ISSN: 2224-5227 (Print)
ISSN: 2518-1483 (Online)

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

№4
2025

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

4 (356)

OCTOBER – DECEMBER 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

CHIEF EDITOR:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate **№ KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area*: information and communication technologies.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2025

БАС РЕДАКТОР:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген **№ KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964, https://www.webofscience.com/wos/author/record/142 3665

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594, https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200, https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600, https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864,https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321, https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952, https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935, https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462

Academic Scientific Journal of Computer Science
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания **№ KZ77VPY00121154.** Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

CONTENTS

B. Assanova, Zh. Moldasheva, A.T. Kishubaeva
Decision support system structure and blocks for selecting efficient delayed coking modes.....11

Zh.T. Abildayeva, R.K. Uskenbayeva, G.S. Beketova, N.B. Konyrbaev, S.B. Seydazimov
Multi-criterion optimization of advertising budget allocation in the agro-industrial complex based on NSGA-III algorithm.....26

A.O. Aliyeva, B.S. Omarov, R.B. Abdrakhmanov, D.R. Sultan, A.B. Toktarova
Neural network model for automatic detection of Kazakh-language hate speech.....40

O. Auyelbekov, E. Bostanov, S. Sapakova, L. Tukenova, A. Kozhagul
Modeling and analysis of a generator with permanent and variable magnets.....55

G. Autova, G. Nurtayeva, E. Zulbukharova, G. Yeleussizova, R. Zhumabekova
Theoretical foundations of interdisciplinary integration of physics and computer science.....73

A.Zh. Akhmetova, M.A. Kantureyeva, A.A. Abisheva, A. Aubakirova, A.A. Shekerbek
Analysis of the social network user's enviroment.....89

A.Sh. Barakova, K.S. Shadinova, A.S. Orynbaeva, G. Sugurzhanova
Design of a model for protecting a website's authentication data and content based on blockchain technology.....102

A.N. Zhidebayeva, G.U. Madaliyeva, B.O. Tastanbekova, S.S. Karzhaubekova, G.S. Shaimerdenova
Deep neural network Conv-LSTM for ECG-based cardiac disorder identification.....122

N.M. Zhunissov, A.B. Aben, A.B. Amanzholova
The fraud detection model in text messages.....138

A. Issakhov, A. Alzhanov, A. Akhmedov, A. Amanzholov, T. Murat
Numerical simulation of thermohydrodynamics during heated water discharge into Lake Balkhash.....152

Z. Kaderkeyeva, B. Razakhova, G. Bekmanova, A. Nazyrova, M. Zhasuzakova
Q-Bilim: an intelligent system for assessing learning outcomes based on competencies.....171

N. Karymsakova, A. Boltaboyeva, D. Turmakhanbet, M. Maulenbekov, T. Abdirova
Unsupervised learning for the identification of critical conditions in renewable energy production.....184

A.Kulakayeva, E.Daineko, B. Medetov, A. Nurlankyzy
Evaluation of the effectiveness of modern neural network architectures for VAD under low snr ratio conditions.....203

B. Orazbayev, A. Zhumadillayeva, K. Orazbayeva, R. Yessirkessinov, Zh. Tuleuov
Development of models of sulfur production processes based on artificial neural networks and simulation.....216

L. Rzayeva, A. Ryzhova, M. Zhaparkhanova, A. Myrzatay, Zh. Kozhakhmet
A new LSTM-based web application for automated password strength evaluation.....234

D. Sagidoldin, A. Zhetpisbayeva, B. Zhumazhanov, B. Zhumazhanov
Increasing the reliability of data transmission from small spacecraft using SDR equipment.....259

A.N. Seraly, A.D. Mekhtiyev, G.Z. Ziyatbekova, K.B. Begalieva, R.A. Mekhtiyev
Development of hardware for monitoring optical parameters.....274

A.A. Taurbekova, M.V. Markosyan
Development and implementation of a computational model of magmatic processes in the bowls of the Earth and on its surface.....288

K. Chezhimbayeva, A. Mukhamejanova, Y. Garmashova
Fuzzy-logic-based expert system for predicting QoS in 5G networks.....306

МАЗМҰНЫ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева
Баяу кокстеу қондырғысы үшін тиімді жұмыс режимдерін таңдауға шешім қолдау жүйесі құрылымы.....11

Ж.Т. Әбілдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Қоңырбаев, С.Б. Сейдазимов
NSGA-III алгоритмі негізінде агроөнеркәсіптік кешендегі жарнамалық бюджетті бөлуді көп критериалды оңтайландыру.....26

А.О. Әлиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Тоқтарова
Қазақ тіліндегі дискриминацияны автоматты анықтауға арналған нейрондық желілік моделі.....40

О. Әуелбеков, Е. Бостанов, С. Сапақова, Л. Түкенова, А. Қожағұл
Тұрақты және айнымалы магниттері бар генераторды модельдеу және талдау.....55

Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зульбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жұмабекова
Физика мен информатика пәндерінің пәнаралық интеграциясының теориялық негіздері.....73

А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек
Әлеуметтік желі қолданушыларының ортасын талдау.....89

А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова
Блокчейн технологиясы негізінде веб сайттың аутентификациялық деректері мен өнімін қорғау моделін құрастыру.....102

А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Қаржаубекова, Г.С. Шаймерденова
Жүрек ауруларын анықтауда Conv-LSTM архитектурасына негізделген терең нейрондық желі.....122

Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, Ә.Б. Аманжолова
Мәтіндік хабарламалардағы алаяқтықты анықтау моделі.....138

А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат
Балқаш көліне жылы су ағызу кезіндегі термогидродинамиканы сандық модельдеу.....152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасұзақова
Q-Bilim: құзыреттерге негізделген оқу нәтижелерін бағалауға арналған интеллектуалды жүйе.....171

Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова
Жаңартылатын энергия өндірісіндегі критикалық режимдерді анықтауға арналған мұғалімсіз оқыту.....184

А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы
Сигнал/шуыл қатынасы төмен жағдайларда заманауи нейрондық желілік VAD архитектураларының тиімділігін бағалау.....203

Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов
Күкірт өндіру процесстерінің модельдерін жасанды нейрондық желілер негізінде әзірлеу және модельдеу.....216

Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожахмет,
Құпиясөздің беріктігін автоматты бағалауға арналған LSTM негізіндегі жаңа веб-қосымша.....234

Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов
SDR жабдықтарын пайдалану арқылы, шағын ғарыш аппараттарынан деректерді берудің сенімділігін арттыру.....259

А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев
Оптикалық параметрлерді бақылауға арналған аппараттық құрылғыны әзірлеу.....274

А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян
Жер көзіндегі және оның бетіндегі магматтық процестердің есептік моделін әзірлеу және енгізу.....288

К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова
Айқын емес логика негізінде 5G желілеріндегі QoS болжау эксперттік жүйесі.....306

СОДЕРЖАНИЕ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева
Структура и функциональные блоки системы поддержки решений для выбора режимов замедленного коксования.....11

Ж.Т. Абилдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Конырбаев, С.Б. Сейдазимов
Многокритериальная оптимизация распределения рекламного бюджета в апк на основе алгоритма NSGA-III.....26

А.О. Алиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Токтарова
Нейросетевая модель для автоматического обнаружения дискриминации в казахском языке.....40

О. Ауельбеков, Е. Бостанов, С. Сапакова, Л. Тукенова, А. Кожагул
Моделирование и анализ генератора с постоянными и переменными магнитами.....55

Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зульбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жумабекова
Теоретические основы междисциплинарной интеграции физики и информатики.....73

А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек
Анализ окружения ползователей социальной сети.....89

А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова
Разработка модели защиты аутентификационных данных и контента веб-сайта на основе технологии блокчейн.....102

А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Каржаубекова, Г.С. Шаймерденова
Глубокая нейронная сеть на основе архитектуры Conv-LSTM для выявления сердечных заболеваний.....122

Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, А.Б. Аманжолова
Модель обнаружения мошенничества в текстовых сообщениях.....138

А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат
Численное моделирование термогидродинамики при сбросе подогретых вод в озеро Балхаш.....152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасузакова
Q-Bilim: интеллектуальная система оценки результатов обучения на основе компетенций.....171

Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова
Обучение без учителя для выявления критических режимов в производстве возобновляемой энергии.....184

А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы
Оценка эффективности современных нейросетевых архитектур VAD при низком отношении сигнал/шум.....203

Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов
Разработка моделей процессов производства серы на основе искусственных нейронных сетей и моделирование.....216

Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожахмет
Новое веб-приложение на основе LSTM для автоматизированной оценки надежности паролей.....234

Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов
Повышение надёжности передачи данных с малых космических аппаратов с применением SDR оборудования.....259

А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев
Разработка аппаратного средства для контроля оптических параметров.....274

А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян, Н.Т. Карымсакова
Разработка и реализация вычислительной модели магматических процессов в недрах земли и на её поверхности.....288

К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова
Экспертная система прогнозирования QoS в 5G-сетях на основе нечеткой логики.....306

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 4. Namber 356 (2025). 216–233

https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.393

IRSTI 52.35.01
UDC 665.61.7: 519.873

© B. Orazbayev[1], A. Zhumadillayeva[1*], K. Orazbayeva[2], R. Yessirkessinov[3], Zh. Tuleuov[4], 2025.

[1] L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;
[2] Esil university, Astana, Kazakhstan;
[3] Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;
[4]Atyrau refinery, Atyrau, Kazakhstan.
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

DEVELOPMENT OF MODELS OF SULFUR PRODUCTION PROCESSES BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND SIMULATION

Orazbayev Batyr — doctor of technical sciences, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: batyr_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2109-6999;
Zhumadillayeva Ainur — candidate of Technical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1042-0415;
Orazbayeva Kulman — doctor of technical sciences, professor, Esil University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: kulman_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1741-7553;
Yessirkessinov Ramazan. **—** student of the Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: r_yessirkessinov@kbtu.kz, https://orcid.org/0009-0003-1912-1013;
Tuleuov Zhasulan — Senior Operations Coordinator, Coke and Sulfur Production, Atyrau Oil Refinery, Atyrau, Kazakhstan,
E-mail: zh.tuleuov@anpz.kz, https://orcid.org/0000-0003-2353-2416

Abstract. Today, in Kazakhstan, as in other oil-producing countries, the share of high-sulfur crude oil production is increasing. In this regard, enhancing the efficiency of sulfur production processes from harmful sulfur-containing gases released during oil refining, which produce a useful and necessary product for many industries, is a highly relevant scientific and practical task. This study aims to improve the efficiency of sulfur production processes by modeling them using one of the artificial intelligence methods -artificial neural networks. To create an adequate mathematical model of the sulfur production process at the Atyrau Oil Refinery (AOR), it is proposed to use neural network technology. In this work, a hierarchical multilayer neural network model was developed for effectively modeling the sulfur production plant under conditions of uncertainty and limited initial data. The Python programming language and its necessary tools were chosen

and justified for implementing the neural model. An iterative gradient algorithm based on the backpropagation method was proposed as a learning method for the constructed multilayer neural network, and its main stages were described. During the study, the proposed iterative gradient algorithm was implemented in Python using data obtained through fuzzy set theory methods. Based on the created program, graphs of output values and error values depending on the number of epochs were constructed on a computer, and the results were interpreted. It was found that the results obtained using artificial neural networks and fuzzy set methods are consistent with each other. The training results of the neural network model showed minimal errors, and the amount of produced sulfur was as close as possible to the target value.

Keywords: artificial neural network, activation function, Python programming language, model, Claus process, backpropagation algorithm, iterative gradient algorithm

Financing. *This research was supported the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. fund this research AP23490206 Development of a decision support system for managing the sulfur production process).*

© Б. Оразбаев[1], А. Жумадиллаева[1*], К. Оразбаева[2], Р. Есиркесинов[3], Ж. Тулеуов[4], 2025.

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
[2]Esil university, Астана, Қазақстан;
[3]Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;
[4]Атырау мұнай өңдеу зауыты Атырау, Қазақстан.
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

КҮКІРТ ӨНДІРУ ПРОЦЕССТЕРІНІҢ МОДЕЛЬДЕРІН ЖАСАНДЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР НЕГІЗІНДЕ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ

Оразбаев Батыр — техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
E-mail: batyr_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2109-6999;
Жумадиллаева Айнур — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1042-0415;
Оразбаева Кулман — техника ғылымдарының докторы, профессор, Esil university, Астана, Қазақстан,
E-mail: kulman_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1741-7553;
Есиркесинов Рамазан — Қазақ-Британ техникалық университеті студенті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: r_yessirkessinov@kbtu.kz, https://orcid.org/0009-0003-1912-1013;
Тулеуов Жасулан — Кокс және күкірт өндірісі аға операциондық үйлестірушісі, Атырау мұнай өңдеу зауыты, Атырау, Қазақстан,
E-mail: zh.tuleuov@anpz.kz, https://orcid.org/0000-0003-2353-2416.

Аннотация. Бүгінгі таңда Қазақстанда, басқа да мұнайлы елдердегі сияқты, өндірілетін күкіртті мұнайдың үлесі өсу тенденциясына ие. Осыған байланысты көптеген салалар үшін пайдалы әрі қажетті өнім болып табылатын мұнай өңдеу процестері кезінде бөлінетін зиянды күкірті газдардан күкірт өндіру процестерінің тиімділігін арттыру өте өзекті ғылыми-практикалық мәселе болып табылады. Сол себептен бұл жұмыс күкірт өндіру процесінің тиімділігін жасанды интеллект тәсілдерінің бірі -нейрондық желі арқылы модельдеу арқылы арттыруға бағытталған. Зерттеуде Атырау мұнай өңдеу зауытының күкірт өндіру қондырғысының мақсатты өнімі -күкірт өндіру процесін ақпарат тапшылығы мен анықсыздығы жағдайында математикалық адекватты моделі оқытылып, әзірленген. Зерттеуде күкірт өндіру қондырғысынын ақпарат тапшылығы мен белгісіздігі жағдайында тиімді модельдеу үшін иерархиялық көпқабатты нейрондық желі құрылымы құрылған және нейрондық желіні программалық жүзеге асыру үшін қолданылатын программалау тілі ретінде Python және оның қажетті құралдары негізделіп, алынған. Құрылған көпқабатты нейрондық желіні оқыту тәсілі ретінде қателердің кері таралуы алгоритмі негізінде итеративті градиенттік алгоритмі ұсынылып, оның негізгі кезеңдері сипатталған. Зерттеу барысында айқын емес жиындар тәсілдерін қолдану арқылы алынған мәліметтерді пайдаланып, Python тілінде жұмыста әзірленген итеративті градиент алгоритмі программалық жүзеге асырылды. Құрылған программа негізінде компьютерде дәуір санына байланысты шығыс мәндерінің және қателер мәндерінің графиктері тұрғызылып, талқыланды. Жасанды нейрондық желілер мен айқын емес жиындар тәсілдері қолдану арқылы арқылы алынған нәтижелері бір біріне сәйкес келетіндігі негізделді. Нейрондық технология негізінде құрылған модельді оқыту нәтижесінде қателіктер ең аз және өндірілген күкірт көлемі оның мақсатты мәніне мүмкіндігінше жақын болатыны анықталды.

Түйін сөздер: жасанды нейронды желі, белсендіру функциясы, Python программалау тілі, модель, Клаус процесі, қателердің кері таралу алгоритмі, итеративті градиент алгоритмі

© Б. Оразбаев[1], А. Жумадиллаева[1*], К. Оразбаева[2], Р. Есиркесинов[3], Ж. Тулеуов[4], 2025.

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;
[2]Esil university, Астана, Қазақстан;
[3]Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;
[4]Атырау мұнай өңдеу зауыты Атырау, Қазақстан.
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Оразбаев Батыр — доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: batyr_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2109-6999;
Жумадиллаева Айнур — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1042-0415;
Оразбаева К.Н. — доктор технических наук, профессор, Университет «Есиль», Астана, Казахстан,
E-mail: kulman_o@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1741-7553;
Есиркесинов Рамазан — студент Казахстанско-Британского технического университета, Алматы, Казахстан,
E-mail: r_yessirkessinov@kbtu.kz, https://orcid.org/0009-0003-1912-1013;
Тулеуов Жасулан — старший координатор производства кокса и серы, Атырауский нефтеперерабатывающий завод, Атырау, Казахстан,
E-mail: zh.tuleuov@anpz.kz, https://orcid.org/0000-0003-2353-2416

Аннотация. Сегодня в Казахстане, как и в других нефтедобывающих странах, доля добываемой сернистой нефти имеет тенденцию к увеличению. В связи с этим повышение эффективности процессов производства серы из вредных серосодержащих газов, выделяющихся при нефтепереработке, становится актуальной научно-практической задачей. Сера является полезным и необходимым продуктом для многих отраслей промышленности. Данная работа направлена на повышение эффективности процесса производства серы посредством его моделирования с использованием одного из методов искусственного интеллекта — искусственных нейронных сетей. Для создания адекватной математической модели процесса производства серы на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) предлагается применять нейросетевые технологии. В работе создана иерархическая многослойная нейросетевая модель для эффективного моделирования установки по производству серы в условиях неопределенности и ограниченности исходной информации. Для программной реализации нейронной модели обоснованно выбран язык программирования Python и его инструменты. В качестве метода обучения построенной многослойной нейронной сети

предложен итерационный градиентный алгоритм, основанный на методе обратного распространения ошибки, с описанием его основных этапов. В ходе исследования разработанный итерационный градиентный алгоритм был реализован на языке Python с использованием данных, полученных с помощью методов теории нечетких множеств. На основе созданной программы были построены графики зависимости выходных значений и значений ошибок от количества эпох, а также дана интерпретация полученных результатов. Было установлено, что результаты, полученные с использованием методов искусственных нейронных сетей и нечетких множеств, согласуются друг с другом. Результаты обучения модели на основе нейронной технологии показали минимальные ошибки, а объем производимой серы оказался максимально близким к целевому значению.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, функция активации, язык программирования Python, модель, процесс Клауса, алгоритм обратного распространения ошибки, алгоритм итерационного градиента

Кіріспе. Қазіргі уақытта барлық мұнайлы елдердегідей Қазақстанда да мұнай өңдеу тереңдігі мен мұнай өңдеу өнімдері ассортименттерін арттыру мұнай өңдеудің басым бағыты болып саналады. Ал мұнай өндіруде күкіртті мұнай үлесінің артуы, мұнай өңдеу өнімдеріне экологиялық талаптардың қатаңдау тенденциясы мұнай өңдеу процесстерінде бөлінетін күкіртті сутек газдарын өңдеп, әлемдік нарықта жоғары сұранысқа ие күкірт алу аса өзекті ғылым-практикалық мәселеге жатады (Kuznetsov et al., 2021; Edmonson et al., 2020).

Мұнай өңдеу зауыттарында күкірт сутектен тауарлық күкіртті алудың ең көп тараған технологиялық процесі - Клаус процесі жүретін күкірт өндіру қондырғысында өндіреді (КӨҚ) (Golubeva et al., 2020; Gazimzyanov et al., 2020). Аталған қондырғыда күкірт өндіру процесін зерттеп, Клаус процесін оптималды жүргізіп, тиімді басқару үшін КӨҚ-да күкірт алу процесстерінің адекватты математикалық модельдерін құру қажет. Алайда КӨҚ-ның термореакторында, Клаус және салқын абсорбциялау (СА) реакторларында катализатор қатысуымен өтетін күрделі процесстердің адекватты математикалық модельдерін дәстүрлі тәсілдермен құруға қажетті деректер мен ақпараттар өндірістік жағдайда жетіспейді. Ал оларды жинау теориялық тұрғыдан мүмкін болғанымен, экономикалық тұрғыдан практикада тиімсіз, өте көп шығындарды талап етеді. Сондықтан күкірт өндіру процесстерінің адекватты, тиімді математикалық модельдерін құру үшін арнаулы, жасанды интеллект тәсілдерін, мысалы жасанды нейрондық желілер мен айқын емес емес жиындар тәсілдерін қолдану қажеттігі туындайды.

Күкірт өндіру технологиясы мен процесстерін зерттеу, математикалық модельдеу және оптимизациялау мәселелеріне арналған негізгі зерттеулерді

шолу нәтижелерін келтірейік. Каталитикалық реакциялар мен процестерді зерттегенде, зерттелетін жүйе күйлерінің өзгерістерін сипаттауға мүмкіндік беретін математикалық модельдеу тәсілдері жиі қолданылады (Hashemi et al., 2019). Дегенмен, кейбір процестер үшін химиялық технологиялық процестің барлық ерекшеліктерін ескеретін толық математикалық модельдерін дәстүрлі тәсілдермен құру өте көп еңбекті қажет ететін жұмыс болып табылады. Бұл жағдайда модельдерді құру кезінде бірқатар жеңілдетулер мен шектеулер енгізіледі, бұл өз кезегінде сандық есептеулерге қателер енгізеді және алынған нәтижелерді айтарлықтай бұрмалауы мүмкін.

(Naumova et al., 2023; Kadyrov, 2023) жұмыстарында күкірт өндіру технологиялары талданып, олардың ерекшеліктері зерттелген. Карпунин, Труфанов, Nagamalleswara және басқалары өздерінің (Karpunin, 2023; Garmroodi et al., 2019) жұмыстарында күкірт өндіру процесстерін модельдеу және оптимизациялау мәселелерін зерттеген. Бұл зерттеулерде күкірт өндіру нысандары мен процесстерін модельдеу және оптимизациялау үшін дәстүрлі тәсілдер қолданылған. Алайда практикада басқа да өндірістік нысандар сияқты күкірт өндіру қондырғылары да дәстүрлі тәсілдермен модедьдеу және оптимизациялау қажетті ақпараттардың тапшылығы, олардың айқынсыздығымен жиі сипатталады. Яғни бұл жағдайда күкірт өндіру нысандары мен процесстерін модельдеу практикалық тұрғыдан өте тиімсіз немесе мүмкін емес болады. Сондықтан мұндай ақпарат тапшылығы, айқынсыздығымен сипатталатын өндірістік нысандардың модельдерін құрып, оптимизациялау үшін анықсыздық жағдайында да тиімді болып табылатын жасанды интеллект тәсілдерін қолдану қажет болады.

Айқын емес жиындар тәсілдері негізінде жұмыстың зерттеу нысаны - Атырау мұнай өңдеу зауытының (МӨЗ) КӨҚ-ның күкірт алу процесстері жүретін негізгі агрегаттарының, ақпарат тапшылығы мен айқынсыздығы жағдайында, тиімді модельдерін құру тәсілі авторлардың жарияланған (Orazbayev et al., 2024; Orazbaev et al., 2019) жұмыстарында сипатталған.

Жасанды нейрондық желілер (ЖНЖ) моделі келесі өңдеу үшін қолданылатын өзара байланысты және жинақталатын эксперименттік деректер мен білімдер элементтерінің (жасанды нейрондар) желісі болып табылады (Xiaolong, 2020). Белгілі бір модель туралы білімді жинақтау үшін нейрондар арасындағы синаптикалық салмақтар деп аталатын байланыстар пайдаланылады. Желі кіріс ақпаратты өңдейді және уақыт өте келе оның күйін өзгерту процесінде шығыс сигналдарының жиынтығын құрайды (Aksenov et al., 2022).

Нейрондық желілерді оқытудың белгілі алгоритмі бақылаудағы оқыту әдістеріне жататын қателердің кері таралу алгоритмі (Tijanić et al., 2020), ол машиналық оқытудың ең танымал алгоритмдерінің бірі. Бұл алгоритм әдісі оның жасырын қабаттарындағы нейрондардың салмақтары үшін түзету мәндерін есептеу үшін нейрондық желінің шығыс қателігін пайдалануға

негізделген. Қателердің кері таралу алгоритмі қалыпты жұмыс кезінде сигналдардың тікелей таралуына қарама-қарсы бағытта, желі шығыстарынан оның кірістеріне қателік сигналдарының таралуын қарастырады. Бұл алгоритмнің артықшылықтарына енгізудің қарапайымдылығы және ауытқулар мен деректердің ауытқуларына төзімділігі жатады. Кері таралу алгоритмін пайдалану кезінде нейрондық желіні оқытудың мақсаты нейрондық желінің салмақтарын белгілі бір кірістер жинағын қолданған кезде нейрондық шығыстардың қажетті жиынтығын (шығыс нейрондары) алуға болатындай етіп реттеу.

Химиялық технологиялық процестерді модельдеудегі ЖНЖ артықшылығы күрделі математикалық тәуелділіктермен сипатталатын процестердің икемді модельдерін құру мүмкіндігімен анықталады. Сондай-ақ нейрондық желілер болжау айнымалылары (кірістері) мен болжанатын айнымалылар (шығыстар) арасында байланыс бар жағдайларда, тіпті бұл байланыс өте күрделі сипатта болса да, болжау және топтар арасындағы корреляция немесе айырмашылықтарды шартты түрде көрсету қиын болғанда да, басқару мәселелерін шешудің ең тиімді құралы болып табылатынын атап өту қажет. Жасанды нейрондық желі моделі негізінде күрделі сипатталатын өндірістік нысандарды оптимизациялау, тиімді басқару есебін шешу алгоритмдерін құру өзекті ғылыми-техникалық мәселе болып табылады. Сол себептен бұл жұмыс кері оқыту алгоритмін осы жұмыстың зерттеу объектісі КӨҚ негізгі агрегаттары модельдерін құрып, оқытуға қолдану мүмкіндігін қарастырылады.

Бұл ұсынылған жұмыс нейрондық желілер негізінде зерттеу нысаны реакторлары модельдерін құрып, олардың авторлардың (Orazbaev et al., 2019) зерттеуінде айқын емес жиындар теориясы негізінде құрылған КӨҚ негізгі агрегаттарының модельдерімен салыстыруға арналған.

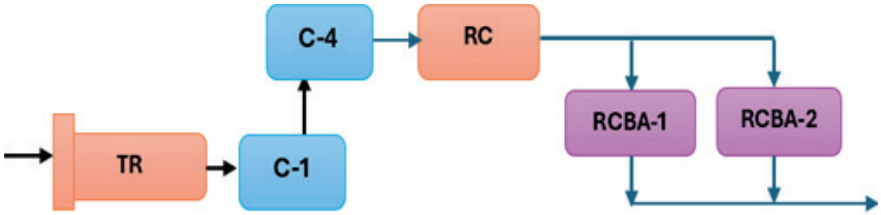
Зерттеу мақсаты, материалдары мен тәсілдері. Зерттеу мақсаты - күкірт өндіру қондырғысында жүретін күкірт өндіру процесстерін жасанды нейрондық желілер негізінде тиімді модельдеу тәсілін әзірлеу және зерттеу нысанының негізгі агрегаттары жұмыс режимдерін компьютерлік модельдеу.

Ұсынылған жұмыста зерттеу материалдары ретінде КӨҚ-ның күкірт өндіру секциясының өзара байланысқан келесі негізгі агрегаттары:

- термореактор (TR);
-конденсаторлар (C-1, C-2);
- Клаус реакторы (RC);
-салқын абсорбциялау (RCBA-1, RCBA-2) реакторлары

жұмыс режимдерін, күйлерін сипаттайтын эксперименталдық-статистикалық деректер мен өндірілген күкірттің сапасын сипаттайтын лабораториялық, эксперттік ақпараттар қолданылады.

Зерттеу нысанының, яғни КӨҚ-ның күкірт өндіру секциясының аталған негізгі агрегаттары келтірілген схемасы 1-суретте келтірілген.



TR-термореактор; С-1, С-2 -конденсаторлар; RC-Клаус реакторы;
RCBA-1, RCBA-2 -салқын абсорбциялау реакторлары
Сурет 1 – КӨҚ-ның күкірт өндіру секциясының өзара байланысқан негізгі агрегаттары

Келтірілген 1-суретте көрсетілген негізгі КӨҚ сұйық күкірт өндіру процестерін жүзеге асады. Күкірт өндіру секциясыны қышқыл газ термиялық түрлендіру процесінен TR термореакторында аралық өнім алынады. Термореактор шығысынан аралық өнім С-1, С-2 конденсаторлары арқылы каталитикалық түрлендіру процесі жүретін RC Клаус реакторына түседі. Клаус реакторы шығысынан күкірт параллель қосылған RCBA-1 және RCBA-2 реакторларына беріледі. Суық қабаттағы адсорбция процесі өтетін RCBA-1, RCBA-2 реакторларында өндірілген сапалы сұйық күкірт шұңқырына және одан күкіртті кристалдандыру және түйіршікті күкіртті алу үшін күкіртті кристалдау қондырғысына жеткізіледі.

Зерттеу материалдары ретінде бұл жұмыста сондай-ақ белгілі пассивті және белсенді эксперименттер негізінде жинақталып, математикалық статистиканың (Corazza et al., 2022; Shao et al., 2020) тәсілдерімен өңделген Атырау мұнай өңдеу зауытының (МӨЗ) КӨҚ күкірт өндіру секциясының сипатталған негізгі агрегаттарының жұмыс режимдерін параметрлері жайлы мәндері қолданылады. Зерттеуде пассивті эксперименттер ретінде КӨҚ жұмысын басқаратын тәжірибелі операторлары толтыратын режим парақтарындағы негізгі параметрлердің мәндері және мамандар қатысумен зертханада анықталған ақпараттар пайдаланылады. Сонымен қатар зерттеу материалдары ретінде Атырау МӨЗ-ның КӨҚ технологиялық регламентінің алынған ақпараттар (Tuleuov, 2023) және жасанды нейронды желілер тәсілдері мен оларды оқыту алгоритмдері (Xiaolong, 2020; Aksenov et al., 2022; Tijanić et al., 2020; Nilsson, 2019) қолданылады.

Күкірт өндіру секциясының келтірілген негізгі агрегаттарының статистикалық модельдерін құруда эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу тәсілдері MathCad программалар пакеті негізінде пайдаланылды. Зерттеу материалдары ретінде қолданылатын күкірт өндіру секциясының негізгі агрегаттарының өлшенетін кіріс, режимдік және шығыс параметрлері мәндері өлшеу аспаптары көмегімен алынады. Ал айқынсыздықпен сипатталатын күкірттің сапа көрсеткіштері (күкірт құрамындағы күкірт, су, күл, органикалық заттар үлесі) қолданыстағы стандарт талаптарындағы айқын емес нұсқаулар мен маман-эксперттердің табиғи тілінде сипатталады.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу нысанының анықсыздыққа байланысты дәстүрлі тәсілдер мен құрылуы күрделі немесе мүмкін болмағанда тиімді болатын нейрондық желі моделін жобалау немесе таңдау үшін

- нейрондардың қабаттары арасындағы байланыстардың құрылымы;

– нейрондардың түрі (белсендіру функциясы тұрғысынан);

-нейрондық желіні оқыту кезінде салмақ коэффициенттерін анықтау ережелері анықталды.

Оқыту алгоритмін пайдалану үшін деректерді нормалдау (қалыпқа келтіруді) жүзеге асырылды, яғни оқыту, тексеру деректерін бір сандық шкалаға сәйкестендірілді. Бұл жұмыста құрылатын нейрондық модельді оқыту үшін жинақталған деректер мәндерін олардың ең үлкен мәніне бөлу арқылы нормалданған. Нәтижесінде барлық деректер 0-ден 1-ге дейінгі мәндерге түрлендірілді.

Қолданылатын программалау ортасы таңдалды. Python программалау тілінде программа кодын енгізу үшін Anaconda 3 программалық ортасы алынды және келесі көмекші құралдар қолданылды:

1) Matplotlib – Python-да ғылыми графиктерді құруға арналған негізгі кітапхана: *https://matplotlib.org/*

2) NumPy – Python тіліндегі ғылыми есептеулерге арналған негізгі пакеттердің бірі. Ол көп өлшемді массивтермен жұмыс істеу функционалдығы, жоғары деңгейлі математикалық функциялардан турады: *https://numpy.org/*

3) Pandas – деректерді өңдеу мен талдауға арналған Python кітапханасы: *https://pandas.pydata.org/*

4) Scikit-learn – машиналық оқытуға арналған ең танымал Python кітапханасы: https://scikit-learn.org/

5) SciPy – Python тіліндегі ғылыми есептеулерге арналған функциялар жиынтығы: https://www.scipy.org/

6) TensorFlow – нейрондық желіні құру және оқыту мәселелерін шешу үшін машиналық оқытуға арналған ашық программалық кітапхана: https://www.tensorflow.org/

7) Keras – Python-дағы ашық нейрондық желі кітапханасы TensorFlow қосымшасы болып табылады: https://keras.io

Осылардың негізінде күкірт өндіру процесінде өндірілетін күкірт көлеміне кіріс және жұмыс параметрлерінің әсерін зерттеу кезінде бұл жұмыста жасанды нейрондық желілерге негізделген модель құрылып, пайдаланылды (Shaimukhametov et al., 2019). ЖНЖ оқыту үшін қателерді кері тарату алгоритмі және итеративті градиентті оқыту алгоритмі қолданылады, ол тізбекті қосылымдары бар көпқабатты нейрондық желілердің қажетті шығыстарынан ағымдағы орташа квадраттық ауытқуын минимизациялау үшін қолданылады (Protalinsky, et al. 2021). Бұл көпқабатты перцептронның жұмыс қатесін азайту және қажетті нәтижені алу үшін қолданылатын итеративті градиент алгоритмі болып табылады.

Қателердің кері таралуы желілерінде кірістер $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ сырттан немесе алдыңғы қабаттан келеді. Әр $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ кіріс өздерінің салмағына көбейтіліп, олардың нәтижелері қосылады:

$$NET = \sigma_1 w_1 + \sigma_2 w_2 + \dots + \sigma_n w_n, \quad (1)$$

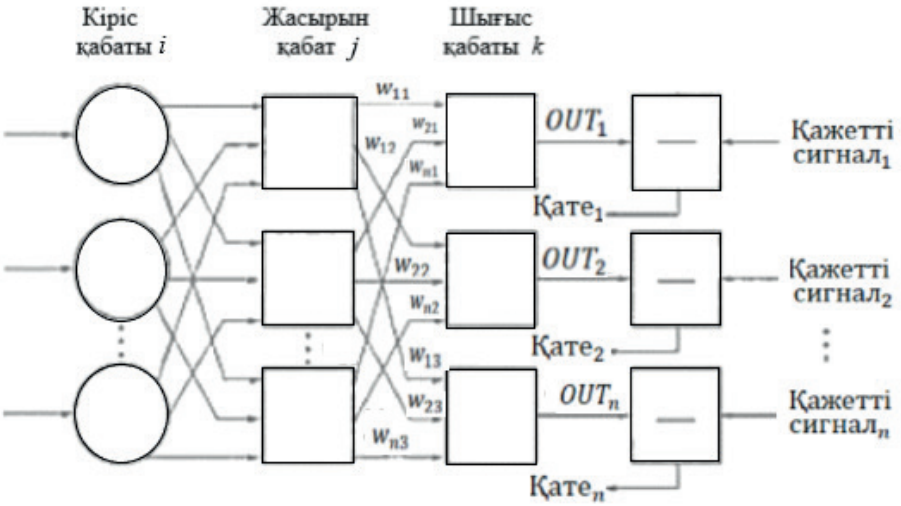
мұнда NET – желідегі әрбір нейрон үшін есептелетін сома; $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ – желідегі нейрондардың кірістері; $w_1, w_2, \dots, w_n$ – желідегі әр нейронның өзгермелі салмақ коэффициенті; F – белсендіру функциясы; OUT – нейрондық желінің шығыс сигналы.

Кері таралу алгоритмдері үшін келесі белсендіру функциясы қолданылған:

$$OUT = \frac{1}{1 + e^{-NET}}. \quad (2)$$

(2) формула сигмоидальды белсендіру функциясын сипаттайды. Ол OUT мәні нөл мен бір арасында болатындай ауқымды азайтады. Бұл функция барлық жерде дифференциалдануы керек болғандықтан жұмыста қолданылған қателерді кері тарату алгоритмі үшін сигмоидальды белсендіру функциясы ең қолайлы болып саналады.

2-суреттте келтірілген бір-бірімен байланысқан нейрондар бірнеше қабаттарға біріктірілген иерархиялық нейрондық желі, көпқабатты персептрон құрылымын қарастырайық.



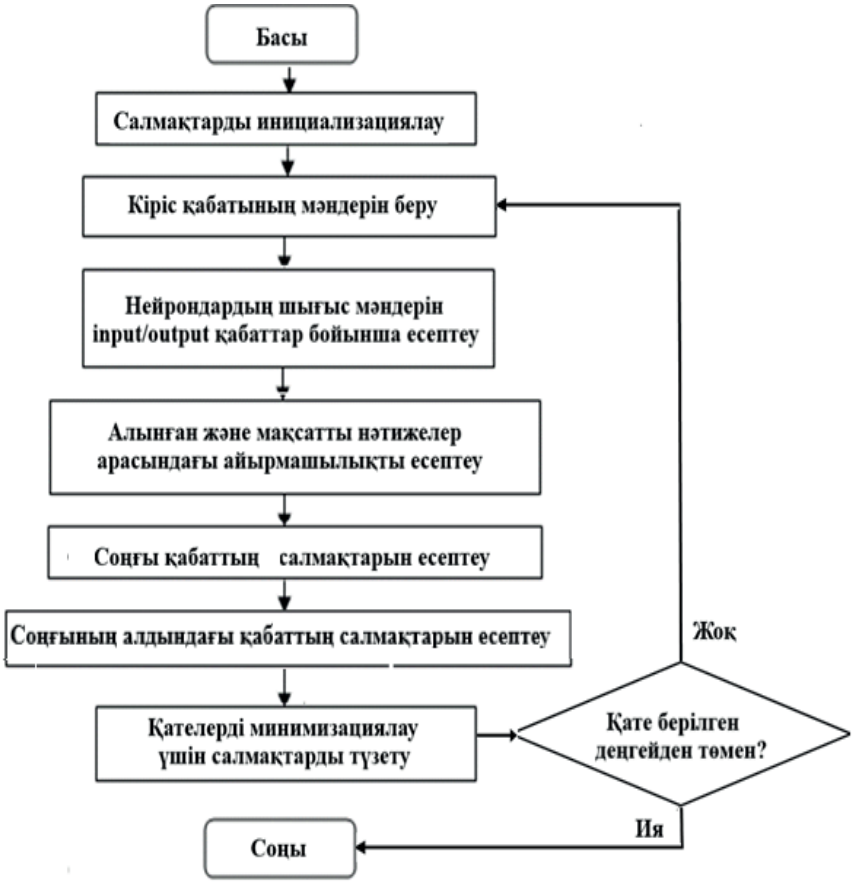
Сурет 2 – Иерархиялық көпқабатты нейрондық желі құрылымы

Көпқабатты персептрон нейрондардың бірнеше тізбектей қосылған қабаттарынан тұратын желі болып табылады. Көпқабатты персептронды

оқытудың мақсаты оның салмақтарын белгілі бір кірістер жиынын қолдану қажетті нәтижелер жиынтығына әкелетіндей реттеу болып табылады.

Бұл жұмыста қателерді кері тарату алгоритмін қолдана отырып, желінің барлық деңгейлері үшін көпдеңгейлі нейрондық желіні оқытудың екі тәсілдемесі: қателерді тура және артқа тарату ұсынылып, қолданылған. Тура өтуде кіріс векторы нейрондық желінің кіріс деңгейіне беріледі, содан кейін ол желі арқылы қабаттан қабатқа бөлінеді. Процесс желінің кіріс образына нақты реакциясы болып табылатын шығыс сигналдарының жиынтығын шығарады. Тура өту кезінде желінің барлық синаптикалық салмақтары бекітіледі, ал кері өту кезінде қатені түзету ережесі бойынша барлық синаптикалық салмақтар реттеледі. Желінің нақты шығысы қажетті мәнінен ауытқиды, нәтижесінде қателік сигналы пайда болады. Содан кейін бұл сигнал желі арқылы синаптикалық байланыстардың бағытына қарама-қарсы бағытта таралады.

Математикалық модельдер жүйесін құрудың жоғарыда келтірілген нәтижелері негізінде, Python тілінде жасанды нейрондық желіні оқытамыз. Төменде 3-суретте нейрондық желіні оқыту алгоритмінің схемасы берілген.



Сурет 3 – Жасанды нейрондық желінің қолданылған оқыту алгоритмінің схемасы

Айқын емес жиындар тәсілдерін қолдану нәтижесінде алынған мәліметтерді (Orazbayev et al., 2019) пайдалана отырып, Python тілінде қателердің кері таралуы алгоритмі программалық жүзеге асырылды. Нейрондық желі кірістерін алдын ала өңдеудің кең таралған түрлерінің бірі деректерді қалыпқа келтіру болып табылады. Деректерді нормалдау баған элементтерін деректердің максималды мәніне бөлу арқылы жүзеге асырылды.

Төменде дайындалдған Python тілінде жазылған программа коды келтірілген.

```
Import numpy as np
from numpy import *
import matplotlib.pyplot as plt
layer_0 = np.array([[0.9464],
        [0.9554],
         [0.714286],
  [0.928571]])
layer_t_0 = layer_0.transpose()
i1 = 0.9464
i2 = 0.9554
i3 = 0.714286
weights_0_1 = np.array([[0.2, 0.2, 0.3, 0.4],
[0.5, 0.2, 0.3, 0.2],
        [0.3, 0.8, 0.3, 0.3],
         [0.2, 0.2, 0.4, 0.2],
         [0.5, 0.3, 0.2, 0.3]])
weights_1_2 = np.array([[0.3, 0.3, 0.2, 0.2, 0.5],
        [0.2, 0.3, 0.6, 0.3, 0.4],
          [0.4, 0.4, 0.2, 0.3, 0.3],
          [0.4, 0.6, 0.6, 0.7, 0.7],
          [0.2, 0.2, 0.3, 0.3, 0.5]])
weights_2_3 = np.array([0.2, 0.2, 0.2, 0.3, 0.3])
alpha = 0.2
goal = np.array([0.821875])
x = 0
for x in range(0,200):
layer_1 = weights_0_1.dot(layer_0)
   i = 0
   for element in layer_1:
   layer_1[i] = 1 / (1 + np.exp(-element))
      i += 1
   sigmoid_layer_1 = layer_1
   layer_t_1 = sigmoid_layer_1.transpose()
   deriv_sigmoid_layer_1 = sigmoid_layer_1 * (1 - sigmoid_layer_1)
```

```
    layer_2 = weights_1_2.dot(sigmoid_layer_1)
      j = 0
       for element in layer_2:
          layer_2[j] = 1 / (1 + np.exp(-element))
          j += 1
       sigmoid_layer_2 = layer_2
       layer_t_2 = sigmoid_layer_2.transpose()
       deriv_sigmoid_layer_2 = sigmoid_layer_2 * (1 - sigmoid_layer_2
       sum_output = weights_2_3.dot(sigmoid_layer_2)
       sigmoid_layer_3 = 1 / (1 + np.exp(-sum_output))
       output = sigmoid_layer_3
       print(output)
    deriv_sigmoid_layer_3 = sigmoid_layer_3 * (1 - sigmoid_layer_3)
    error = (output - goal) ** 2
    error_layer_2 = error * weights_2_3
    error_layer_t_2 = error_layer_2.transpose()
    error_layer_1 = error_layer_2.dot(weights_1_2)
       error_layer_t_1 = error_layer_1.transpose()
    w1 = weights_0_1[0] + error_layer_t_1[0] * deriv_sigmoid_layer_1[0] *
layer_t_0 * alpha
    w2 = weights_0_1[1] + error_layer_t_1[1] * deriv_sigmoid_layer_1[1] *
layer_t_0 * alpha
    w3 = weights_0_1[2] + error_layer_t_1[2] * deriv_sigmoid_layer_1[2] *
layer_t_0 * alpha
    w4 = weights_0_1[3] + error_layer_t_1[3] * deriv_sigmoid_layer_1[3] *
layer_t_0 * alpha
    w5 = weights_0_1[4] + error_layer_t_1[4] * deriv_sigmoid_layer_1[4] *
layer_t_0 * alpha
    weights_0_1 = vstack([w1, w2, w3, w4, w5])
    m1 = weights_1_2[0] + error_layer_t_2[0] * deriv_sigmoid_layer_2[0] *
layer_t_1 * alpha
    m2 = weights_1_2[1] + error_layer_t_2[1] * deriv_sigmoid_layer_2[1] *
layer_t_1 * alpha
    m3 = weights_1_2[2] + error_layer_t_2[2] * deriv_sigmoid_layer_2[2] *
layer_t_1 * alpha
    m4 = weights_1_2[3] + error_layer_t_2[3] * deriv_sigmoid_layer_2[3] *
layer_t_1 * alpha
    m5 = weights_1_2[4] + error_layer_t_2[4] * deriv_sigmoid_layer_2[4] *
layer_t_1 * alpha
    weights_1_2 = vstack([m1, m2, m3, m4, m5])
    weights_2_3 = weights_2_3 + error * deriv_sigmoid_layer_3 * layer_t_2 *
alpha
```

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import *
import pandas as pd
fig = plt.figure()
x = np.arange(1, 501)
y = np.array([…] )
ax = plt.gca()
plt.plot(x, y)
ax.set_xlabel("Epochs")
ax.set_ylabel("Output values")
plt.savefig('1.png', transparent=True)
fig = plt.figure()
x = np.arange(1, 201)
y = np.array([…])
ax = plt.gca()
plt.plot(x, y)
ax.set_xlabel("Epochs")
ax.set_ylabel("Errors")
plt.savefig('2.png', transparent=True)
```

Нәтижелерді талқылау. Күкірт өндіру процесінің моделін синтездеуде жасанды нейрондық желінің құру процесінің 3-суретте келтірілген оқыту алгоритмі негізінде келесі негізгі кезеңдерін келтіруге болады:

1. Оқыту жиынынан келесі оқыту жұбын таңдау; кіріс векторын нейрондық желі кірісіне беру;

2. Нейрондық желінің шығысын есептеп, анықтау;

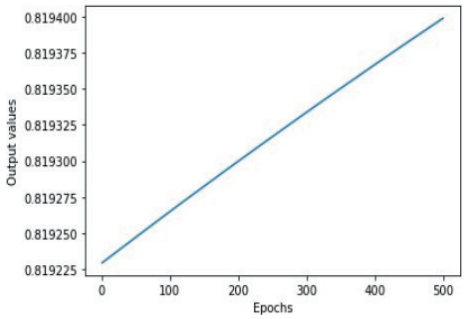
3. Нейрондық желі шығысы мен қажетті шығыс арасындағы айырмашылықты, яғни қатені есептеу;

4. Қатені минимизациялау үшін нейрондық желі салмағын коррекциялау;

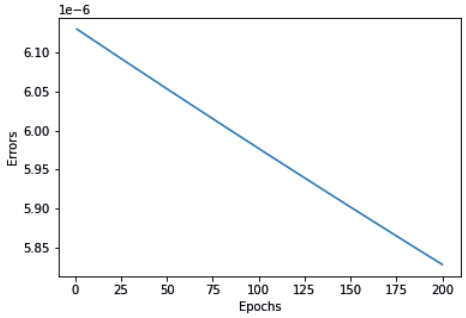
5. Минимизацияланған қате қажетті деңгейден төмен бе? шартын тексеру.

6. Егер минимизацияланған қате қажетті деңгейден төмен болмаса, бүкіл жиынтықтағы қате қажетті минималды деңгейге жеткенше оқыту жиынының әрбір векторы үшін 1–4 қадамдарды қайталау. Ал қажетті деңгейден төмен болса, онда нейрондық желі оқытылған борлып, есептеліп, КӨҚ процесін модельдеуге ұсынылады.

Программалық кодты орындау нәтижелері 4а), 4б) суреттерде келтірілген көрсетілген.



Сурет 4а – Дәуір (эпоха) санына байланысты шығыс мәндерінің графигі



Сурет 4б – Дәуір санына байланысты қателер мәндерінің графигі

Бұл суреттерде келтірілген графиктерді талқылау арқылы желінің шығыс мәндері дәуір санының артуына байланысты артатынын, ал қателер – керісінше дәуір саны артқан сайын төмендейтінін анықталған. Яғни дәуір саны артқан сайын, нәтижелер жақсара түседі. Алайда тым көп дәуір саны есептеу қиындығын және уақытын арттыруы мүмкін. Сондықтан практикада нейрондық желінің қажетті шығысы мен керекті минималды қатеге қол жеткізетін дәуірлер саны анықталып, қабылданады.

Қорытынды. Зерттеуде күкірт өндіру процесстерін жасанды нейрондық желілер негізінде тиімді модельдеу тәсілін әзірлеу және қолдану нәтижелері келтірілген. Көпқабатты жасанды нейрондық желінің қажетті құрылымын мен параметрлерін анықтау және оны қателердің кері таралуы алгоритмі негізінде оқыту нәтижесінде күкірт өндіру процесінің тиімді моделі алынған.

Жұмыстың зерттеу мақсатына қол жеткізілді, яғни күкірт өндіру процесстерін жасанды нейрондық желілер негізінде тиімді модельдеу тәсілі әзірленіп, зерттеу нысаны – Атырау МӨЗ күкірт өндіру қондырғысының негізгі агрегаттары жұмыс режимдерін компьютерлік модельдеу жүзеге асырылған.

Қойылған мақсатты жүзе асыру барысында келесі зерттеу міндеттері орындалып, төмендегі негізгі нәтижелер алынды:

- зерттеу нысанын ақпарат тапшылығы мен белгісіздігі жағдайында тиімді модельдеу үшін иерархиялық көпқабатты нейрондық желі құрылымы негізделіп, алынған;

- алынған нейрондық желіні программалық жүзеге асыру үшін қолданылатын программалау тілі, ортасы және құралдары таңдалған;

-жасанды нейрондық желіні оқыту тәсілі ретінде қателердің кері таралуы алгоритмі модификациясы негізделіп, оқыту алгоритмінің блок-схемасы келтірілген және оның негізгі кезеңдері сипатталған;

-авторлардың айқын емес жиындар тәсілдерін қолдану нәтижесінде алынған мәліметтерді пайдалана отырып, Python тілінде модификацияланған қателердің кері таралуы алгоритмі: итеративті градиент алгоритмі

программалық жүзеге асырылған. Дәуір санына байланысты шығыс мәндерінің және қателер мәндерінің графиктері тұрғызылған.

Тұрғызылған графиктерді талдау нәтижесінде, жасанды нейрондық желілер мен айқын емес жиындар тәсілдері қолдану арқылы арқылы алынған нәтижелері бір біріне сәйкес келеді деген қорытындыға келуге болады. Зерттеулер көрсеткендей, нейрондық желіні оқудағы қателіктер ең аз және шығыс мәні оның мақсатты мәніне мүмкіндігінше жақын. Айқын емес жиындар және жасанды нейрондық желі тәсілдері нәтижелері бойынша екі тәсіл ұқсас нәтиже береді, яғни, шығарылатын нәтижелер, күкірт көлемі сәйкес және олардың өндірісте тәжірибелік жолмен алынған нақты мәндерімен сәйкес келеді деп қорытында жасауға болады.

Әдебиеттер

Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. (2022) Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). — Томск: Изд-во ТНУ. — 128 с.

Corazza M., Perna C., Pizzi C., Sibillo M. (2022) Mathematical and Statistical Methods for Actuarial Sciences and Finance. Springer International Publishing/-307 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99638-3

Edmonson N. (2020) Industrial sulfur demand: Analysis and prospect. Nat Resour Res. 2. — Vol. 3. — P. 205–215 https://doi.org/10.1007/BF02259046

Garmroodi A., Shahsavand A., Mirzaei Sh. (2019) Maximization of sulfur recovery efficiency via coupled modification of GTU and SRU processes.Egyptian Journal of Petroleum. — Vol. 26. — P. 579–592.

Gazimzyanov N.R., Platonov O.I. (2020) Efficiency of a Claus furnace in the coke-oven gas desulphurization circuit of MMK. Coke Chem. — Vol. 60. — P. 199–202. https://doi.org/10.3103/S1068364X17050039

Голубева И.А., Хайруллина Г.Р., Старынин А.Ю., Каратун О.Н. (2020) Анализ производства серы методом Клауса на предприятиях нефтегазового комплекса. Химия нефти и газа. — № 3. — С. 10-18.

Hashemi M., Pourfayaz F., Mehrpooya M. (2019) Energy, exergy, exergoeconomic and sensitivity analyses of modified Claus process in a gas refinery sulfur recovery unit. J. Cleaner Prod. — Vol. 220. No 5. — P. 1071-1085.

Kadyrov S.R. (2023) Review article Investigation and comparison of technologies and methods of sulfur recovery and production processes. Bulletin of the oil and gas industry of Kazakhstan. — Vol. 5. — P. 91–98. https://doi.org/10.54859/kjogi108613

Karpunin I.I. (2023) Modeling and optimization of technological processes applied to packaging production. — Minsk: BNTU. — 124 p.

Кузнецов А.Г., Тулеуов Ж.Н. (2021) Обзор рынка серы и серной кислоты в Казахстане. Исследовательская группа «ИНФОМАЙН». Москва: Нефть и газ. — 108 с.

Naumova V.V., Ermolaeva V.A. Analysis of sulfur production technology using a catalytic reactor. International Journal of Applied Sciences and Technologies “Integral” 2023. — No. 2. — P. 289-299.

Nilsson N. (2019) Introduction to Machine Learning. Unpublished draft. Stanford University. — P.39-68.

Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Kurbangalieva N. (2024) Impact of key technological parameters on sulfur production processes. IEEE 13th international conference on Renewable energy research and application — ICRERA 2024. Nagasaki, Japan. 9-13 November. — P. 1-7.

Orazbayev B., Orazbaeva K.N., Utenova B.U., Tuleuov Zh.N. (2019) Models of the sulfur production process based on fuzzy information. Bulletin of KazNITU. — No. 2 (132). — P. 196-202.

Protalinsky O.M., Shcherbatov I.A., Belyaev I.O. (2021) Hybrid method of training neural

networks for classifying the catalytic stage of the Claus process. Theoretical Foundations of Chemical Technology. — Vol. 58, No. 3. — P. 38-43.

Shaimukhametov D.R., Mustafina S.A., Shaimukhametova D.V. (2019) Creation of an artificial neural network for determining the optimal temperature regime for a chemical process. Bulletin of the Bashkir University. — Vol. 24, No. 3. — P. 551-558.

Shao J. (2020) Mathematical Statistics. Springer Texts in Statistics. — 575 p. https://doi.org/10.1007/b97553

Tijanić K., Car-Pušić D., Šperac M. (2020) Cost estimation in road construction using artificial neural network. Neural Comput & Applic. — Vol. 32. — P. https://doi.org/10.1007/s00521-019-04443-y

Тулеуов Ж.Н. (2023) Технологический регламент установки производства серы Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Атырау. Издательство Атырауского университета нефти и газа. — 178 с.

Xiaolong Hu. (2020) Global Finite-time Stability for Fractional-order Neural Networks. Opt. Mem. NeuralNetworks. —Vol. 29. — P.77–99. https://doi.org/10.3103/S1060992X20020046

References

Aksenov S.V., Novosel'tsev V.B. (2022) Organizatsiya i ispol'zovaniye neyronnykh setey (metody i tekhnologii) [Organization and use of neural networks (methods and technologies)]. - Tomsk: NTU Publishing House. — 128 p. (In Russian)

Corazza M., Perna C., Pizzi C., Sibillo M. (2022) Mathematical and Statistical Methods for Actuarial Sciences and Finance. Springer International Publishing/-307 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99638-3 (in English)

Edmonson N. (2020) Industrial sulfur demand: Analysis and prospect. Nat Resour Res. 2. — Vol. 3. — P. 205–215 https://doi.org/10.1007/BF02259046 (in English)

Garmroodi A., Shahsavand A., Mirzaei Sh. (2019) Maximization of sulfur recovery efficiency via coupled modification of GTU and SRU processes.Egyptian Journal of Petroleum. — Vol. 26. — P. 579–592. (in English)

Gazimzyanov N.R., Platonov O.I. (2020) Efficiency of a Claus furnace in the coke-oven gas desulphurization circuit of MMK. Coke Chem. — Vol. 60. — P. 199–202. https://doi.org/10.3103/S1068364X17050039 (in English)

Golubeva I.A., Khayrullina G.R., Starynin A.YU., Karatun O.N. (2020) Analiz proizvodstva sery metodom Klausa na predpriyatiyakh neftegazovogo kompleksa [Analysis of sulfur production by the Claus method at oil and gas enterprises]. Oil and Gas Chemistry. 2020. No. 3. — P 10–18. (In Russian)

Hashemi M., Pourfayaz F., Mehrpooya M. (2019) Energy, exergy, exergoeconomic and sensitivity analyses of modified Claus process in a gas refinery sulfur recovery unit. J. Cleaner Prod. — Vol. 220. No 5. — P. 1071-1085. (in English)

Kadyrov S.R. (2023) Review article Investigation and comparison of technologies and methods of sulfur recovery and production processes. Bulletin of the oil and gas industry of Kazakhstan. — Vol. 5. — P. 91–98. https://doi.org/10.54859/kjogi108613 (in English)

Karpunin I.I. (2023) Modeling and optimization of technological processes applied to packaging production. — Minsk: BNTU. — 124 p. (in English)

Kuznetsov A.G., Tuleuov Zh.N. (2021) Obzor rynka sery i sernoy kisloty v Kazakhstane [Review of the sulfur and sulfuric acid market in Kazakhstan]. INFOMINE Research Group. Moscow, Oil and Gas. — 108 p. (In Russian)

Naumova V.V., Ermolaeva V.A. Analysis of sulfur production technology using a catalytic reactor. International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral" 2023. — No. 2. — P. 289-299. (in English)

Nilsson N. (2019) Introduction to Machine Learning. Unpublished draft. Stanford University. — P. 39-68. (in English)

Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Orazbayeva K., Kurbangalieva N. (2024) Impact of key

technological parameters on sulfur production processes. IEEE 13th international conference on Renewable energy research and application — ICRERA 2024. Nagasaki, Japan. 9-13 November. — P. 1-7 (in English)

Orazbayev B., Orazbaeva K.N., Utenova B.U., Tuleuov Zh.N. (2019) Models of the sulfur production process based on fuzzy information. Bulletin of KazNITU. — No. 2 (132). — P. 196-202. (in English)

Protalinsky O.M., Shcherbatov I.A., Belyaev I.O. (2021) Hybrid method of training neural networks for classifying the catalytic stage of the Claus process. Theoretical Foundations of Chemical Technology. — Vol. 58, No. 3. — P. 38-43. (in English)

Shaimukhametov D.R., Mustafina S.A., Shaimukhametova D.V. (2019) Creation of an artificial neural network for determining the optimal temperature regime for a chemical process. Bulletin of the Bashkir University. — Vol. 24, No. 3. — P. 551-558. (in English)

Shao J. (2020) Mathematical Statistics. Springer Texts in Statistics. — 575 p. https://doi.org/10.1007/b97553 (in English)

Tijanić K., Car-Pušić D., Šperac M. (2020) Cost estimation in road construction using artificial neural network. Neural Comput & Applic. — Vol. 32. — P. https://doi.org/10.1007/s00521-019-04443-y (in English)

Tuleuov Zh.N. (2023) Tekhnologicheskiy reglament ustanovki proizvodstva sery Atyrauskogo neftepererabatyvayushchego zavoda. [Technological regulations of the sulfur production unit of the Atyrau oil refinery]. Atyrau. Publishing house of the Atyrau University of Oil and Gas. — 178 p. (In Russian)

Xiaolong Hu. (2020) Global Finite-time Stability for Fractional-order Neural Networks. Opt. Mem. NeuralNetworks. —Vol. 29. — P. 77–99. https://doi.org/10.3103/S1060992X20020046 (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see http://www.elsevier.com/publishingethics and http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see http://www.elsevier.com/postingpolicy), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service http://www.elsevier.com/editors/plagdetect.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:
www:nauka-nanrk.kz
http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*
Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 22.12.2025.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная.
Печать –ризограф. 20,0 п.л. Заказ 4.

«Central Asian Academic Research Center» LLP
Алматы, Қонаев к-сі, 142