selected uniformly at random. In targeted attacks, the removal order is adaptive: after each step, the node with the highest current structural importance, measured by degree or betweenness centrality, is removed, so that the attack dynamically follows the evolving network (Pei et al., 2024). Additionally, we examine a modified random strategy in which, at each step, a random node is chosen and then one of its neighbors is removed, which increases the probability of eliminating well-connected nodes (Shi et al., 2023). These strategies capture a spectrum from purely random disruptions to deliberately focused attacks (Furno et al., 2021).

An analogous set of scenarios is defined for edge removals. Edges are either removed uniformly at random or in a targeted fashion based on their structural role, with priority given to connections that either exhibit high edge betweenness centrality or link high-degree nodes, acting as “bridge links” between major corridors of the network (Cao et al., 2025; Rahman et al., 2000). To formalize this, concepts traditionally applied to nodes are extended to edges: the degree of an edge connecting nodes i and j is defined as

$$k_{ij}^{(l)} = k_i + k_j - 2, \quad (7)$$

where k_i and k_j are the degrees of the incident nodes. This provides a consistent basis for comparing node- and edge-based attack strategies.

Percolation theory characterizes network degradation through the presence and size of a “giant component”. To quantify how much of the network remains connected after removing a fraction c of elements, we use the normalized size of the largest connected component

$$S(c) = \frac{N_1(c)}{N}, \quad (8)$$

where $N_1(c)$ is the number of nodes in the largest component after removals and N is the total number of nodes in the original network. Values $S(c) = 1$ indicate a largely connected system, whereas $S(c) \rightarrow 0$ signifies fragmentation into small, isolated clusters.

To capture changes in efficiency within the remaining connected structure, we compute the average inverse shortest path length

$$\langle l^{-1} \rangle = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j \in N} l^{-1}(i, j), \quad (9)$$

where $l(i, j)$ is the shortest path between nodes i and j . For disconnected pairs, $l^{-1}(i, j) = 0$.

Unlike the standard average path length, this measure remains well-defined when the network splits into multiple components, as unreachable pairs contribute zero rather than making the metric undefined. It therefore provides a sensitive indicator of how route accessibility deteriorates under progressive disruptions (Mussone & Notari, 2021).

Random removal experiments demonstrate a self-averaging behavior: repeated trials yield nearly identical degradation curves. In contrast, targeted removal rapidly suppresses both $S(c)$ and $\langle l^{-1} \rangle$, because nodes and edges with the highest structural significance are eliminated early (Jin et al., 2022; Zhang, 2017).

A quantitative evaluation of the transport network’s resilience was conducted alongside the qualitative vulnerability analysis. Resilience reflects the network’s ability to preserve connectivity under node removal. According to percolation theory, this property is linked to a critical concentration c_{rc} , beyond which a connected cluster forms. For finite networks, however, connectivity gradually decreases over a range of concentrations (Zhang et al., 2013).

The normalized size of the largest component $S(c)$ is used to assess resilience. The overall measure is defined as:

$$A = 100 \int_0^1 S(c) dc, \quad (10)$$

This integral quantifies the cumulative effect of node removals and serves as a robust indicator of network stability.

Results and discussion.

The structural analysis of Astana's bus transport network provides a quantitative assessment of its key topological properties within the framework of complex network theory. The network is modeled in the L-space representation, where nodes correspond to bus stops and edges connect consecutive stops along operational routes, enabling the computation of indicators that describe its connectivity, compactness, and local clustering.

Table 1 – Basic topological metrics of Astana's bus transport network

Symbol	Description	Value
N	Number of stops	1075
R	Number of routes	109
$\langle k \rangle$	Average node degree	3.54
	Maximum shortest path	35
$\langle l \rangle$	Average shortest path	11.8
C	Clustering coefficient	79.4
	Betweenness centrality	5794
	Degree correlation (z)	2.3
	Degree correlation (k)	4.57
γ	Degree distribution exponent	3.66

Table 1 summarizes the baseline structural metrics of Astana's bus network. With 1075 stops and 109 routes, the system is large but relatively sparse: the average node degree $\langle k \rangle = 3.54$ indicates that most stops have only a few direct onward options. The average shortest path length $\langle l \rangle = 11.8$ and the maximum shortest path $l_{max} = 35$ suggest that traveling between spatially distant areas may require long multi-stop and indirect routes, which is consistent with the elongated, corridor-like structure of the network. At the same time, the high clustering coefficient $C = 79.4$ indicates pronounced local redundancy, meaning that certain subareas of the network form dense clusters of stops that provide short alternative paths even under individual link or node failures.

Figures 1–3 summarize how the bus network responds to random node removal. Figure 1 shows the relative size of the largest connected component S , defined as the fraction of nodes that remain within the largest connected subnetwork after a given number of removals. As the number of removed nodes increases, S exhibits a clear monotonically decreasing trend and eventually approaches zero. This behavior reflects a progressive loss of global connectivity: the giant component is gradually dismantled, and the network ceases to function as a single, city-wide structure.

A similar decline is observed for the mean inverse path length l^{-1} in Fig. 2. This metric is calculated as the average of the inverse shortest-path distance between all reachable pairs of nodes (with disconnected pairs contributing zero). The continuous decrease of l^{-1} indicates that overall reachability deteriorates even before the network becomes fully disconnected, highlighting that inefficiency emerges prior to complete fragmentation.

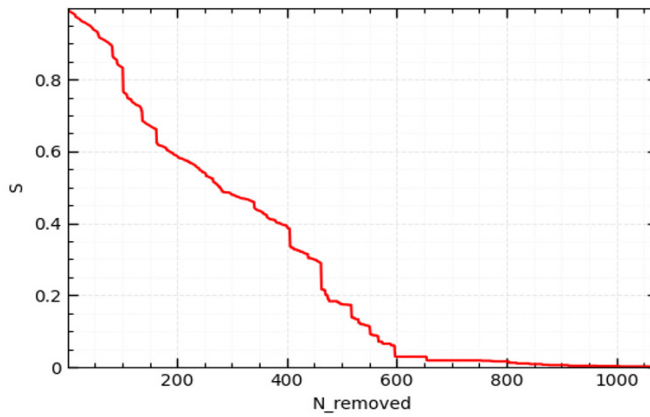


Fig. 1. Change in the Largest Component Size under Random Node Removal

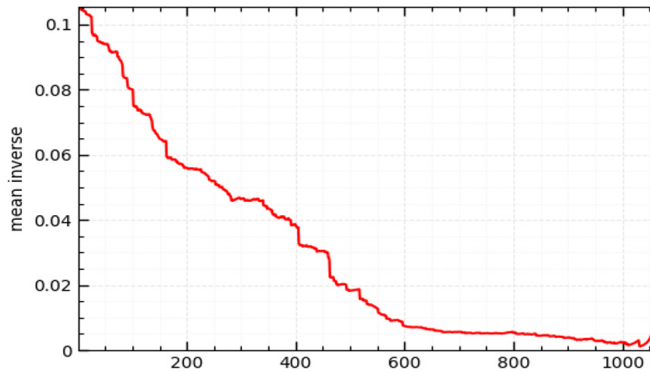


Fig. 2. Change in Mean Inverse Path Length under Random Node Removal

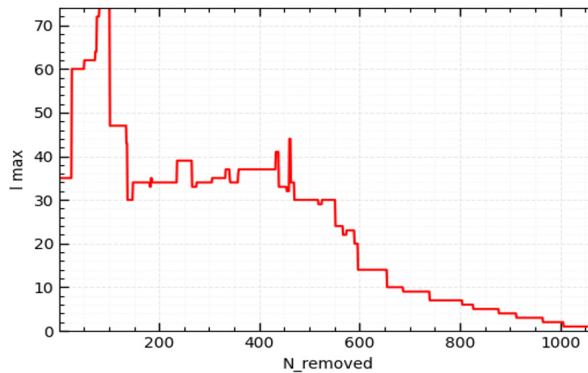


Fig. 3. Change in Maximum Shortest Path under Random Node Removal

Fig. 3 plots the maximum shortest-path distance l_{max} , which characterizes the effective diameter of the remaining connected structure. In contrast to S and $\langle l^{-1} \rangle$ l_{max} first exhibits a pronounced spike. At early stages of random removal, some direct links disappear and routes between distant parts of the city are forced to detour through longer chains of intermediate stops, so the longest shortest path in the network becomes

significantly larger. After a certain threshold, however, l_{max} collapses sharply. This collapse occurs when the network ceases to behave as one integrated system and fragments into many small local clusters; within these small clusters, all shortest paths are by definition short, so the global maximum drops.

Taken together, the three curves indicate a two-stage failure pattern. First, the system becomes inefficient before it is fully disconnected: even while S is still relatively high, passengers would already face very long indirect routes, as reflected by the early peak in l_{max} . Later, both S and the mean inverse path length fall to very low values, showing that the bus network no longer provides city-wide connectivity and instead survives only as isolated local components with minimal interaction between them.

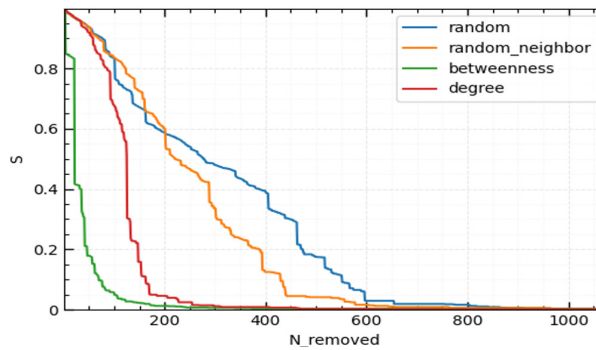


Fig. 4. Change in the Largest Component Size under Different Node Removal Strategies

Fig. 4 shows how the relative size of the largest connected component S changes under different node removal strategies. Here, S is defined as the fraction of all nodes that remain in the largest connected subnetwork after a given number of removals. In addition to purely random removal, three targeted attack strategies are considered: removal of nodes in order of decreasing degree; removal of nodes in order of decreasing betweenness centrality; and the “random neighbor” strategy, in which at each step a random node is selected and one of its neighbors is removed. The latter procedure is known to preferentially affect well-connected (hub-like) nodes, since high-degree nodes are more likely to appear as neighbors. For all targeted strategies, the attack sequence is updated after each step, so that at every stage the next node is chosen among those with the highest current structural importance.

The curves in Fig. 4 demonstrate that targeted attacks are substantially more destructive for network connectivity than random failures. When nodes are removed according to degree or betweenness centrality, S rapidly declines to values close to zero after the removal of a relatively small number of nodes, indicating an early collapse of the giant connected component and, consequently, of global connectivity. By contrast, under purely random removal the decay of S is much slower and extends over a considerably larger number of removed nodes, consistent with the robustness typically observed in heterogeneous public transport networks with hub-like structures. The “random neighbor” strategy produces an intermediate effect: it degrades connectivity

faster than uniform random removal but less aggressively than fully targeted attacks, as it implicitly favors the elimination of locally well-connected nodes without explicit computation of global centrality. Overall, Fig. 4 indicates that the Astana bus network depends disproportionately on a relatively small set of structurally critical stops; once these high-importance nodes are removed, the network fragments rapidly into smaller, poorly connected components.

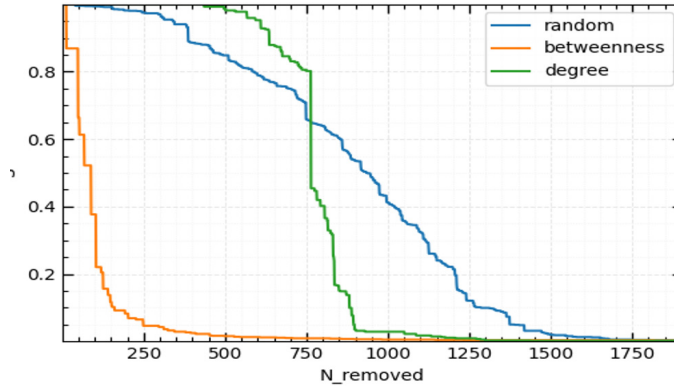


Fig. 5. Change in the Largest Component Size under Different Edge Removal Strategies

Fig. 5 shows how the size of the largest connected component S changes when edges, rather than nodes, are progressively removed under three different strategies. As before, S is the fraction of all nodes that remain in the largest connected subgraph. The first strategy is random edge removal, where links are deleted uniformly at random. The second strategy removes, at each step, the edge with the highest betweenness centrality, i.e. the link that is currently most frequently used by shortest paths in the network. The third strategy removes edges associated with high-degree structure, i.e. links incident to highly connected hubs, prioritizing the connections that maintain access to those hubs. In the targeted strategies, importance is recalculated after each deletion, so that at every step the next link chosen is again among the most structurally critical ones.

The three curves illustrate very different robustness behaviors. When edges are removed randomly, S decreases slowly and remains relatively high for a long portion of the process: even after hundreds of edges are deleted, the network still preserves a large connected backbone. This indicates a high tolerance to incidental link failures. By contrast, removal based on edge betweenness produces an almost immediate collapse: S plummets after only a small number of deletions, showing that the network's global connectivity relies on a limited set of "bridge" edges that carry many of the shortest paths between otherwise weakly coupled regions. Degree-based edge removal produces an intermediate pattern: the curve stays flat at first but then exhibits a sharp drop once enough high-degree hub connections are severed, after which the giant component rapidly fragments. Operationally, this means that connectivity in the Astana bus network is not only concentrated in a few critical transfer stops (as in the node-removal analysis), but also concentrated in a small number of high-load inter-hub links. Disrupting those links, for example, corridors that connect major interchange areas, can split the system

into isolated clusters even if most stops themselves remain in service.

Table 2 – Resilience measure A-value for the PTN of Astana.

Remove Type	Value
Random node removal	27.9
Highest-degree node removal	10.9
Highest betweenness node removal	3.5
Random edge removal	47.3
Highest-degree edge removal	41
Highest betweenness edge removal	5.4

In this study, the integral measure A is used as an indicator of robustness, defined as the area under the $S(c)$ curve for a given removal scenario. Larger values of A indicate that the network preserves a substantial connected component over a wider range of perturbations. Using the results reported by von Ferber et al. for London and Paris as a benchmark, Astana under random node removal has a robustness value of 27.9, which is close to 29.31 for London and below 37.93 for Paris, implying that its loss of connectivity under random failures occurs at a rate comparable to London and faster than Paris. Under highest-degree node removal, the corresponding values are 10.9 for Astana, 10.77 for Paris and 5.45 for London, indicating that the removal of degree-based hubs is relatively less critical for Astana's network structure. In contrast, under highest-betweenness node removal Astana exhibits pronounced vulnerability: 3.5 compared to 8.71 for London and 10.67 for Paris, which shows that targeted removal of high-betweenness transfer nodes leads to rapid fragmentation of Astana's network.

For edge removal, Astana demonstrates a more moderate pattern: 47.3 under random edge removal, compared with 27.45 for London and 56.04 for Paris, and 41.0 under removal of edges incident to highest-degree nodes, compared with 20.95 for London and 47.12 for Paris. However, under removal of highest-betweenness edges the value for Astana drops to 5.4, while London and Paris retain substantially higher levels (27.2 and 55.93, respectively). This implies the presence of a small set of critical links in Astana's public transport network that act as structural bridges between major parts of the system. Once these bridge edges fail, the size of the largest connected component $S(c)$ declines sharply. Overall, the comparison suggests that Astana's network is comparable to London with respect to random failures and, in some scenarios, approaches the robustness of Paris, but it remains highly dependent on a limited number of transfer nodes and bridging links; targeted disruptions of these elements induce rapid fragmentation and constitute the principal vulnerability of the system.

Conclusion.

This study provided a comprehensive quantitative assessment of the structural robustness of Astana's bus transport network within the framework of complex network theory. By analyzing the effects of both random and targeted failures on nodes and edges, we identified critical structural dependencies that determine the system's overall resilience. The results demonstrate that while the network exhibits high tolerance to ran-

dom disruptions, comparable to that of major European networks such as London and Paris, it is highly vulnerable to targeted removals of high-betweenness nodes and bridge edges. These elements function as essential connectors between the left and right banks of the city and between major radial–arterial corridors. Their failure rapidly fragments the network, eliminating the “giant component” and severely reducing accessibility across districts (Sun et al., 2025).

The findings underscore the dual nature of Astana’s public transport topology: robust against random losses yet sensitive to localized structural failures at key transfer points and inter-hub corridors. This pattern reflects the city’s monocentric spatial organization and limited cross-river connectivity, which amplify the functional importance of a few high-load transfer hubs. From a planning perspective, the results emphasize the need to reinforce redundancy along bridge crossings, diversify alternative routes connecting peripheral zones and reconfigure transfer circuits to reduce overdependence on single high-betweenness nodes (Han et al., 2023).

Beyond its local relevance, this work contributes to the broader understanding of resilience in emerging urban transport systems under extreme climatic and spatial constraints (Gupta et al., 2024). The methodology combining L-space modeling, percolation-based robustness analysis and targeted failure simulation can be extended to multimodal or temporal networks. Future research could incorporate passenger flow data, temporal demand variations and dynamic adaptation mechanisms to further refine resilience planning for Astana’s evolving mobility system.

REFERENCES

- Cao, Y., Bu, X., & Zhang, J. (2025). Robustness evaluation of bus-subway composite network considering accessibility // *Scientific Reports*, 15(1), 10770. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95177-6> (in Eng.)
- Chen, S., Ji, X., Shao, H., Ma, J., & Hu, G. (2024). Evaluating the robustness of attributed dynamic bus-metro networks based on community reconstruction // *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 12(1), 2380909. <https://doi.org/10.1080/21680566.2024.2380909> (in Eng.)
- Cicchini, T., Caridi, I., & Ermann, L. (2024). Robustness of the public transport network against attacks on its routes // *Chaos, Solitons & Fractals*, 184, 115019. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2024.115019> (in Eng.)
- Derrible, S., & Kennedy, C. (2011). Applications of graph theory and network science to transit network design // *Transport reviews*, 31(4), 495–519. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.543709> (in Eng.)
- Furno, A., Faouzi, N.E.E., Sharma R. & Zimeo E. (2021). Graph-based ahead monitoring of vulnerabilities in large dynamic transportation networks // *PloS one*, 16(3), e0248764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248764> (in Eng.)
- Ge, L., Voß, S., & Xie, L. (2022). Robustness and disturbances in public transport // *Public transport*, 14(1), 191–261. <https://doi.org/10.1007/s12469-022-00301-8> (in Eng.)
- Gupta, S., Khanna, A., Talusan, J. P., Said, A., Freudberg, D., Mukhopadhyay, A., & Dubey, A. (2024, June). A Graph Neural Network Framework for Imbalanced Bus Ridership Forecasting // In *2024 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)* (pp. 14-21). IEEE. 10.1109/SMARTCOMP61445.2024.00024 (in Eng.)
- Han, Y., Feng, H., Li, K., & Zhao, Q. (2023). False data injection attacks detection with modified temporal multi-graph convolutional network in smart grids // *Computers & Security*, 124, 103016. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103016> (in Eng.)

Hassan, R., Yosri, A., Ezzeldin, M., & El-Dakhkhni, W. (2022). Robustness quantification of transit infrastructure under systemic risks: A hybrid network–analytics approach for resilience planning // *Journal of transportation engineering, Part A: Systems*, 148(10), 04022089. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000705> (in Eng.)

Huang, L., Huang, H., & Wang, Y. (2023). Resilience analysis of traffic network under emergencies: a case study of bus transit network. *Applied Sciences*, 13(15), 8835. <https://doi.org/10.3390/app13158835> (in Eng.)

Jia, G. L., Ma, R. G., & Hu, Z. H. (2019). Urban transit network properties evaluation and optimization based on complex network theory. *Sustainability*, 11(7), 2007. <https://doi.org/10.3390/su11072007> (in Eng.)

Jin, K., Wang, W., Li, X., Hua, X., & Qin, S. (2022). Exploring the robustness of public transportation system on augmented network: A case from Nanjing China // *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 608, 128252. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128252> (in Eng.)

Li, J. Y., Wang, H., & Teng, J. (2025). Revisit bus network robustness from the perspective of service-physical dependency // *Transportation Letters*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/19427867.2025.2470543> (in Eng.)

Mussone, L., & Notari, R. (2021). A comparative analysis of underground and bus transit networks through graph theory // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(3), 574-591. <https://doi.org/10.1177/2399808319879460> (in Eng.)

Pei, Y., Xie, F., Wang, Z., & Dong, C. (2024). Resilience Measurement of Bus–Subway Network Based on Generalized Cost // *Mathematics*, 12(14), 2191. <https://doi.org/10.3390/math12142191> (in Eng.)

Rahman, A. S., Magalingam, P., Kamaruddin, N. B., Samy, G. N., Maarop, N., & Perumal, S. (2020, May). Graph analysis study of a city bus transit network // *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1551, No. 1, p. 012004). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1551/1/012004>

Shanmukhappa, T., Ho, I. W. H., & Tse, C. K. (2018). Spatial analysis of bus transport networks using network theory // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 502, 295-314. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.111> (in Eng.)

Shi, Y., Li, C., Wang, W., & Hu, Y. (2025). State-Aware Graph Dynamics for Urban Transport Systems with Topology-Based Rate Modulation // *Mathematics*, 13(16), 2574. <https://doi.org/10.3390/math13162574> (in Eng.)

Sun, Y., Liu, Y., Liu, W., Zheng, Q., & Zhao, T. (2025). Optimization of Turn-Back Station Locations in Urban Rail Transit Networks Considering Disruption Uncertainty // *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 151(12), 04025105. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-9118> (in Eng.)

Tran, V. H., Cheong, S. A., & Bui, N. D. (2019). Complex network analysis of the robustness of the hanoi, vietnam bus network // *Journal of Systems Science and Complexity*, 32(5), 1251-1263. <https://doi.org/10.1007/s11424-019-7431-x> (in Eng.)

von Ferber, C., Berche, B., Holovatch, T., & Holovatch, Y. (2012). A tale of two cities: Vulnerabilities of the London and Paris transit networks // *Journal of Transportation Security*, 5(3), 199-216. <https://doi.org/10.1007/s12198-012-0092-9> (in Eng.)

Xiao, Y., Zhong, Z., & Sun, R. (2024). Analysis of topological properties and robustness of urban public transport networks // *Sustainability*, 16(15), 6527. <https://doi.org/10.3390/su16156527> (in Eng.)

Zhang, H. (2017). Structural analysis of bus networks using indicators of graph theory and complex network theory // *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1). <https://doi.org/10.2174/1874149501711010092> (in Eng.)

Zhang, L., Ma, X., Wang, H., Feng, M., & Xue, S. (2013). Modelling and optimisation on bus transport system with graph theory and complex network // *International journal of computer applications in technology*, 48(1), 83-92. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2013.055569> (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).