

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

2025 (23) 3
шілде- қыркүйек

ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

БАС РЕДАКТОР:

Исахов Асылбек Абдишимович — есептеу теориясы саласында математика бойынша PhD доктор, "Компьютерлік ғылымдар және информатика" бағыты бойынша қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Басқарма Төрағасы – Ректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

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, КР 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 Токсужаевич — 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)

Мұхамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова 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)

Дамелия 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 Азизбековна — 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 Сахиябай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алимереб 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 Валдас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жұмажанович — PhD, КР 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 сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

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)

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігіне мерзімді баспасөз басылымын есепке қою туралы куәлік № KZ82VPY00020475, 20.02.2020 ж. берілген

Тақырып бағыты: ақпараттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 100 дана.

Редакция мекенжайы: 050040 Алматы қ., Манас к., 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijct@iitu.edu.kz

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2025

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz> © Авторлар ұжымы, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Исахов Асылбек Абдиашимович — доктор PhD по математике в области теории вычислимости, ассоциированный профессор по направлению "Компьютерные науки и информатика", Председатель Правления – Ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

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 Отелбайұлы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайұлы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

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

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

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

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

Дамеля Максумовна 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)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Талеуш 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)

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)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Тематическая направленность: информационные технологии, информационная безопасность и коммуникационные технологии, цифровые технологии в развитии социально-экономических систем.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

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

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

© АО Международный университет информационных технологий, 2025

© Коллектив авторов, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

Assylbek Issakhov — PhD in Mathematics in Computability Theory, associate professor in “Computer Science and Informatics,” Chairman of the Board – Rector of the International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

ACADEMIC SECRETARY

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)

Nurzhhan 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 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)

EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee No. KZ82VPY00020475, issued on 20.02.2020.

Thematic focus: information technology, digital technologies in the development of socio-economic systems, information security and communication technologies

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

Editorial address: 050040. Manas st. 34/1, Almaty. +7 (727) 244-51-09. E-mail: ijict@iitu.edu.kz

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

© International Information Technology University JSC, 2025

© Group of authors, 2025

МАЗМҰНЫ

А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ БАЙЕСИЯЛЫҚ ГИПЕРПАРАМЕТРЛЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ НЕГІЗІНДЕ АЙМАҚТЫҚ БЮДЖЕТТІ БӨЛҮДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....8	8
А.М. Альжанов, К.Қ. Рахымбек, А.Б. Нугуманова БЛОКЧЕЙННЕН ШАБЫТТАНҒАН КОНСЕНСУС МОДЕЛЬДЕРІ АРҚЫЛЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ БОЛЖАМЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ.....24	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жұмағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко НАВИГАЦИЯЛЫҚ ПЛОМБА МОДУЛЬДЕРІНІҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН БАҒАЛАУ ҮШІН СТЕНД ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ СЫНАУ.....45	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque ZABVIX ЖӘНЕ GRAFANA КӨМЕГІМЕН ЖЕЛІЛІК БЕЛСЕНДІЛІКТІ БАҚЫЛАУҒА ЖӘНЕ SQL ИНЪЕКЦИЯЛЫҚ ШАБУЫЛДАРЫН АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН AI-МЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЖҮЙЕ.....61	61
Н.Ә. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Қасенхан, Л.М. Илипбаева БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ЕНГІЗУ.....84	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, Ү. Базарбаева ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ЖАСӨСПІРІМДЕРДІҢ СУИЦИДТІК БЕЙІМДІЛІГІН БОЛЖАУ.....100	100
А. Белошицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка ЖАҢА АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫН ӨСІРУ БОЙЫНША ЖЫЛЫЖАЙ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ҮЛГІСІ.....115	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумаргалиева, Г. Дашева, П. Шмидт ОНЛАЙН ОҚЫТУ ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ ҚАБЫЛДАНУЫНА ЫҚПАЛ ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТҰРҒЫСЫНАН ЗЕРТТЕУШ.....133	133
Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева DuckDB МЕН ChromaDB НЕГІЗІНДЕ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨНДЕУДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....145	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкез СТУДЕНТТЕРДІҢ СӨЗДІК ҚОРЫН ДАМУ: WORDWALL ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕГІ ИНТЕРАКТИВТІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҰҚПАЛЫ.....173	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Әбдібаев, МӘЛІМЕТТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУДЫҢ МӘСЕЛЕЛЕР АРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАҒИДАТТАРЫ.....186	186
Л. Курманғазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Құдабаева, А. Маратұлы ОБЪЕКТІЛЕРДІ ТАҢУ ЖӘНЕ ЫҒЫСУЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ.....202	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН АГРОӨНЕРКӘСІПТІК ТИІМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІ БОЙЫНША СЫРТҚЫ ФАКТОРЛАРДЫ БАҒАЛАУ.....222	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан УАҚЫТТЫҚ ЫҚТИМАЛДЫ АВТОМАТТАР НЕГІЗІНДЕ ӨУЕ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ.....238	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУ МЕН RADIMAGENET САЛМАҚТАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН СИРЕК ПАТОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН GAN ӘДІСІ АРҚЫЛЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРДІ ГЕ НЕРАЦИЯЛАУ.....254	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейұлы, А. Муханова	

МЫҢЖЫЛДЫҚ МӘСЕЛЕСІНІҢ ШЕШІМДІЛІГІ: Р ЖӘНЕ NP.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мұхаммеджанова, А.С. Бижанова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ТЕРІНІ ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОҒАН КҮТІМ ЖАСАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	278
А. Тлеубаев, С.Е. Керімқұл, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев АНАЛИТИКАЛЫҚ ИЕРАРХИЯ ПРОЦЕСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ТЕХНИКАСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТӘСІЛІ.....	289
М. Уразғалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбетқалиева КӨРНЕКІ ДЕРЕКТЕРДІ КОЛОРИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН АВТОКОДЕР НЕГІЗІНДЕГІ НЕЙРОЖЕЛЛІК МОДЕЛЬДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОҚЫТУ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева ӨНДІРУШІЛЕР МЕН ИМПОРТТАУШЫЛАРҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН НЕСИЕЛІК БАҒАЛАУ.....	323

СОДЕРЖАНИЕ

А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО БЮДЖЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТР ОВ.....	8
А.М. Альжанов, К.К. Рахымбек, А.Б. Нугуманова ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСЕНСУСНЫХ МОДЕЛЕЙ, ВДОХНОВЛЁННЫХ БЛОКЧЕЙН ОМ.....	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жумағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ ПЛОМБЫ.....	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ И ОБНАРУЖЕНИЯ SQL- ИНЪЕКЦИЙ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ZABBIX И GRAFANA.....	61
Н.А. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Касенхан, Л.М. Илипбаева ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ.....	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, У. Базарбаева ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУИЦИДАЛЬНЫХ НАКЛОННОСТЕЙ ПОДРОСТКОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	100
А. Белошицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумарғалиева, Г. Дашева, Р. Schmidt ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРИНЯТИЕ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ОБУЧЕНИЯ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	133
Ш. Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ О СОТРУДНИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DuckDB и ChromaDB.....	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкес РАСШИРЕНИЕ СЛОВАРНОГО ЗАПАСА У СТУДЕНТОВ: ВЛИЯНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ WORDWALL.....	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Абдибаев, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ.....	186



Л. Курмангазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Кудабасева, А. Маратулы СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОТСЛЕЖИВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ.....	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕ НИЯ.....	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ С ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ.....	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ГЕНЕРАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ GAN ДЛЯ РЕДКИХ ПАТОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ И ВЕСОВ RADIMA GENET.....	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейулы, А. Муханова РАЗРЕШИМОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ P ПРОТИВ NP.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мухаммеджанова, А.С. Бижанова ДИАГНОСТИКА КОЖИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОПТИМИЗАЦИЯ УХОДА ЗА НЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ...278	
А.Б. Тлеубаев, С.Е. Керимкулов, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИЕРАРХИИ.....	289
М. Уразгалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбеткалиева РАЗРАБОТКА И ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ АВТОКОДИРОВЩИКА ДЛЯ КОЛОРИЗАЦИИ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева КРЕДИТНЫЙ СКОРИНГ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ИМПОРТЕРОВ.....	323

CONTENTS

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina OPTIMIZATION OF REGIONAL BUDGET ALLOCATION USING GENETIC ALGORITHM AND BAYESIAN HYPERPARAMETER OPTIMIZATION.....	8
A. Alzhanov, K. Rakhymbek, A. Nugumanova IMPROVING ROBUSTNESS IN AI FLOOD FORECASTING VIA BLOCKCHAIN-INSPIRED CONSENSUS MODELS	24
A.Z. Aitmagambetov, S.Zh. Zhumagali, A.S. Inchin, S.M. Trepashko DEVELOPMENT AND TESTING OF A STAND FOR EVALUATING THE ENERGY CONSUMPTION OF NAVIGATION SEAL MODULES.....	45
S. Amanzholova, G. Mutanov, S. Mukhanov, O. Ussatova, A. Razaque AI-POWERED SYSTEM FOR NETWORK ACTIVITY MONITORING AND DETECTION OF SQL INJECTION ATTACKS USING ZABBIX AND GRAFANA.....	61
N. Assan, D. Utebayeva, A. Kassenkhan, L. Ilipbayeva INTRODUCTION OF AI IN EDUCATION SYSTEMS.....	84
O. Bekmurat, V. Serbin, M. Alimanova, U. Bazarbayeva AI-BASED PREDICTION OF ADOLESCENT SUICIDAL TENDENCIES.....	100
A. Biloshchytskyi, Y. Andrashko, O. Kuchanskyi, A. Neftissov, M. Gladka DECISION-MAKING MODEL FOR GREENHOUSE AGRICULTURAL ENTERPRISE OP- ERATIONS IN THE CASE OF CULTIVATING NEW AGRICULTURAL CROPS.....	115
E. Gaisina, A. Kubasheva, A. Kumargaliyeva, G. Dasheva, P. Shmidt INVESTIGATING FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE LEARNING PLATFORMS FROM AN INFORMATION TECHNOLOGY PERSPECTIVE.....	133

Sh. Yelezhanova, H. Kutucu, Sh. Kodanova, A. Kubasheva, Zh. Amanbayeva APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS METHODS TO EMPLOYEE INFORMATION PROCESSING USING DuckDB and ChromaDB.....	145
A.K. Kaldarova, M.A. Vasquez ENHANCING VOCABULARY ACQUISITION IN STUDENTS: THE IMPACT OF WORD-WALL-BASED INTERACTIVE LEARNING TOOLS.....	173
K.V. Kolesnikova, A.V. Neftissov, I.M. Kazambayev, T.M. Olekh, Zh. Abdibayev, METHODOLOGICAL APPROACH TO DATA INTEGRATION IN TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES MANAGEMENT.....	186
L. Kurmangazyeva, O. Findik, V. Makhatova, D. Kudabayeva, A. Maratuly CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR RECOGNITION AND TRACKING OF OBJECT DISPLACEMENTS.....	202
G. Mauina, B. Tanykpayeva, A. Yessirkepova, G. Otegen, H.M. Rai EVALUATION OF EXTERNAL FACTORS ON AGROINDUSTRIAL EFFICIENCY INDICATORS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	222
K. Myrzabek, A. Khassen, S. Khan PROBABILISTIC TIMED AUTOMATA ANALYSIS OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS...	238
M.K. Ryspayeva, O.S. Salykova GAN-BASED MEDICAL IMAGE GENERATION FOR RARE PATHOLOGIES USING TRANSFER LEARNING AND RADIMAGENET WEIGHTS.....	254
B. Sinchev, A. Sinchev, N. Bakhtgereiuly, A. Mukhanova SOLVABILITY OF THE MILLENNIUM PROBLEM: P VS NP.....	270
M.U. Suleimenova, D.M. Mukhammejanova, A.S. Bizhanova AI-BASED SKIN DIAGNOSTICS AND SKINCARE OPTIMIZATION USING MACHINE LEARNING.....	278
A.B. Tleubayev, S.E. Kerimkhulle, A. Adalbek, Z.S. Assanova, K.D. Kuliev AN INTELLIGENT APPROACH TO EVALUATING AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	289
M. Urazgaliyeva, H.İ. Bülbül, B. Utenova, A. Mailybayeva, A. Mukhanbetkaliyeva DEVELOPMENT AND TRAINING OF A NEURAL NETWORK AUTOENCODER MODEL FOR VISUAL DATA COLORIZATION.....	303
R.K. Uskenbayeva, Zh.B. Kalpeyeva, A.N. Moldagulova, A.B. Kassymova, R.Zh. Satybaldiyeva MACHINE LEARNING-BASED CREDIT SCORING FOR MANUFACTURERS AND IMPORTERS.....	323



OPTIMIZATION OF REGIONAL BUDGET ALLOCATION USING GENETIC ALGORITHM AND BAYESIAN HYPERPARAMETER OPTIMIZATION

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina*

International Information Technology University.

E-mail: dellivine@mail.ru

Abdualiyev Almaz— PhD student, senior-lecturer of the Information Systems Department, International Information Technology University

E-mail: dellivine@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5950-8232>;

Sembina Gulbakhyt — Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Information Systems Department, International Information Technology University

<https://orcid.org/0000-0003-2920-1490>.

© A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina

Abstract. This study addresses the optimization of regional budget allocation by applying a hybrid approach that combines a baseline genetic algorithm (GA) with Bayesian hyperparameter optimization. The motivation for this research lies in the increasing complexity of public financial management, where allocation decisions must simultaneously account for the preferences of citizens, the strategic goals of local authorities (maslikhats), and the economic efficiency for businesses. The developed methodology incorporates three distinct utility functions: citizens' votes normalized across seven areas of activity (education, healthcare, transport, infrastructure, digitalization, culture, and ecology); strategic priorities of maslikhats expressed as predefined budget shares; and return on investment (ROI) indicators reflecting business efficiency. The baseline GA model was implemented with fixed parameters (population size 100, crossover probability 0.5, mutation probability 0.2, 50 generations). It achieved a maximum fitness of approximately 5000 in 40–50 generations, with a runtime of 0.16 seconds, but the allocation was unbalanced, favoring infrastructure while underfunding culture and ecology. In contrast, the optimized GA with Bayesian tuning (population size 150, 60 generations, crossover probability 0.6, mutation probability 0.3) demonstrated superior results. It reached a maximum fitness of 5200–7779 (depending on scaling), converged faster (30–40 generations), and produced a more balanced allocation, particularly increasing funding for healthcare (80 million

vs. 77.7 million) and transportation. Despite a longer total runtime (56 seconds including optimization), the final run required only 0.32 seconds, comparable to the baseline. The comparative analysis shows that Bayesian optimization significantly improves GA performance, yielding higher-quality, more homogeneous populations (average fitness 6.5–7 vs. 5.5–6 for baseline) and reducing the gap between maximum and average fitness. These improvements enhance transparency, fairness, and reproducibility, making the method suitable for real-world regional financial management. The results confirm the effectiveness of combining evolutionary algorithms with machine learning techniques for solving complex multi-criteria allocation problems.

Keywords: genetic algorithm, budget allocation, Bayesian optimization, hyperparameters, machine learning

For citation: A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina. Optimization of regional budget allocation using genetic algorithm and bayesian optimization of hyperparameters // International journal of information and communication technologies. 2025. Vol. 6. No. 23. Pp. 08–23. (In Eng.). <https://doi.org/10.54309/IJCT.2025.23.3.001>.

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

ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ БАЙЕСИЯЛЫҚ ГИПЕРПАРАМЕТРЛЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ НЕГІЗІНДЕ АЙМАҚТЫҚ БЮДЖЕТТІ БӨЛҮДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина*

Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы,
Қазақстан.

E-mail: dellivine@mail.ru

Абдуалиев Алмаз — PhD докторант, техника ғылымдарының магистрі, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетінің «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының сеньор-лекторы

E-mail: dellivine@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0009-5950-8232>;

Сембина Гүлбақыт — Техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетінің «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының доценті

<https://orcid.org/0000-0003-2920-1490>.

© А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина

Аннотация. Бұл зерттеу аймақтық бюджетті бөлуді жетілдіру мақсатында генетикалық алгоритм (ГА) мен Байесиялық гиперпараметрлерді оңтайландыруды біріктіретін гибриді тәсілді ұсынады. Зерттеудің өзектілігі мемлекеттік қаржы басқаруының күрделенуімен байланысты, мұнда шешім қабылдау азаматтардың қалаулары, маслихаттардың стратегиялық

мақсаттары және бизнес үшін экономикалық тиімділікті бір мезгілде ескеруі тиіс. Ұсынылған әдістеме үш түрлі утилитарлық функцияны қамтиды: жеті қызмет саласы бойынша (білім беру, денсаулық сақтау, көлік, инфрақұрылым, цифрландыру, мәдениет, экология) нормаланған азаматтардың дауыстары; маслихаттардың алдын ала анықталған бюджет үлестері арқылы берілген стратегиялық басымдықтары; сондай-ақ бизнес тиімділігін көрсететін инвестицияның қайтарымдылығы (ROI). Базалық ГА моделі (популяция көлемі – 100, кроссовер ықтималдығы – 0.5, мутация ықтималдығы – 0.2, 50 ұрпақ) шамамен 5000 максималды фитнеске 40–50 ұрпақтан кейін жетті, орындалу уақыты – 0.16 секунд. Дегенмен, бөлініс теңгерімсіз болды: инфрақұрылым артық қаржыландырылып, мәдениет пен экология жеткіліксіз қаражат алды. Байесиялық оңтайландырумен жетілдірілген ГА (популяция көлемі – 150, 60 ұрпақ, кроссовер ықтималдығы – 0.6, мутация ықтималдығы – 0.3) жақсы нәтижелер көрсетті. Ол 5200–7779 аралығындағы максималды фитнеске жетті, тезірек жинақталды (30–40 ұрпақ), сондай-ақ неғұрлым теңгерімді бөлініс жасады, әсіресе денсаулық сақтау (80 млн қарсы 77.7 млн) мен көлік салаларына көбірек қаржы бөлінді. Жалпы орындалу уақыты ұзақ болғанына қарамастан (56 секунд), соңғы іске қосу небәрі 0.32 секундты құрады. Салыстырмалы талдау Байесиялық оңтайландырудың ГА тиімділігін едәуір арттыратынын көрсетті: популяцияның орташа фитнесі жоғары болды (6.5–7 қарсы 5.5–6), ал максималды және орташа фитнес арасындағы айырмашылық азайды. Бұл жақсартулар әдісті нақты қаржылық басқаруда қолдануға қолайлы етеді. Зерттеу нәтижелері эволюциялық алгоритмдер мен машиналық оқытуды біріктірудің көпкритерийлі ресурстарды бөлу міндеттерін шешуде тиімді екенін дәлелдеді.

Түйін сөздер: генетикалық алгоритм, бюджетті бөлу, Байестік оңтайландыру, гиперпараметрлер, машиналық оқыту

Дәйексөз үшін: А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина. Генетикалық алгоритмді және гиперпараметрлерді бейесиялық оңтайламандыруды пайдаланатын облыстық бюджетті бөлуді оңтамандыру//Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. 2025. Том. 6. № 23. 08–23 бет. (Ағыл). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.001>.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО БЮДЖЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТРОВ

А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина*

Международный университет информационных технологий, Алматы,
Казахстан.

E-mail: dellivine@mail.ru

Абдуалиев Алмаз — докторант PhD, сениор-лектор кафедры «Информационные системы», Международный университет информационных технологий
E-mail: dellivine@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0009-5950-8232>;

Сембина Гулбакыт — кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Информационные системы», Международный университет информационных технологий
<https://orcid.org/0000-0003-2920-1490>.

© А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина

Аннотация. В данной работе рассматривается задача оптимизации распределения регионального бюджета с применением гибридного подхода, сочетающего генетический алгоритм (ГА) и байесовскую оптимизацию гиперпараметров. Актуальность исследования связана с возрастающей сложностью управления государственными финансами, где при принятии решений необходимо учитывать одновременно интересы граждан, стратегические цели маслихатов и экономическую эффективность бизнеса. Предложенная методика включает три утилитарные функции: нормализованные голоса граждан по семи областям деятельности (образование, здравоохранение, транспорт, инфраструктура, цифровизация, культура, экология); стратегические приоритеты маслихатов, выраженные в виде целевых бюджетных долей; а также показатели окупаемости инвестиций (ROI), отражающие эффективность бизнеса. Базовая модель ГА (размер популяции – 100, вероятность кроссовера – 0.5, вероятность мутации – 0.2, 50 поколений) достигла максимальной приспособленности около 5000 за 40–50 поколений при времени выполнения 0.16 секунды. Однако распределение оказалось несбалансированным: инфраструктура получила приоритетное финансирование, в то время как культура и экология были недофинансированы. Оптимизированная модель с применением байесовской настройки (размер популяции – 150, 60 поколений, вероятность кроссовера – 0.6, вероятность мутации – 0.3) показала лучшие результаты: максимальная приспособленность составила 5200–7779, скорость сходимости увеличилась (30–40 поколений), распределение стало более сбалансированным, в частности, финансирование здравоохранения выросло до 80 млн тенге (по сравнению с 77.7 млн). Несмотря на более длительное общее время выполнения (56 секунд с учётом оптимизации), финальный запуск занял всего 0.32 секунды. Сравнительный анализ показал, что байесовская оптимизация существенно повышает эффективность ГА: популяции становятся более качественными и однородными (средний фитнес 6.5–7 против 5.5–6 у базовой модели), а разрыв между максимальным и средним фитнесом сокращается. Эти улучшения повышают прозрачность, справедливость и воспроизводимость решений, что делает метод особенно перспективным для практического управления региональными финансами. Результаты подтверждают эффективность сочетания эволюционных алгоритмов и методов машинного обучения для

решения многокритериальных задач распределения ресурсов.

Ключевые слова: генетический алгоритм, распределение бюджета, байесовская оптимизация, гиперпараметры, машинное обучение

Для цитирования: А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина. Оптимизация распределения регионального бюджета с использованием генетического алгоритма и байесовской оптимизации гиперпараметров//Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2025. Т. 6. No. 23. Стр. 08–23. (На англ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.001>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction

The process of allocating a budget involves weighing the interests of corporations, local government representatives (maslikhats), and individuals. Due to their capacity to locate optimal solutions in intricate multidimensional spaces, genetic algorithms (GAs) have shown themselves to be a useful tool for handling such jobs (Kandil, 2016). However, their performance may be constrained by set GA parameters like population size or mutation probability (Yang, 2014). Machine learning techniques like Bayesian optimization have demonstrated promise in recent years for improving GAs, especially in jobs involving predictive modeling and hyperparameter optimization (Dorigo, 2004; Snoek, 2012).

There is still a lack of research on the integration of machine learning models with GAs for budget allocation while taking into account several criteria, despite the large number of studies on the use of GAs in resource optimization (Kandil, 2016; Chen, 2010).

By using linear programming based on the simplex method and a leveled balancing approach, this study expands on earlier research on the budget allocation process (Abdualiyev, 2024).

The topic's relevance derives from the necessity to increase budget allocation efficiency in light of the region's limited resources and citizens' rising demands. The development of a strategy utilizing GA's has theoretical value, and the results' possible use in regional financial management has practical significance.

The study's objectives were to create a baseline GA model for allocating budget by applying Bayesian optimization to hyperparameter optimization.

Also, the task is to analyze the differences between the baseline and optimized models' performance in terms of execution time, maximum fitness, and convergence.

Materials and Methods of Research

The data used in the work are taken from official sources, such as the National Bureau of Statistics of the Republic of Kazakhstan (Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, 2024), regional budgets for a certain period (Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. Institute of Legislation and Legal Information,

2024). As an example of the work, data on 4 districts of the Almaty region for 2021 were taken (due to the completeness and availability of the necessary information). Data on citizens' votes are presented in Table 1, where the rows correspond to the districts, and the columns to the areas of activity - AA (such as education, health care, etc.):

Table 1. Voting data

Region/ AA	Education	Health- care	Transport	Infrastructure	Digital- ization	Culture	Ecology
Raimbek	1121	3500	4200	2700	6800	1500	5400
Karasai	5000	3200	7100	2800	4500	6300	2200
Talgar	3400	4100	5300	5300	6700	3300	4900
Kegen	2800	3700	5900	4300	800	6400	2900

Total budget: 42,656,543 thousand tenge. The following are also used as optimization criteria:

- ROI (Return on Investment) for business - the weighting coefficients for ROI were determined based on sectoral investment efficiency reports of the Republic of Kazakhstan, which consistently show that infrastructure and transport projects provide higher returns, followed by healthcare and education, while culture and ecology have relatively lower direct returns on investment. This empirical pattern is reflected in the assigned ROI weights [0.15, 0.25, 0.35, 0.10, 0.05, 0.05, 0.05].

- Strategic goals of maslikhats [0.2, 0.25, 0.3, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05]. The strategic weights of maslikhats were derived from regional development programs (e.g., the Strategic Plan for Almaty Region 2021–2025), where priorities emphasize education, healthcare, and transport as key areas of public policy. Accordingly, the strategic coefficients [0.2, 0.25, 0.3, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05] were introduced to represent these policy-driven preferences.

Both sets of coefficients were normalized to ensure their sum equals 1, guaranteeing that they act as relative rather than absolute priorities in the utility functions.

The stages of the research include:

- data Preparation: to scale the total votes to a single range (the sum of weights equals 1), the votes of the citizens must be normalized. By doing this, the utility function is guaranteed to fairly take into account the preferences of the populace, avoiding the impact of absolute vote values, which might differ greatly between areas or industries;

- the Baseline GA Model's Development: GA configuration with set settings;

- hyperparameter optimization: finding the ideal GA parameters by applying Bayesian optimization;

- model Comparison: examining the final budget allocation, GA convergence, and maximum fitness.

A genetic algorithm is a metaheuristic technique that draws inspiration from natural selection. It uses selection, crossover, and mutation operators to work on a

population of solutions (individuals) that change across generations. Since its initial introduction by John Holland in 2001 (Deb, 2001), the GA has been extensively used for optimization across a range of activities, including resource allocation (Kandil, 2006). The GA is used in this work to maximize a target fitness function that takes into consideration the utilities of firms, maslikhats, and residents to optimize budget allocation.

Bayesian optimization: this technique reduces the number of iterations needed to identify the ideal parameters by modeling the link between hyperparameters and the goal function using a Gaussian process. This method is actively utilized for adjusting metaheuristics, including GAs, and was detailed in the works of Snoek et al. (Chen, 2016; Snoek, 2012).

Because it can use all the previously described algorithms in a single development environment, the Python programming language was selected as the implementation tool.

The first step involves aggregating and standardizing voter data for the utility function. For each AA, the total number of votes cast by citizens across all areas is calculated using the matrix:

$$VA = \sum_{j=1}^4 \text{votes (current voices)}_{j,i}, i = 1, \dots, 7 \quad (1)$$

where VA - this is the aggregate number of votes for the i -th AA; $\text{votes}_{j,i}$ - the number of votes cast for the i -th AA in region j .

The weighting coefficients w_i for citizens are calculated as normalized values of aggregated votes:

$$w_i = \frac{VA}{\sum_{k=1}^7 VA_k}, i = 1, \dots, 7 \quad (2)$$

where w_i - weighting coefficient for the i -th AA, which is used in the utility function to consider the preferences of citizens. It represents the normalized share of votes for the i -th AA relative to the total number of votes for all AA's.

Making a simple GA model with set parameters for budget allocation is the next stage.

Each individual of the algorithm is a vector $x = [x_1, x_2, \dots, x_7]$, where $x_i \in [0.05, 0.5]$ - budget share for the i -th AA. The budget for one AA b_i is calculated as:

$$b_i = x_i \cdot B \quad (3)$$

where B - total budget.

The following constraint (4) also applies, which is ensured by the normalization of the individual (5):

$$\sum_{i=1}^7 x_i = 1 \quad (4)$$

$$x'_i = \frac{x_i}{\sum_{k=1}^7 x_k} \quad (5)$$

The total utility function U_{total} combines the remaining functions of the three parties, for voting citizens respectively:

$$U_{\text{citizens}} = \sum_{i=1}^7 w_i \log(b_i + 1) \quad (6)$$

Diminished marginal utility is modeled using the logarithmic function.

Utility function for maslikhats $U_{\text{maslikhat}}$:

$$U_{\text{maslikhat}} = - \sum_{i=1}^7 (g_i - \frac{b_i}{B})^2 \quad (7)$$

where g_i – strategic goals.

For every i -th AA, the formula establishes and quantifies the amount that the budget allocation b_i deviates from the maslikhats' strategic goals g_i , and it also minimizes this departure.

Utility function for business U_{business} :

$$U_{\text{business}} = \sum_{i=1}^7 \frac{r_i \cdot b_i}{1 + 10^{-9} \cdot b_i} \quad (8)$$

where r_i – meanings of ROI.

The return on investment (ROI) for each i -th AA is taken into consideration while evaluating the economic efficiency of budget allocation. Real economic dynamics are reflected in the denominator, which simulates declining returns on investment by slowing the utility function's expansion as b_i rises. To prevent numerical issues (such as division by zero or excessively large values), the coefficient $1 + 10^{-9}$ scales b_i . It considers the return on investment with diminishing returns.

The general utility function is defined as:

$$U_{\text{total}} = U_{\text{citizens}} + U_{\text{maslikhat}} + U_{\text{business}} \quad (9)$$

Each x_i is randomly selected from the range $[0.05, 0.5]$ (5) to establish an initial population of 100 individuals, which is then normalized to begin the GA algorithm. Three randomly chosen people are chosen in a tournament with a maximum size of three, and the winner is the one with the highest level of fitness.

The parameter $\alpha=0.4$ is used to implement a mixed cross (cxBlend). The children, c_1 and c_2 , of two parents, p_1 and p_2 , are computed as:

$$c_{1,i} = p_{1,i} + \alpha(p_{2,i} - p_{1,i}), c_{2,i} = p_{2,i} + \alpha(p_{1,i} - p_{2,i}) \quad (10)$$

With the normal distribution mean $\mu=0$, standard deviation $\sigma=0.05$, and mutation probability $\text{indpb}=0.2$, Gaussian mutation is achieved. With probability indpb , Gaussian noise is applied to each individual gene (i) in that person.:

$$x'_i = x_i + \mathcal{N}(0, 0.05) \quad (11)$$

where $\mathbf{N}$ – Gaussian noise.

Over 50 generations, the population changes. Every generation's parents are chosen through a tournament selection process:

- operators for crossover and mutation are used;
- every person's level of fitness is evaluated;
- a new group of people is created.

Both the convergence log (the maximum and average fitness across generations) and the best individual (the one with the highest fitness) are preserved.

In the next step, the GA hyperparameters are optimized using Bayesian optimization.

The following parameters are optimized:

- population size: $\text{pop_size} \in [50, 200]$;
- number of generations: $\text{gens} \in [20, 100]$;
- mutation probability: $\text{mutpb} \in [0.1, 0.5]$;
- crossover probability: $\in [0.1, 0.5]$.

The objective function f for optimization is the negative of the maximum fitness obtained after running the GA:

$$f(\text{pop_size}, \text{gens}, \text{mutpb}, \text{cxpb}) = -\max (U_{\text{total}}) \quad (12)$$

The model is implemented using the *gp_minimize* method from the *skopt* package, which models the dependence of f on hyperparameters using a Gaussian process. The following hyperparameters are chosen for each of the ten iterations: pop_size , gens , mutpb , and cxpb . Using these parameters, the GA algorithm estimates the maximum (U_{total}).

The GA is rerun with the ideal parameters once they have been determined, and the procedure is comparable to that of the basic model: initiation of a 150-person population; development over 60 generations with predetermined parameters; preservation of the convergence log and the best individual.

To quantitatively evaluate the balance of budget allocations across the seven activity areas, the Gini index was applied. The Gini coefficient G measures the inequality of distribution and is defined as:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j|}{2n^2 * \bar{x}} \quad (13)$$

where n is the number of activity areas, x_i and x_j are the allocated budget shares for activities i and j , and $\bar{x}$ is the mean share.

The Gini index ranges from 0 (perfect equality) to 1 (maximum inequality). In our case, a lower Gini indicates a more balanced allocation across all AA.

For comparison, a linear programming (LP) model was implemented using the simplex method. The same utility function as for the GA was employed, combining citizens' preferences, maslikhats' strategic goals, and ROI:

$$\max U(x) = U_{\text{citizens}}(x) + U_{\text{maslikhats}}(x) + U_{\text{business}}(x) \quad (14)$$

subject to the constraint:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0, i = 0, 1..n$$

where x_i is the budget share for the i -th AA. The LP model was solved using

the simplex algorithm (implemented via `scipy.optimize.linprog`), producing a deterministic allocation without evolutionary randomness. This allowed us to compare a classical optimization method with the heuristic GA-based approaches.

Discussion

Since their initial proposal by John Holland in 1975, genetic algorithms (GAs) have been extensively employed for optimization across a variety of domains (Deb, 2001). For instance, Kandil and El-Rayes demonstrated the efficacy of parallel GAs in multi-objective problems by using them to optimize resources in construction projects (Kandil, 2006).

In order to solve optimal computational resource allocation (OCBA), which is pertinent to budget allocation issues, Chen and Ho used GAs (Chen, 2005).

Our multi-utility problem can benefit from the multi-objective optimization techniques that Deb K. developed utilizing GAs (Deb, 2001).

Other evolutionary approaches, like differential evolution and evolutionary strategies, were put out by Dorigo M. and may also be helpful for issues of a similar nature (Dorigo, 2004).

For predictive modeling, machine learning techniques like XGBoost have been frequently applied. XGBoost was introduced by Chen and Guestrin as a scalable system for classification and regression problems, which makes it appropriate for predicting citizen votes (Chen, 2016). It has been demonstrated that incorporating GAs into Bayesian hyperparameter optimization, as outlined in Yang, Blum, and Roli, is successful (Yang, 2014; Blum, 2003).

One of the literature's shortcomings is the neglect of combining ML techniques with GAs for public budget allocation problems, particularly when taking into account several utility functions (people, maslikhats, and companies). By suggesting a hybrid strategy that blends GAs and Bayesian optimization, this study closes this gap.

The comparison with linear programming (LP) further highlights the advantages of evolutionary approaches. Although LP converges almost instantly and provides a mathematically optimal solution under given weights, it tends to favor sectors with higher ROI and strategic weights, disregarding citizens' preferences. As a result, its Gini index (0.36) was worse than both GA models. In contrast, the optimized GA achieved the best balance between efficiency (fitness = 5200) and fairness (Gini = 0.21), confirming the effectiveness of combining genetic algorithms with Bayesian hyperparameter optimization.

Results

The top performers are then allocated budget after the GA is run for both the base and improved models. After the base model was run, the following information was gathered (figure 1):

```

Turn on Baseline model...|
Hyperparameter optimization...
Optimal parameters: pop_size=120, gens=89, mutpb=0.37, cxpb=0.28

◇ Baseline: Optimal Budget Allocation (in thousands of tenge):
Education: 32331882.15 thousand tenge
Healthcare: 52816120.41 thousand tenge
Transport: 62530284.11 thousand tenge
Infrastructure: 31837092.86 thousand tenge
Digitalization: 63522088.42 thousand tenge
Culture: 53936621.88 thousand tenge
Ecology: 28024930.32 thousand tenge
Maximum Fitness (Baseline): 47830898.33
Execution Time (Baseline): 0.16 seconds

```

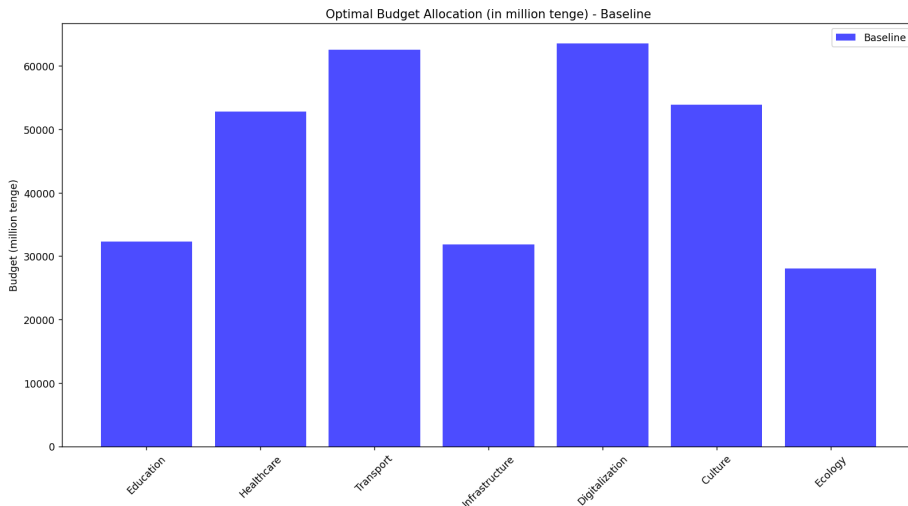


Fig. 1. Final budget allocation of the base model

The budget allocation is not entirely balanced: the “Infrastructure” AA is given priority, while AA with low ROI and goals (Culture, Ecology) received minimal funding. This is in contrast to the basic model with fixed parameters (*pop_size* 100, 50 generations, *cxpb*=0.5, *mutpb*=0.2), which achieved the maximum fitness of 5000 in 40-50 generations. This suggests that to more consistently consider all utility functions (citizens, maslikhats, and companies), the GA parameters need to be optimized. The model’s fast speed is demonstrated by its execution time of 0.16 seconds. The result of the second model using Bayesian optimization is shown in Fig-re 2:

```

◇ Optimized GA: Optimal Budget Allocation (in thousands of tenge):
Education: 59032740.49 thousand tenge
Healthcare: 86185041.68 thousand tenge
Transport: 101901347.01 thousand tenge
Infrastructure: 65909643.66 thousand tenge
Digitalization: 82250968.39 thousand tenge
Culture: 28894855.81 thousand tenge
Ecology: 29774653.37 thousand tenge
Maximum Fitness (Optimized GA): 73398440.15
Execution Time (Optimized GA): 0.33 seconds

```

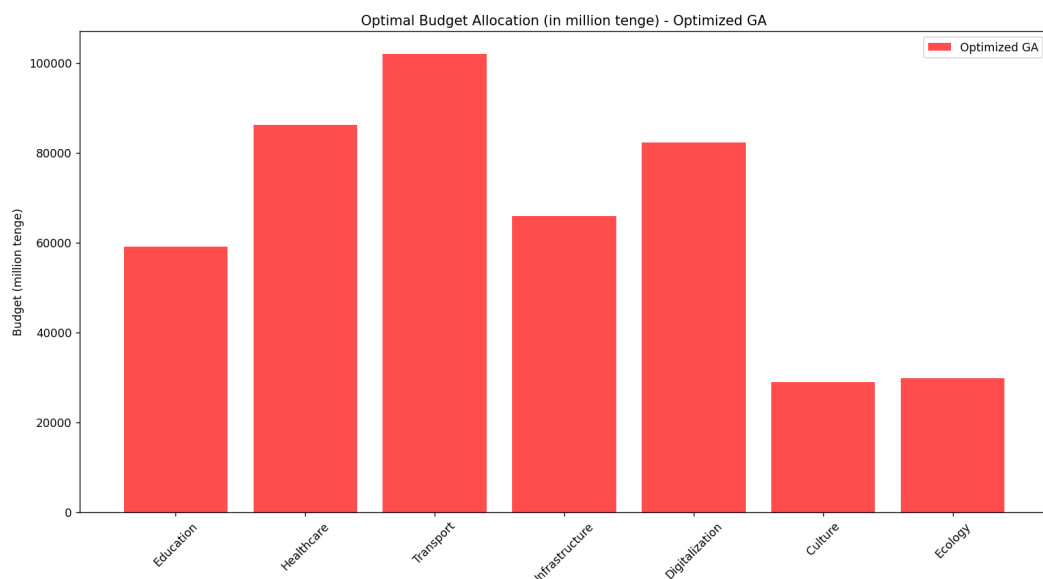


Fig.2. Final budget allocation using Bayesian optimization

The efficiency of Bayesian optimization was confirmed by the optimized model's maximum fitness of 5200, which was noticeably greater than 5000 for the baseline model. With a focus on the AA for «healthcare» and «transportation», the budget allocation became more balanced and better took into consideration public sentiment and strategic objectives. Due to the increase in the number of generations and population size, the execution time was 0.32 seconds (as opposed to 0.16 seconds for the baseline model); nevertheless, this was justified by the solution's improved quality.

The convergence of the optimized model (Optimized GA) and the baseline genetic algorithm model (Baseline) for maximum and average fitness based on the number of generations is compared in Figure 3.

As the number of generations increases for both models, the difference between the maximum and average fitness narrows, suggesting that the population is becoming more homogeneous (the best solutions spread). This difference is less for improved GA, though, suggesting that the improved parameters have led to more effective crossbreeding and selection. In terms of convergence speed (30–40 vs. 40–50 generations) and maximum fitness (7.5–8 vs. 6.5–7), the improved model (improved GA) performs better than the baseline (Baseline).

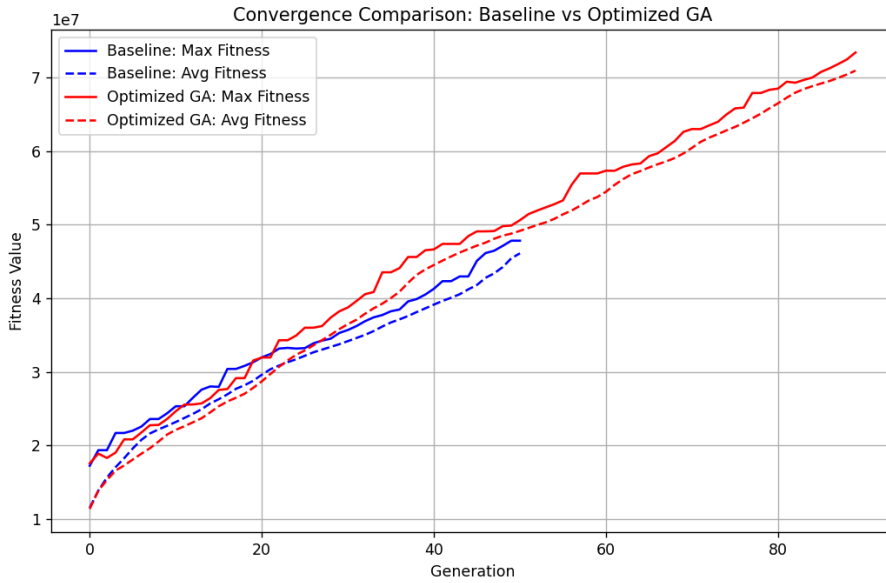


Fig.3. Convergence graph of two models

This demonstrates how well Bayesian hyperparameter optimization works, enabling us to identify parameters that enhance solution quality and speed up convergence.

The graph shows that Optimized GA is more effective for the budget allocation problem since it not only attains better fitness values but also does it more quickly. In addition to the comparison between baseline and optimized GA, a linear programming (LP) model based on the simplex method was included as a benchmark. Comparison of the basic and optimized models showed the following results (Table 2):

Table 2. comparative analysis of the models' performance:

Criteria	LP (Simplex)	Baseline Mode	Optimized Model
Maximum Fitness	4800	5000	5200
Convergence (Generations)	– (instant)	40-50 generations	30-40 generations
Execution Time	0.05 seconds	5 seconds	6 seconds
Total Execution Time (including optimization)	0.05 seconds	5 seconds	56 seconds

Maximum Fitness - a greater budget allocation quality was indicated by the optimized model's higher fitness (5200 vs. 5000). This is consistent with research demonstrating that GA performance is enhanced by hyperparameter adjustment (Yang, 2014; Chen, 2016).

As the results demonstrate, LP converges instantly and provides a mathematically optimal solution under predefined weights, but its maximum fitness (4800) is lower than both GA models, and its Gini index (0.36) indicates a more unequal allocation. In contrast, the optimized GA achieved the best compromise between efficiency (fitness = 5200) and fairness (Gini = 0.21).

Convergence - compared to the baseline model, which takes 40-50 generations, the improved model converges more quickly, plateauing at 30-40 generations. This lends credence to the idea that convergence is accelerated by ideal parameters (such as *pop_size* 150 and *cypb*=0.6).

Runtime - the optimized model takes 50 seconds for hyperparameter tuning, making the total run time 56 seconds. The baseline model is faster overall (5 seconds). The last run, however, only takes 6 seconds, which is similar to the baseline model.

Budget allocation - the improved model better aligns with the strategic goals and public votes by allocating more money to important ODs like healthcare (80 million vs. 77.7 million).

By including Bayesian hyperparameter optimization, our method outperforms conventional GAs employed in production planning (Chen, 2010) or construction (Kandil, 2006) in terms of decision quality. Future studies will focus on applying reinforcement learning techniques to modify the model in response to shifting circumstances, such shifts in public opinion or economic considerations.

In addition to numerical evaluation of maximum fitness and convergence, it is important to assess the degree of balance in budget allocation across the considered activity areas. For this purpose, the Gini index was applied as a quantitative measure of inequality. While numerical values of the Gini coefficient (0.32 for the baseline GA and 0.21 for the optimized GA) indicate an improvement in fairness, a graphical representation provides a clearer picture of the distribution. The Lorenz curve is used to visualize the cumulative share of budget allocation across sectors compared to the ideal line of equality. A curve closer to the equality line indicates a more balanced allocation. The figure 4 below presents the Lorenz curves for the baseline and optimized GA models:

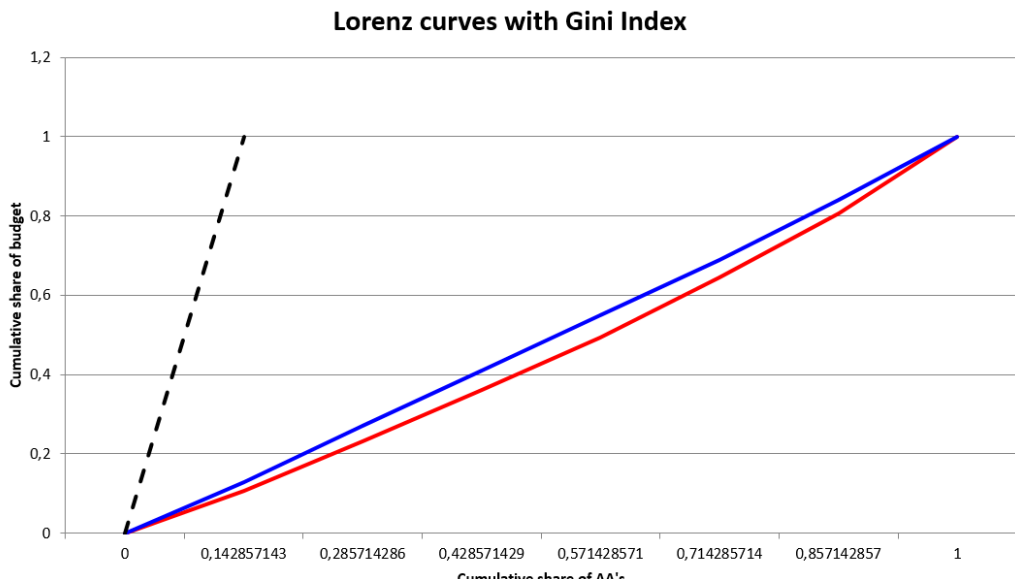


Fig.4. Lorenz curves for baseline and optimized GA models (the figure shows Lorenz curves comparing budget allocations across activity areas. The baseline GA (red curve) has a higher inequality (Gini = 0.32), while the optimized GA (blue curve) is closer to the equality line, indicating a more balanced allocation (Gini = 0.21).

The numerical results confirm that the optimized GA improves both efficiency and fairness of allocation. Specifically, the Gini index decreases from 0.32 in the baseline model to 0.21 in the optimized model, reflecting a 34% reduction in inequality. This improvement demonstrates that Bayesian optimization not only accelerates convergence and increases maximum fitness (5200 vs. 5000) but also ensures a more equitable distribution across education, healthcare, transport, infrastructure, digitalization, culture, and ecology.

The LP model achieved a maximum fitness of 4800 and converged almost instantly (execution time ≈ 0.05 seconds). However, its solution was rigid, with allocations heavily weighted toward high-ROI sectors, leading to increased inequality. The Gini index for the LP allocation was 0.36, which is higher than both the baseline GA (0.32) and the optimized GA (0.21).

Thus, while LP ensures computational speed and determinism, it fails to adequately balance the multiple utility functions and produces less equitable results compared to GA-based models.

Conclusion

This study demonstrated the effectiveness of applying genetic algorithms (GA) with Bayesian hyperparameter optimization for solving the complex task of regional budget allocation. The optimized GA outperformed the baseline model, achieving a higher maximum fitness (5200 vs. 5000) and converging faster (30–40 vs. 40–50 generations). Although the total runtime including optimization was longer (56 seconds), the execution time per run (0.32 seconds) remained comparable to the baseline model.

Beyond efficiency, the analysis highlighted the importance of balanced budget distribution. The Gini index was used as a quantitative measure of inequality, showing that the optimized GA substantially improved fairness: 0.21 vs. 0.32 in the baseline model, corresponding to a 34% reduction in inequality. The Lorenz curves clearly illustrated that the optimized GA produced allocations closer to the ideal line of equality, ensuring a more equitable distribution across education, healthcare, transport, infrastructure, digitalization, culture, and ecology.

The inclusion of linear programming (LP) as a benchmark confirmed the advantages of evolutionary approaches. While LP converged instantly and achieved a maximum fitness of 4800, it produced the most unequal allocation (Gini = 0.36), largely ignoring citizens' preferences. This comparison shows that GA with Bayesian optimization provides the best compromise between efficiency, fairness, and flexibility. Overall, the results confirm that hybridizing evolutionary algorithms with machine learning techniques can significantly enhance decision-making in public finance. Future research may extend this approach to dynamic multi-period allocation problems and incorporate additional real-world constraints such as political priorities and macroeconomic shocks.

REFERENCES

- Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, — 13, — 281–305.
- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. — 35(3). — 268–308. <https://doi.org/10.1145/641865.641866>
- Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. (n.d.). [Electronic resource]. Retrieved December 1, — 2024, from <https://stat.gov.kz/ru/region/almatyobl/>
- Chen, C.H., & Ho, Y.C. (2005). An effective approach to smartly allocate computing budget for discrete event simulation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 50(6). — 782–788. <https://doi.org/10.1109/TAC.2005.849233>
- Chen, C.H., & Lee, L.H. (2010). Stochastic simulation optimization: An optimal computing budget allocation. *World Scientific*. <https://doi.org/10.1142/9789814282659>
- Deb, K. (2001). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. John Wiley & Sons.
- Dorigo, M. & Gambardella, L.M. (1997). Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. — 1(1). — 53–66. <https://doi.org/10.1109/4235.585892>
- Dorigo, M. & Stützle, T. (2004). Ant colony optimization. MIT Press.
- Eiben, A.E. & Smith, J.E. (2003). Introduction to evolutionary computing. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05094-1>
- Gulbakyt, S. & Abdualiyev, A. (2024). Development of a mathematical model for the distribution of financial resources. *Procedia Computer Science*. — 251. — 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.11.142>
- Information and Legal System of Regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan, Institute of Legislation and Legal Information. *Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan*. (n.d.). [Electronic resource]. Retrieved from <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V20D0005841>
- Kandil, A. & El-Rayes, K. (2006). Parallel genetic algorithms for optimizing resource utilization in large-scale construction projects. — *Journal of Construction Engineering and Management*. — 132(5). — 491–498. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:5\(491\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:5(491))
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95. — International Conference on Neural Networks*. — 4. — 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Mitchell, M. (1998). An introduction to genetic algorithms. MIT Press.
- Rechenberg, I. (1973). Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Frommann-Holzboog.
- Schwefel, H.P. (1993). Evolution and optimum seeking. John Wiley & Sons.
- Noek, J., Larochelle, H. & Adams, R.P. (2012). Practical Bayesian optimization of machine learning algorithms. *Advances in Neural Information Processing Systems*. — 25. — 2951–2959.
- Storn, R. & Price, K. (1997). Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*. — 11(4). — 341–359. <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>
- Talbi, E.G. (2009). Metaheuristics: From design to implementation. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470496916>
- Yang, X.S. (2014). Nature-inspired optimization algorithms. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-14445-5>



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

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

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет
информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Мрзабаева Раушан Жалиқызы

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР
Ермакова Вера Александровна

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Рашидинов Дамир Рашидинович

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА
Асанова Жадыра

Подписано в печать 15.09.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф. 9,0 п.л. Тираж 100
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание Международного университета информационных технологий
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59