

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

1 (357)

JANUARY – MARCH 2026

**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, (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>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

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, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ 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>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

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, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

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/author/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/author/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 Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/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 № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО 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», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Akhmetova S.T., Yunussova A.A., Alisheva S.S., Olzhataeva B.T., Mussirepova E.B. Social network data mining for automated offensive language detection.....	13
Amanov A.N., Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Abibullayeva A.A., Aben A.B. Artificial intelligence-based intrusion detection for DDOS attacks in Software Defined Networking.....	30
Amanzholova S.T., Ussatova O.A., Mutanov G.M., Mukhanov S.B., Aitmukash D. Backend architecture of a hybrid blockchain-based academic credential verification system.....	52
Amirkhanova G.A., Nurgazy T.N., Amirkhanov B.S., Tokhtassyn M.M., Nurgazy N.N. Developing a predictive digital twin for a food product based on Edge ML and IoT sensors.....	73
Bekarystankyzy A., Ussen D., Kassenkhan A., Chinibayev Y. Cold-start in educational recommender systems: classical and LLM-Era strategies.....	91
Bimoldina Zh., Mussiraliyeva Sh., Bagitova K., Terekovska L. Detection of cyber-propaganda content using machine learning and semantic models....	106
Chezhimbayeva K.S. Forecasting key 5G network KPIs using MLP and LSTM neural network models.....	129
Dauitbayeva A.O., Konyrbaev N.B., Abildayeva Zh.T., Yessirkepova A.U., Karim N.A. Development of an application to optimize the process of employment of graduates.....	148
Dzhsupbekova G., Othman M., Ordabayeva G. Comparative analysis of artificial intelligence algorithms to detect network attacks.....	167
Issakhov A., Orazmoldayev N., Zharkynbek Y., Abylkassymova A. Numerical modeling of the spread of viral infection by airborne droplets in confined spaces.....	182
Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B. Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings.....	202
Khusain B., Telmanov M., Khusain A.B., Brodskiy A.R., Sass A.S. Digital twin of an integrated emission purification and decarbonization system for thermal units.....	218
Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A. Algorithm for determining the initial orbital parameters of KazeEOSat-1 for deorbiting.....	236

Mimenbayeva A.B., Turebayeva R.D., Ospanova T.T., Aruova A.B., Naizagarayeva A.A. Development and comparative analysis of machine learning models for urban traffic prediction.....	253
Naumenko V.V., Mukanova Zh.A., Kiseleva O.V., Maintser D.A., Nerezov A.K. The use of real-time polling to improve student academic performance.....	271
Nazyrova A.E., Kaderkeyeva Z.K., Bekmanova G.T., Milosz M., Lamasheva Zh. Transformation of education through digital technologies: advancing student academic performance across learning stages.....	287
Oralbekova D., Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kassymova D., Alibiyeva Z. Development of a multi-level model for text summarization based on pretrained models.....	316
Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbangalieva N.B., Yessirkessinov R.Zh., Orazbayeva K.N. Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process.....	337
Sarsenbayeva A.K., Rakhimova D.R., Shormakova A.N., Mansurova M.E., Adali E. Application of semantic methods in the field of legislation: an intellectual system for analysis of agglutinative texts.....	354
Serek A., Shoiynbek A., Sharipov K., Kuanyshbay D., Mukhametzhano A. Analysis and classification of telephone fraud based on lexical features of speech transcriptions.....	373
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T. Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models.....	393
Tokhayeva A.O., Alzhanov A.K., Nezh Önal, Ziyatbekova G.Z., Begaliev K.B. Formation of students virtualization competencies in higher education based on Proxmox VE.....	412
Tukenova L.M., Auyelbekov O.A., Sapakova S.Z., Sametova A.A., Bostanov E.L. Modelling and optimisation of hybrid power plant operating modes for unmanned aerial vehicles.....	430
Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Sambetbayeva M. Sign language recognition using temporal convolutional network and MediaPipe.....	443
Zhukabayeva T.K., Benkhelifa E., Mardenov Y.M., Baumuratova D., Karabayev N. Decision support for responding to attacks in cyber-physical industrial internet-of-things systems.....	461

МАЗМҰНЫ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Әлеуметтік желідегі бейәдеп пікірлерді автоматты анықтауда деректерді интеллектуалды талдау.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Бағдарламалық жасақтамамен анықталған желідегі DDOS шабуылдары үшін жасанды интеллектке негізделген шабуылдарды анықтау.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Гибридтік блокчейнге негізделген академиялық сенімдік деректерді тексеру жүйесінің бекендік архитектурасы.....	52
Амирханова Г.А., Нұрғазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нұрғазы Н. Н. EDGE ML және IOT сенсорлары негізінде азық-түлік өнімінің предиктивті цифрлық егізін әзірлеу.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Білім беру саласындағы ұсынымдық жүйелеріндегі «Cold-start» мәселесі: классикалық әдістер және LLM дәуірінің стратегиялары.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.З Кибернасихаттық контентті анықтау үшін машиналық оқыту және семантикалық модельдер қолдану.....	106
Чечимбаева К.С. MLP және LSTM нейрондық желі модельдерін қолдана отырып, 5G желісінің негізгі KPI-лерін болжау.....	129
Дәуітбаева А.О., Қоңырбаев Н.Б., Әбілдаева Ж.Т., Есіркепова А.У., Кәрім Н.Ә. Бітіруші түлектердің жұмысқа орналастыру процесін оңтайландыру үшін қосымша әзірлеу.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Жасанды интеллект алгоритмдерін желілік шабуылдарды анықтау үшін салыстырмалы талдау.....	167
Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Ауа тамшылары арқылы вирустық инфекцияның шектеулі кеңістікте таралуын сандық модельдеу.....	182
Қантурсева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Түлебаев Е.Б. Биік ғимараттардағы адамдарды эвакуациялау процестерін болжау және оңтайландыруда машиналық оқыту әдістерін қолдану.....	202

Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Жылу қондырғыларының шығарындыларын кешенді тазалау және декарбонизациялау жүйесінің цифрлық егізі.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылғара А.Е. КАZEOSAT-1 ғарыш аппаратының деорбитациясын жүзеге асыру үшін бастапқы орбиталық параметрлерін анықтау алгоритмі.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзағарасва А.А. Қалалық көлік ағынын болжауға арналған машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және салыстырмалы талдау.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселева О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Білім алушылардың үлгерімін арттыру үшін real-time сауалнамаларын қолдану.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Қасымова Д.З, Алибиева Ж., Алдын ала оқытылған модельдер негізінде мәтінді резюмелеуге арналған көпдеңгейлі модельді әзірлеу.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбанғалиева Н.Б., Оразбаева К.Н. Күкірт сапасын бағалаудың лингвистикалық модельдерін синтездеу және күкіртті өндіру процесін бұлыңғыр модельдеу.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Семантикалық әдістерді заңнама саласында қолдану: агглютинативті мәтіндерді талдауға арналған интеллектуалды жүйе.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Қуанышбай Д., Мухаметжанов А. Сөйлеу транскрипцияларының лексикалық белгілеріне негізделген телефон алаяқтықтарын талдау және жіктеу.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Кірпіш өнімдерін сату көлемдерін машиналық оқытуда талдау және болжамдау.....	393
Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezir Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б. PROXMOX VE негізінде жоғары оқу орындарында білім алушыларды виртуалдандыру құзыреттерін қалыптастыру.....	412

Төкенова Л.М., Әуелбеков О.А., Сапақова С., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.
Пилотсыз ұшу аппараттарына арналған гибриді электр станцияларының жұмыс режимдерін модельдеу және оңтайландыру.....430

Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Самбетбаева М.А.
Уақытша конволюциялық желі мен media pipe көмегімен ым тілін тану.....443

Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.
Киберфизикалық өнеркәсіптік интернет заттары жүйелеріндегі шабуылдарға әрекет ету кезінде шешім қабылдауды қолдау.....461

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б. Интеллектуальный анализ данных для автоматического выявления языка ненависти в социальных сетях.....	13
Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б. Обнаружение вторжений на основе искусственного интеллекта для DDoS-атак в программно-определяемых сетях.....	30
Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д. Бэкенд-архитектура гибридной системы проверки академических достижений на основе блокчейна.....	52
Амирханова Г.А., Нургазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нургазы Н.Н. Разработка предиктивного цифрового двойника пищевого продукта на основе Edge ML и IoT-сенсоров.....	73
Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е. Холодный старт в системах рекомендаций в области образования: классические подходы и стратегии эпохи LLM.....	91
Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л. Использование машинного обучения и семантических моделей для обнаружения киберпропагандистского контента.....	106
Чечимбаева К.С. Прогнозирование ключевых KPI сетей 5G на основе нейросетевых моделей MLP и LSTM.....	129
Даутбаева А.О., Конырбаев Н.Б., Абильдаева Ж.Т., Есиркепова А.У., Карим Н.А. Разработка приложения для оптимизации процесса трудоустройства выпускников.....	148
Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г. Сравнительный анализ алгоритмов искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак.....	167
Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А. Численное моделирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путём в замкнутых помещениях.....	182

Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Тулебаев Е.Б. Использование методов машинного обучения для прогнозирования и оптимизации процессов эвакуации людей в высотных зданиях.....	202
Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С. Цифровой двойник комплексной системы очистки и декарбонизации выбросов тепловых установок.....	218
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылгара А.Е. Алгоритм определения начальных орбитальных параметров KazEOSat-1 для деорбитации.....	236
Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзагараева А.А. Разработка и сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования городского трафика.....	253
Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселёва О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К. Применение опросов в режиме реального времени для повышения успеваемости обучающихся.....	271
Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б. Цифровое образование и академическая успеваемость учащихся: межуровневый анализ.....	287
Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Касымова Д., Алибиева Ж. Разработка многоуровневой модели для абстрактивного резюмирования текста на основе предварительно обученных моделей.....	316
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбангалиева Н.Б., Есиркесинов Р.Ж., Оразбаева К.Н. Синтез лингвистических моделей оценки качества серы и нечёткое моделирование процесса её производства.....	337
Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э. Применение семантических методов в юридическом анализе: интеллектуальная система для обработки агглютинативных текстов.....	354
Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Куанышбай Д., Мухаметжанов А. Анализ и классификация телефонного мошенничества на основе лексических признаков речевых транскрипций.....	373
Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т. Анализ и прогнозирование объёмов продаж кирпичной продукции с использованием машинного обучения.....	393

Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezih Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б. Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....	412
Тукенова Л.М., Ауелбеков О.А., Сапакова С.З., Саметова А.А., Бостанов Е.Л. Моделирование и оптимизация режимов работы гибридных силовых установок для беспилотных летательных аппаратов.....	430
Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сакенов Б.Е., Самбетбаева М.А. Распознавание языка жестов с использованием временных свёрточных сетей и MediaPipe4.....	43
Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н. Поддержка принятия решений при реагировании на атаки в киберфизических промышленных системах интернета вещей.....	461

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 1.
Number 357 (2026). 337–354

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.416>

IRSTI 27.35.33
UDC 665.6: 51–74

© **Orazbayev B.B.**¹, **Zhumadillayeva A.K.**^{1*}, **Kurbangalieva N.B.**¹,
Orazbayeva K.N.², 2026.

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

² Esil university, Astana, Kazakhstan.
E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

SYNTHESIS OF LINGUISTIC MODELS FOR ASSESSING SULFUR QUALITY AND FUZZY MODELING OF THE SULFUR PRODUCTION PROCESS

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>;

Kurbangalieva Nazgul — doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. E-mail: nazgulknb@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1912-1013>;

Orazbayeva Kulman — doctor of technical sciences, professor, Esil University, Astana, Kazakhstan, E-mail: kulman_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Abstract. Technological objects of various industries belong to complex technological systems, often operating in a fuzzy environment, which significantly complicates the processes of developing their mathematical models. In this regard, currently, solving the problems of synthesizing models of complex, poorly formalized technological production systems in a fuzzy environment is a highly relevant scientific and practical task. In this study, using the example of a sulfur production unit (SPU), the main problems of synthesizing linguistic models of complex technological systems in a fuzzy environment and applying them for fuzzy modeling and optimization of their operating modes are addressed. The main results obtained as a result of the conducted research: a new method for synthesizing effective linguistic models of complex technological systems with fuzzy input and output parameters operating in a fuzzy environment; synthesized linguistic models of the SPU, allowing for modeling and optimization of their operating modes; created rule bases forming linguistic models of the SPU, visualization of the results of fuzzy modeling of the SPU and their interpretation. The study's results were obtained using expert assessment methods and fuzzy

logic rules for conditional inference in fuzzy set theories. Fuzzy Logic Toolbox was used for fuzzy modeling of the sulfur production process. The scientific novelty of the proposed method for synthesizing linguistic models of complex systems in a fuzzy environment lies in the development of methods for modeling poorly formalized complex systems, enabling the modeling and optimization of such systems. The practical significance of the obtained results lies in their ability to effectively model and optimize the operating modes of complex technological systems in various industries in a fuzzy environment.

Keywords: linguistic models; fuzzy modeling; sulfur production unit: decision maker; sulfur production process

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).*

For citations: Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbangalieva N.B., Orazbayeva K.N. Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. — P. 337–354. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.416>

©Оразбаев Б.Б.¹, Жумадиллаева А.К.^{1*}, Курбангалиева Н.Б.¹,
Оразбаева К.Н.², 2026.

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Esil university, Астана, Қазақстан.

E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

КҮКІРТ САПАСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ЛИНГВИСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ КҮКІРТТІ ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН БҰЛЫҢҒЫР 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 Айнура — 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>;

Курбангалиева Назгуль — докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: nazgulknb@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1912-1013>;

Оразбаева Кульман — техника ғылымдарының докторы, профессор, Esil university, Астана, Қазақстан,

E-mail: kulman_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Аннотация. Көптеген өндіріс салаларының технологиялық нысандары әдетте айқын емес ортада жұмыс жасмайтын күрделі технологиялық жүйелерге жататындықтан олардың математикалық модельдерін құру процестері айтарлықтай қиындықтармен сипатталады. Сондықтан қазіргі уақытта кіріс және шығыс параметрлері айқын емес күрделі, нашар формализаланатын технологиялық жүйелерінің модельдерін синтездеу мәселелерін шешу өте өзекті ғылыми және практикалық міндет болып табылады. Бұл зерттеуде күкірт өндіру блогынның (КӨБ) сияқты күрделі технологиялық жүйелердің лингвистикалық модельдерін айқын емес ортада синтездеу және олардың жұмыс режимдерін айқынсықта модельдеу және оптимизациялау үшін қолданудың негізгі мәселелер зерттеліп, оларды шешу тәсілдемелір ұсынылған. Жүргізілген зерттеулердің негізгі нәтижелері: айқынсыздықпен сипатталатын, кіріс және шығыс параметрлері айқын емес күрделі технологиялық жүйелердің тиімді лингвистикалық модельдерін синтездеудің жаңа әдісі; КӨБ жұмыс режимдерін айқынсыздықта тиімді модельдеуге және оптимизациялауға мүмкіндік беретін оның синтезделген лингвистикалық модельдері; КӨБ лингвистикалық модельдерін қалыптастыратын айқын емес ережелер базасы; КӨБ айқынсыздықта модельдеу нәтижелерін визуализациялануы және олардың интерпретациялануы. Зерттеу нәтижелері эксперттік бағалау тәсілдерін және айқын емес жиындар теорияларын логикалық қорытындылау ережелерін қолдану арқылы алынған, ал күкірт өндіру процесін айқынсыздықта модельдеу үшін MATLAB жүйесінің Fuzzy Logic Toolbox қосымшасы пайдаланылды. Күрделі технологиялық объектілердің лингвистикалық модельдерін айқынсыздықта синтездеудің ұсынылған тәсілінің ғылыми жаңашылдығы мен маңыздылығы айқын емес кіріс және шығыс параметрлері бар нашар формализанған күрделі жүйелерді айқынсыздықта тиімді модельдеуге және оптимизациялауға мүмкіндік беретін тиімді тәсілінін дапмытуда. Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы – айқын емес ортада түрлі өндіріс салаларының күрделі технологиялық жүйелері жұмыс режимдерін айқынсыздықта тиімді модельдеуге және оптимизациялауға мүмкіндік беретінде.

Түйін сөздер: лингвистикалық модельдер; айқын емес модельдеу; күкірт өндіру блогы; шешім қабылдаушы тұлға; күкірт өндіру процесі

© **Оразбаев Б.Б.¹, Жумадилаева А.К.^{1*}, Курбангалиева Н.Б.¹,
Оразбаева К.Н.², 2026.**

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Esil university, Астана, Казахстан.

E-mail: zhumadillayeva_ak@enu.kz

СИНТЕЗ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕРЫ И НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ

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>;

Жумадилаева 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>;

Курбангалиеваазгуль — докторант, Евразийский национальный университет имени

Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: nazgulknb@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1912-1013>;

Оразбаева Кульман — доктор технических наук, профессор, Университет «Есиль», Астана, Казахстан,

E-mail: kulman_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1741-7553>.

Аннотация. Технологические объекты промышленных производств представляют собой сложные системы, функционирующие в условиях неопределённости и нечёткости, что существенно усложняет процессы их математического моделирования. В этой связи задача синтеза моделей сложных, слабо формализуемых технологических систем в нечёткой среде является актуальной научно-практической проблемой. В данном исследовании на примере блока производства серы (БПС) рассматриваются подходы к синтезу лингвистических моделей сложных технологических систем и их применению для нечёткого моделирования и оптимизации режимов работы. В результате исследования предложен новый метод синтеза эффективных лингвистических моделей, предназначенных для описания систем с нечёткими входными и выходными параметрами. Разработаны лингвистические модели БПС, позволяющие осуществлять моделирование и оптимизацию технологических режимов. Сформированы базы правил, лежащие в основе данных моделей, а также реализована визуализация результатов нечёткого моделирования и их интерпретация. Методическая основа исследования включает методы экспертной оценки, аппарат нечётких множеств и нечёткие правила вывода. Для реализации моделей использовано программное средство Fuzzy Logic Toolbox в среде MATLAB. Научная новизна исследования заключается в развитии методов моделирования сложных технологических объектов, функционирующих в условиях

неопределённости, что позволяет повысить точность и эффективность управления такими системами. Практическая значимость работы состоит в возможности применения предложенных моделей для оптимизации режимов работы технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: лингвистические модели; нечеткое моделирование; блок производства серы: лицо, принимающее решение; процесс производства серы

Введение. Качественная сера, получаемая из вредных серосодержащих газов, выделяемых в процессах переработки нефти, и создающие экологические проблемы для нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) является важнейшей продукцией этих НПЗ, позволяющей повысить их экономическую эффективность и решить экологические проблемы. Качественная сера используются для производства медицинских препаратов, порохов, взрывчатых веществ, удобрений, резины, красок и других продуктов химического и других производства (Petrova et al. 2019; Kleinjan et al. 2022). В связи с этим эффективное ведение процесса производства качественной серы, получаемая в блоке получения серы (БПС) установки производства серы (УПС) является приоритетным направлением развития нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) (Naumova, 2022). В настоящее время самым эффективным подходом к повышению эффективности процессов производства качественной серы из сероводородов является научно обоснованные методы на основе методов системного анализа, математического моделирования с применением компьютерных технологий (Orazbayev et al. 2020; Medhat et al. 2024).

БПС установки производства серы, предназначенный для получения качественной серы из вредных кислых газов, выделяемых в процессах нефтепереработки, относятся к сложным технологическим системам, в которых протекающие в них процессы характеризуются множеством взаимосвязанных параметров (Edmonson et al. 2019; Ostrovsky et al. 2020). Кроме того, многие сложные технологические системы, как БПС, образующиеся из взаимосвязанных агрегатов, и как правило характеризуются неопределенностью вероятностного и/или нечеткого характера значения параметрах и состояниях. В связи с этим намного усложняются процессы разработки математических моделей таких сложных технологических систем из-за их сложности, неопределенности и нечеткости необходимой информации для эффективного моделирования и оптимизации режимов их работы. Нечеткость доступной информации для оценки качественных показателей серы для синтеза моделей и моделирования процесса производства качественной серы, протекающего в БПС, мотивировали проведения данного исследования, посвященного для синтеза лингвистических моделей для оценки качества серы. Такие лингвистические модели, синтезированные на основе нечетко выраженного опыта, знания и соображения лица, принимающего решения (ЛПР), принимающие решения

по управлению процессом производства серы и экспертов позволяют более адекватно и эффективно моделировать процесса производсва качественной серы.

Литературный обзор. В последнее время в связи с развитием и достижениями методов теорий нечетких множеств и экспертной оценки, относящихся к методам искусственного интеллекта, задачи и методы моделирования, оптимизации и управления на основе использования нечеткой информации активно исследуются. Приведем основные результаты обзора и анализа литератур, посвященных к исследованию и решению проблем моделирования сложных технологических систем, в том числе систем производства серы.

Проблемы моделирования сложных трудно формализуемых технологических систем, состоящие из множества компонентов и работающие в условиях различных видов неопределенностей исследованы авторами работ (Protalinskii et al. 2019; Makowski, 2021; Voccara, 2020; Pesci et al. 2023). В перечисленных работах Protalinskii соавторами проанализировали проблемы моделирования сложных многокомпонентных технических, технологических систем с разными типами неопределенностейна основе компонентного подхода и предложили подходы к их решению. Makowski в своей работе привел результаты исследовании проблем структурированного моделирования, позволяющего преодолеть некоторых неопределенностей при решении сложных проблем. В последних двух анализированных работах авторы исследовали основных проблем моделирования сложных систем и оценки неопределенностей, возникающих при их моделирования для решения задач прогнозирования.

Вопросы применения методов искусственного для моделирования различных сложных систем исследованы в следующих (Zhao, 2024; Szczerbicka, 2020; Minullin et al. 2024; Sarker, 2022) и в других работах. Например, в работе Zhao исследованы подходы к решению проблем сложных систем в условиях неопределенности на основе методов искусственного интеллекта. Роль концепций искусственного интеллекта в системном моделировании изучены в работе Szczerbicka и других. Minullin совместно с соавтором проанализировали моделей машинного обучения на основе методов искусственного интеллекта и применение их в задачах образовательной аналитики. Вопросы применения методов искусственного интеллекта для моделирования задач автоматизации и интеллектуальных систем исследованы в работе Sarker.

В анализированных выше и других работах по теме данного исследования в основном исследованы проблемы неопределенности стохастического характера и частичной нечеткости доступной информации. При этом в системах с частичными нечеткими параметрами обычно нечеткими являются только выходные параметры систем, а входные их параметры - четкими. В известных работах для решения проблем неопределенности стохастического

характера исходной информации предлагаются использовать методов теорий вероятностей и математической статистики, а также стохастического программирования. А для решения проблем моделирования систем с нечеткими выходными параметрами используются методы экспертной оценки и нечетких множеств.

Предлагаемые подходы к разработке моделей систем с нечеткими выходными параметрами основаны на использовании a срезов (множества уровня a) выходные параметры преобразуются в набор четких параметров. Но в процессе преобразования немалая часть собранной нечеткой информации между a срезами, представляющей собой опыт, знания и эрудицию ЛПР, специалистов-экспертов, теряется, что снижает адекватность разрабатываемых моделей. Попытка повышения адекватности разрабатываемых моделей за счет увеличения числа a срезов приведет к резкому увеличению размерности задач по разработке моделей и затрат ресурсов, а также значительно снижает эффективность моделирования.

На практике сложные технологические системы типа БПС могут характеризоваться нечеткостью и выходных, режимных параметров, и выходных параметров, т. е. они могут функционировать в условиях полной нечеткости, в нечеткой среде. В анализированных и других известных исследованиях, посвященных к моделированию сложных систем с нечеткими параметрами, не охвачены проблемы разработки моделей и моделирования систем с нечеткими входными и выходными параметрами. В этой связи определена цель исследования данной работы, которая заключается в разработке метода синтеза лингвистических моделей сложных технологических систем с нечеткими входными и выходными параметрами, т. е. в нечеткой среде. А также разрабатываемый метод будет реализован на примере синтеза лингвистических для оценки качества серы и нечеткого моделирования процесса производства качественной серы в БПС.

Материалы и методы исследования. В качестве конкретной технологической системы в данной работе исследуется блок производства качественной серы Атырауского НПЗ, который характеризуется нечеткими входными, выходными параметрами и является объектом исследования. Материалами исследования работы являются доступные статистические данные об объекте исследования, от режимных листов его работы и нечеткая информация, получаемая от ЛПР, специалистов-экспертов о нечетких значениях входных параметрах БПС, влияющие и нечетко оцениваемых качественных показателей вырабатываемой серы. В процессе синтеза лингвистических моделей для определения нечетких качественных показателей серы в качестве материалов исследования используются:

- нечеткая информация от ЛПР, специалистов-экспертов, выражающая их знания, опыт и суждения, которая получена на основе методов экспертных оценок (Gutsykova, 2021; Shved, 2020);

- база правил, описывающая различные условия и соответствующие

выводы, которые определяют качественные показатели серы в зависимости от нечетких значений входных режимных параметров БПС. База правил создается на основе логических правил условного вывода теорий нечетких множеств (Jørgensen, 2020; Zimmermann, 2023).

На основе нечетких правил условного вывода и различных операций над нечеткими множествами и процедур нечетких множеств предлагается новый метод синтеза лингвистических моделей, позволяющий синтезировать лингвистические модели сложных технологических систем в нечеткой среде. Блок-схема предлагаемого метода синтезе лингвистических моделей сложных технологических систем с нечеткими входными и выходными параметрами представлена ниже на рисунке 1.

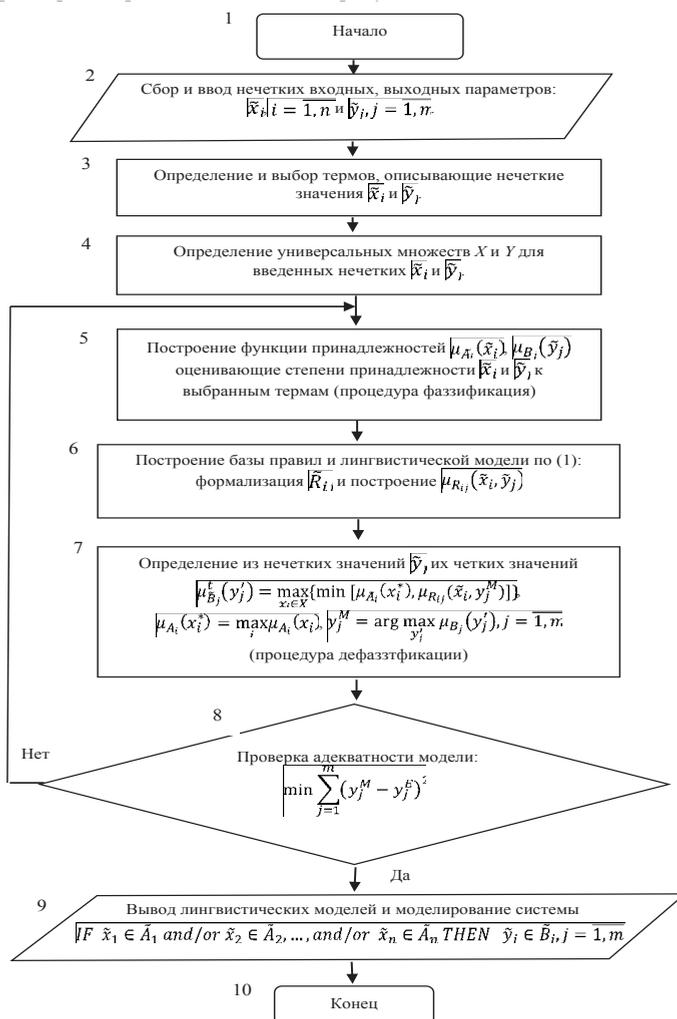


Рисунок 1 - Блок-схема предлагаемого метода синтезе лингвистических моделей сложных технологических систем с нечеткими входными и выходными параметрами

Приведем описание основных блоков разработанного метода синтеза лингвистических моделей сложных систем. В блоке 2 на основе проведенных исследований и экспертной оценки выбираются нечеткие входные, режимные $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}$ и выходные $\tilde{y}_j, j = \overline{1, m}$ параметры технологических систем. В этом блоке выбираются те $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}$, которые влияют на значения $\tilde{y}_j, j = \overline{1, m}$ технологических систем.

В следующих 3-м и 4-м блоках с участием ЛПР и экспертов определяются терм-множества термы, которые нечетко описывают \tilde{x}_i и \tilde{y}_j . Также определяются универсальные множества X и Y , задающие интервалы изменения входных и выходных параметров.

В 5-м блоке строятся функции принадлежности, которые описывают степени принадлежности термов к нечетким множествам, нечетко описывающих значения \tilde{x}_i и \tilde{y}_j , т. е. в этом блоке реализуется процедура фаззификации.

В следующем 6-м блоке метода формализуется база правил, на основе которой синтезируются лингвистические модели, состоящей из логических правил условного вывода, имеющие в общем виде следующую структуру:

$$\frac{\overline{IF \tilde{x}_1 \in \tilde{A}_1 \text{ and/or } \tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2, \dots, \text{ and/or } \tilde{x}_n \in \tilde{A}_n}}{\overline{THEN \tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, j = \overline{1, m}}}} \quad (1)$$

Таким образом, лингвистические модели нечетко описывающие влияния нечетких входных параметров $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}$ на нечеткие выходные параметры $\tilde{y}_j, j = \overline{1, m}$ синтезируются на основе методов экспертной оценки и нечетких правил условного вывода теорий нечетких множеств. Затем на основе базы правил формализуются нечеткие отображения \tilde{R}_{ij} , описывающие нечеткие связи между входными $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}$ и выходными $\tilde{y}_j, j = \overline{1, m}$ параметрами технологических систем. Для удобства нечеткие отображения \tilde{R}_{ij} формализуются через их функции принадлежности $\mu_{\tilde{R}_{ij}}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j)$. Затем на основе композиционного правила вывода $\tilde{B}_j = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_{ij}$, где $\tilde{A}_i \subset X$, $\tilde{B}_j \subset Y$, а X, Y - универсальные множества, определенные в блоке 4. Тогда для каждого термина t из терм-множеств нечеткое отображение можно определить декартовым произведением соответствующих универсальных множеств: $\tilde{R}_{ij}^t = \tilde{A}_i^t \times \tilde{B}_j^t$.

В блоке 7 для проведения расчетов необходимо на основе функций принадлежности нечеткого отображения \tilde{R}_{ij} построить матрицы нечетких отношений $\mu_{\tilde{R}_{ij}}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j)$, которую в общем виде на основе операции пересечения можно записать как:

$$\mu_{\tilde{R}_{ij}}^t(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j) = \min \left[\mu_{\tilde{A}_i}^t(x_i), \mu_{\tilde{B}_j}^t(y_j) \right], i = \overline{1, n}$$

На основе данного правила можно определить значения функции принадлежности выходных параметров по формуле:

$$\mu_{B_j}^t(y_j) = \max_{x_i \in X} \{ \min [\mu_{\tilde{A}_i}(x_i^*), \mu_{R_{ij}}(\tilde{x}_i, y_j^M)] \}. \quad (2)$$

В формуле (2) через \tilde{x}_i^* - обозначены оцененные экспертами нечеткие значения режимных параметров. Тогда искомое множество, в котором принадлежат текущие значения режимных параметров, определяется по формуле $\mu_{A_i}(x_i^*) = \max_i \mu_{A_i}(x_i)$, т. е. как множество, в котором значения режимных параметров имеют максимального значения функции принадлежности.

Для дефаззификации результатов, т. е. определения числовых значений выходных параметров y_j^M из множества нечетких решений можно применить следующего выражения: $y_j^M = \arg \max_{y_j} \mu_{B_j}(y_j), j = \overline{1, m}$. Таким образом числовые значения выходных параметров выбираются как аргумент максимального значения функции принадлежности выходных параметров.

В 8-м блоке проверяется условие адекватности полученной модели:

$$\min \sum_{j=1}^m (y_j^M - y_j^E)^2 \leq S_R,$$

где y_j^M - дефаззифицированные значения выходных параметров технологической системы; y_j^E - реальные значения выходных параметров, полученные экспериментальным путем на исследуемой технологической системе; S_R - заданный уровень адекватности. Значения y_j^M и y_j^E должны быть получены при одинаковых значениях $x_i^*, i = \overline{1, n}$.

При выполнении условия блока 8 в блоке 10 выводятся синтезированные лингвистические модели с необходимой адекватностью. Если условие не выполняется, то начиная с 5-го блока начинается новая итерация синтеза более адекватных моделей.

Результаты исследования. На основе предложенного в предыдущем разделе метода синтеза лингвистических моделей построены лингвистические модели, оценивающие основного качественного показателя серы - массовую долю серы в полученной на выходе БПС, позволяющие нечетко моделировать в приложения Fuzzy Logic Toolbox (Servin, 2023).

Согласно предложенного метода с использованием результатов исследования и экспертной оценки основными входными, режимными параметрами, наиболее влияющие на \tilde{Y}_1 - массовую долю серы в получаемой на выходе БПС сере определены: \tilde{x}_1, \tilde{x}_2 - соответственно температура и давление в реакторах Cold Bed Absorption (CBA) БПС, характеризующие нечеткостью.

Определены следующие терм-множества, нечетко описывающие входные и выходные параметры (реализация блока 3):

$$\tilde{x}_1 = \{\text{«низкая»}, \text{«ниже средней»}, \text{«средняя»}, \text{«выше средней»}, \text{«высокая»}\};$$

$$\tilde{x}_2 = \{\text{«низкое»}, \text{«ниже нормы»}, \text{«нормальное»}, \text{«выше нормы»}, \text{«высокое»}\};$$

$$\tilde{y}_1 = \{\text{«очень низкая»}, \text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}, \text{«очень высокая»}\}$$

(блоки 3.4).

Далее построения функции принадлежности нечетких параметров \tilde{x}_1 , \tilde{x}_2 и \tilde{y}_1 введены сокращенные обозначения термов, которые их описывают (таблица 1)

Таблица 1 - Термы лингвистических переменных и их сокращенные обозначения для построения их функции принадлежности и формирования базы правил

Термы нечетких параметров	Обозначение
Низкий (Low)	<i>LW</i>
Ниже среднего (Below average)	<i>BA</i>
Средний (Average)	<i>AR</i>
Выше среднего (Above average)	<i>AA</i>
Высокий (High)	<i>HG</i>
Ниже нормы (Below normal)	<i>BN</i>
Нормальный (Normal)	<i>NR</i>
Выше нормы (Above normal)	<i>AN</i>
Очень низкий (Very low)	<i>V LW</i>
Очень высокий (Very high)	<i>VHG</i>

Универсальные множества переменных \tilde{x}_1 , \tilde{x}_2 и \tilde{y}_1 необходимые для построения функции принадлежности (блок 4) приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Универсальные множества для \tilde{x}_1 , \tilde{x}_2 и \tilde{y}_1 .

Нечеткие входные параметры (лингвистические переменные)	Значения нечетких входных параметров				
	<i>LW</i>	<i>BA, BN</i>	<i>AR, NR</i>	<i>AA, AN</i>	<i>HG</i>
\tilde{x}_1 - температура в реакторах СВА	279–283	281–285	283–287	285–289	287–291
\tilde{x}_2 - давление в реакторах СВА	0,77–0,81	0,79–0,83	0,81–0,85	0,83–0,89	0,85–0,89
Нечеткие выходные параметры	Значения нечетких входных переменных				
	<i>V LW</i>	<i>LW</i>	<i>AR</i>	<i>HG</i>	<i>VHG</i>
\tilde{y}_1 - массовая доля серы	99.80–99.85	99.83–99.88	99.86–99.94	99.92–99.97	99.94–99.99

Далее приведем результаты реализации процедуры фаззификации и других процедур нечеткого вывода с использованием инструментарий Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB.

Ниже на рисунке 2 а), б) приведены функции принадлежности гауссовского типа для нечетких входных параметров \tilde{x}_1 , и \tilde{x}_2 , а на рисунке 3 - для выходного параметра \tilde{y}_1 , построенные с применением Fuzzy Logic Toolbox.

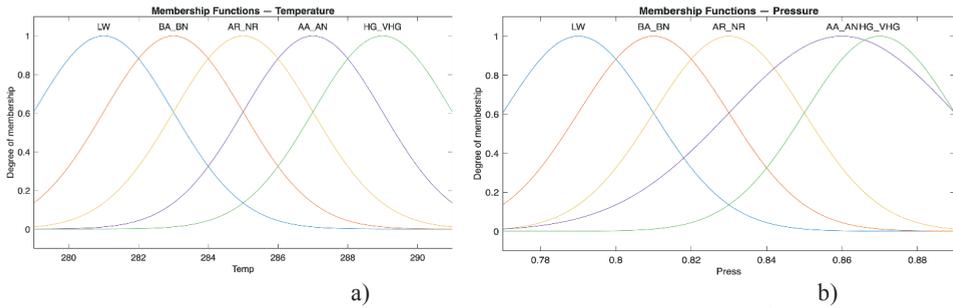


Рисунок 2 - Функции принадлежности нечетких входных параметров а) \tilde{x}_2 - температура в реакторах СВА; б) \tilde{x}_2 - давление в реакторах СВА

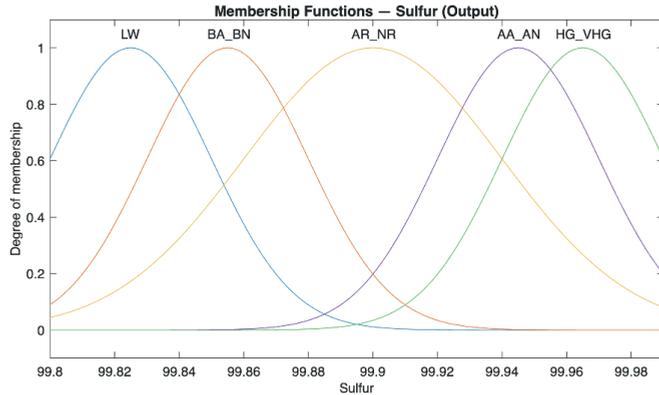


Рисунок 3 - Функции принадлежности выходного параметра \tilde{y}_1 - массовая доля серы производимой серы

Созданная база правил для системы нечеткого вывода, позволяющая оценить качества серы от нечетких входных параметров представлены ниже в виде правил нечетких продукций.

- Rule 1: IF « \tilde{x}_1 is LW» and « \tilde{x}_2 is LW» THEN « \tilde{y}_1 is VLW» F_1 ;
- Rule 2: IF « \tilde{x}_1 is LW» and « \tilde{x}_2 is BN» THEN « \tilde{y}_1 is VLW» F_2 ;
- Rule 3: IF « \tilde{x}_1 is BA» and « \tilde{x}_2 is LW» THEN « \tilde{y}_1 is LW» F_3 ;
- Rule 4: IF « \tilde{x}_1 is BA» and « \tilde{x}_2 is BN» THEN « \tilde{y}_1 is VLW» F_4 ;
- Rule 5: IF « \tilde{x}_1 is LW» and « \tilde{x}_2 is NR» THEN « \tilde{y}_1 is VLW» F_5 ;
- Rule 6: IF « \tilde{x}_1 is AR» and « \tilde{x}_2 is LW» THEN « \tilde{y}_1 is LW» F_6 ;
- Rule 7: IF « \tilde{x}_1 is BA» and « \tilde{x}_2 is NR» THEN « \tilde{y}_3 is LW» F_7 ;
- Rule 8: IF « \tilde{x}_1 is AR» and « \tilde{x}_2 is BN» THEN « \tilde{y}_1 is LW» F_8 ;
- Rule 9: IF « \tilde{x}_1 is AR» and « \tilde{x}_2 is NR» THEN « \tilde{y}_1 is LW» F_9 ;
- Rule 10: IF « \tilde{x}_1 is LW» and « \tilde{x}_2 is AA» THEN « \tilde{y}_1 is LW» F_{10} ;
- Rule 11: IF « \tilde{x}_1 is AA» and « \tilde{x}_2 is LW» THEN « \tilde{y}_1 is AR» F_{11} ;
- Rule 12: IF « \tilde{x}_1 is BA» and « \tilde{x}_2 is AA» THEN « \tilde{y}_1 is AR» F_{12} ;
- Rule 13: IF « \tilde{x}_1 is AA» and « \tilde{x}_2 is BN» THEN « \tilde{y}_1 is AR» F_{13} ;
- Rule 14: IF « \tilde{x}_1 is AR» and « \tilde{x}_2 is AA» THEN « \tilde{y}_1 is AR» F_{14} ;
- Rule 15: IF « \tilde{x}_1 is AA» and « \tilde{x}_2 is NR» THEN « \tilde{y}_1 is AR» F_{15} ;
- Rule 16: IF « \tilde{x}_1 is AA» and « \tilde{x}_2 is AA» THEN « \tilde{y}_1 is HG» F_{16} ;

- Rule 17: IF « \tilde{x}_1 is LW» and « \tilde{x}_2 is HG» THEN « \tilde{y}_1 is HG» F_{17} ;
 Rule 18: IF « \tilde{x}_1 is HG» and « \tilde{x}_2 is LW» THEN « \tilde{y}_1 is HG» F_{18} ;
 Rule 19: IF « \tilde{x}_1 is BA» and « \tilde{x}_1 is HG» THEN « \tilde{y}_1 is HG» F_{19} ;
 Rule 20: IF « \tilde{x}_1 is HG» and « \tilde{x}_2 is BN» THEN « \tilde{y}_3 is HG» F_{20} ;
 Rule 21: IF « \tilde{x}_1 is AR» and « \tilde{x}_2 is HG» THEN « \tilde{y}_1 is VHГ» F_{21} ;
 Rule 22: IF « \tilde{x}_1 is HG» and « \tilde{x}_2 is NR» THEN « \tilde{y}_1 is VHГ» F_{22} ;
 Rule 23: IF « \tilde{x}_1 is AA» and « \tilde{x}_2 is HG» THEN « \tilde{y}_1 is VHГ» F_{23} ;
 Rule 24: IF « \tilde{x}_1 is HG» and « \tilde{x}_2 is AA» THEN « \tilde{y}_1 is VHГ» F_{24} ;
 Rule 25: IF « \tilde{x}_1 is HG» and « \tilde{x}_2 is HG» THEN « \tilde{y}_1 is VHГ» F_{25} ;

В приведенных правилах F_1, \dots, F_{25} - весовые коэффициенты, отражающие степень уверенности в истинности подзаключений, которые принимают значения на интервале от 0 до 1. В нашей задаче все они равны 1.

Приведенная нечеткая база знаний реализована с помощью Fuzzy Logic Toolbox и представлена на рисунке 4.

System: CBA_Sulfur_Quality

Add All Possible Rules Clear All Rules

	Rule	Weig...	Name
1	If Temp is LW and Press is LW then Sulfur is LW	1	rule1
2	If Temp is LW and Press is BA_BN then Sulfur is BA_BN	1	rule2
3	If Temp is LW and Press is AR_NR then Sulfur is AR_NR	1	rule3
4	If Temp is LW and Press is AA_AN then Sulfur is AA_AN	1	rule4
5	If Temp is LW and Press is HG_VHG then Sulfur is HG_VHG	1	rule5
6	If Temp is BA_BN and Press is LW then Sulfur is BA_BN	1	rule6
7	If Temp is BA_BN and Press is BA_BN then Sulfur is BA_BN	1	rule7
8	If Temp is BA_BN and Press is AR_NR then Sulfur is AR_NR	1	rule8
9	If Temp is BA_BN and Press is AA_AN then Sulfur is AA_AN	1	rule9
10	If Temp is BA_BN and Press is HG_VHG then Sulfur is HG_VHG	1	rule10
11	If Temp is AR_NR and Press is LW then Sulfur is AR_NR	1	rule11
12	If Temp is AR_NR and Press is BA_BN then Sulfur is AR_NR	1	rule12
13	If Temp is AR_NR and Press is AR_NR then Sulfur is AR_NR	1	rule13
14	If Temp is AR_NR and Press is AA_AN then Sulfur is AA_AN	1	rule14
15	If Temp is AR_NR and Press is HG_VHG then Sulfur is HG_VHG	1	rule15
16	If Temp is AA_AN and Press is LW then Sulfur is AA_AN	1	rule16
17	If Temp is AA_AN and Press is BA_BN then Sulfur is AA_AN	1	rule17
18	If Temp is AA_AN and Press is AR_NR then Sulfur is AA_AN	1	rule18
19	If Temp is AA_AN and Press is AA_AN then Sulfur is AA_AN	1	rule19

PROPERTY EDITOR: FIS

Type: Mamdani Type-1

Name: CBA_Sulfur_Quality

And method: min

Or method: max

Implication method: min

Aggregation method: max

Defuzzification method: centroid

Inputs: 2

Outputs: 1

Rules: 25

Рисунок 4 - Нечеткая база правил оценки качества серы

Результаты визуализации нечеткого логического вывода в RuleViewer приведены на рисунке 5. В поле Input указаны значения входных переменных, для которых выполняется логический вывод.

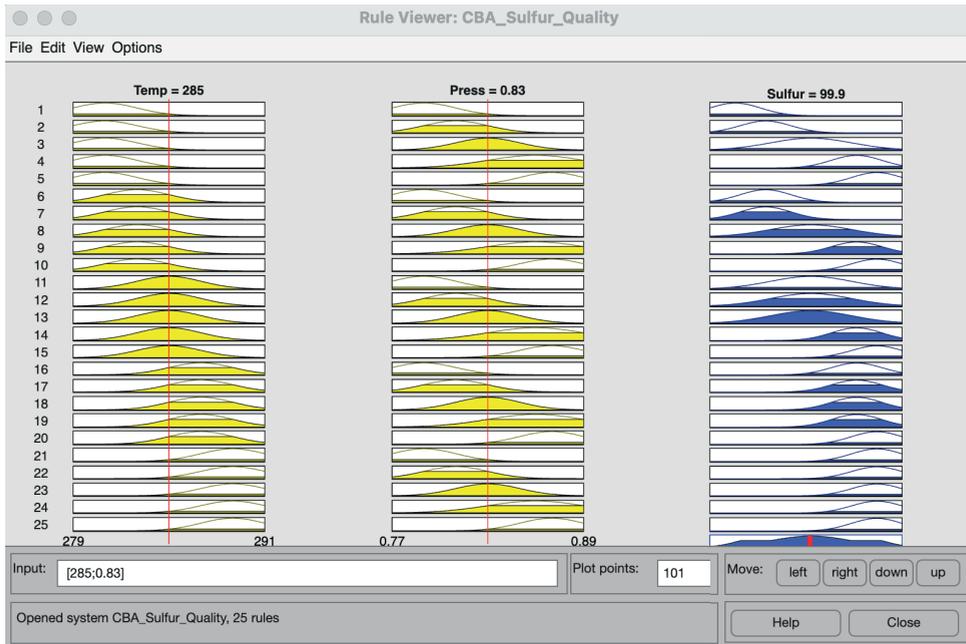


Рисунок 5 - Визуализация нечеткого логического вывода в RuleViewer

Поверхность “входы-выход”, которая соответствует полученной нечеткой системе, которая позволяет визуально просмотреть результаты нечеткого моделирования приведена на рисунке 6.

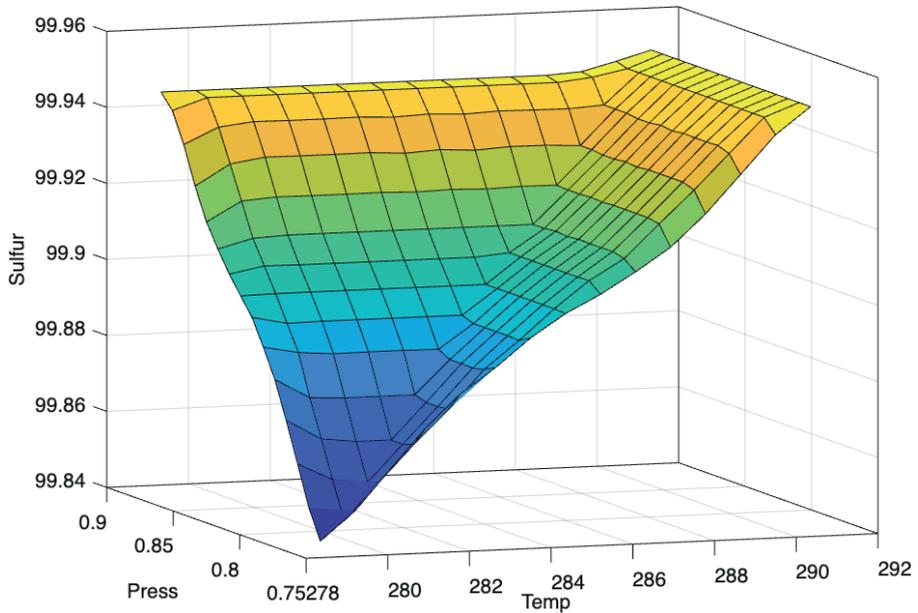


Рисунок 6 - Поверхность “входы-выход” в окне SurfaceViewer

Обсуждение результатов. Предложенный метод синтеза лингвистических моделей сложных технологических систем с нечеткими входными и выходными параметрами основан на использовании нечеткой информации и нечетких правил условного вывода и различных операций над нечеткими множествами и процедур нечетких множеств. Разработанный метод синтеза лингвистических моделей на основе экспертной оценки и методов теорий нечетких множеств позволяет синтезировать лингвистических моделей сложных систем и эффективно моделировать их в нечеткой среде.

Лингвистические модели, оценивающие массовую долю серы с выхода реакторов СВА, синтезированные с помощью предложенного метода синтеза лингвистических моделей, позволяют нечетко моделировать процесс производства серы в Fuzzy Logic Toolbox и выбрать оптимальный режим работы реакторов СВА. Как видно из результатов нечеткого моделирования, из поверхности «входы-выход» в окне SurfaceViewer (рисунок 6): чем меньше температура и давление реакторов, тем больше доля серы в выработанной сере, т. е. качество серы улучшается и наоборот. Это соответствует разработанной базе правил и означает, что необходимо выбрать компромиссное решение при выборе значений входных параметров реакторов СВА, так как они с одной стороны позволяют уменьшать объема серы, с другой стороны улучшает ее качество. Для этого придется решать задачу принятия решений по выбору наилучшего решения, в зависимости от спроса на объем серы и на ее качество, т. е. компромиссного решения.

Результаты визуализации нечеткого вывода в Rule Viewer (рисунок 5) позволяют провести обзор правил для нечеткого вывода каждого правила, результирующего нечеткого множества и реализации процедуры дефаззификации. На рисунке 5 приведен результаты моделирования в случае, когда введены входные параметры: значения температуры реакторов СВА 287°C и давления 0,85 кг/см². Тогда в результате нечеткого моделирования массовая доля серы в выработанной сере на входе БПС, т. е. ее основная качественная показатель равна 99.97. Это означает, что качество серы очень высокое, так как если массовая доля серы в полученной сере выше 99.94 ее качества по стандарту считается очень высоким. Таким образом с помощью данного окна можно, меняя нечетких значений входных параметров реакторов СВА, т. е. моделируя их режимы работы, оценить и выбрать наилучшее значения качества серы на выходе БПС.

Заключение. В статье разработан новый метод синтеза лингвистических моделей сложных технологических систем, позволяющие эффективно моделировать их в нечеткой среде. Разработанный метод реализован для синтеза лингвистических моделей оценки качества серы и нечеткого моделирования процесса производства качественной серы в блоке получения серы Атырауского НПЗ.

В качестве основных результатов исследования можно выделить:

- разработанный метод синтеза лингвистических моделей сложных, плохо

формализуемых технологических систем в нечеткой среде для нечеткого моделирования и оптимизации режимов их работы;

- синтезированные лингвистические модели на основе предложенного метода, позволяющие оценить качества серы и эффективно моделировать, а также оптимизировать процесса производства качественной серы в БПС в нечеткой среде;

- созданные базы правил на основе экспертной оценки и реализованные в приложении Fuzzy Logic Toolbox процедуры фазсификации, дефазсификации, нечеткое моделирование и визуализация их результатов.

Новизна результатов исследования заключается в создании нового метода синтеза лингвистических моделей сложных технологических систем с нечеткими входными и выходными параметрами, позволяющего эффективно моделировать и оптимизировать режимов их работы в нечеткой среде.

Дальнейшим направлением развития данного исследования является разработка эвристических алгоритмов принятия решений, которые на основе созданных лингвистических моделей БПС позволяют автоматизированном режиме принимать решение по эффективному управлению процессами производства качественной серы.

References

- Boccaro N. (2020) Modeling Complex Systems. Springer. -New York Dordrecht Heidelberg London. — 157 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6562-2> (in Eng.).
- Edmonson N. (2020) Industrial sulfur demand: Analysis and prospect. Nat Resour Res. –Vol. 3. — P.205–215 <https://doi.org/10.1007/BF02259046> (in Eng.).
- Jørgensen B. (2020) The rules of conditional inference: Is there a universal definition of nonformation? Journal It. Statist. Soc. — Vol. 3. — P. 355–384. <https://doi.org/10.1007/BF02589024> (in Eng.).
- Гуцыкова С. (2021) Метод экспертных оценок: Теория и практика: –М.: Когито-Центр. —147 с. (in Eng.).
- Kleinjan W.E., Keizer A., Janssen, A.J. (2022) Biologically Produced Sulfur. In: Steudel, R. (eds) Elemental Sulfur and Sulfur-Rich Compounds I. Topics in Current Chemistry, Springer, Berlin, Heidelberg. — Vol. 230. — P.167-188. <https://doi.org/10.1007/b12114> (in Eng.).
- Makowski M. (2021) Structured Modeling for Coping with Uncertainty in Complex Problems. In: Coping with Uncertainty. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, Berlin, Heidelberg. — Vol. 581. — P.47-64. https://doi.org/10.1007/3-540-35262-7_3 (in Eng.).
- Medhat A., Shehata W., Gad F. et al. (2024) Process simulation, optimization, and cost analysis of a proposed sulfur recovery unit by applying modified Claus technology. J. Eng. Appl. Sci. — Vol. 71, No 109. — P.25–37. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00437-3> (in Eng.).
- Minullin D.A., Gafarov F.M. (2024) Analyzing Machine Learning Models Based on Explainable Artificial Intelligence Methods in Educational Analytics. Autom. Doc. Math. Linguist. — Vol. 58. — P.115–122. <https://doi.org/10.3103/S0005105525700189> (in Eng.).
- Naumova V.V. (2022) Sulfur production from sulfur-containing gases. International Journal of Applied Sciences and Technologies. — No 4. — P.285-297. (in Eng.).
- Orazbayev B.B., Kenzhebaeva T.S., Abitova G.A., Orazbayeva K.N., Spichak Y.Y. (2020) Study and Design of Mathematical Models for Chemical-Technological Systems under Conditions of Uncertainty Based on the Systems Analysis. Proceeding of the International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM). Bristol, UK. July 24–25, 140528. — P.776–790.

Ostrovsky G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. (2020) Design of Chemical Engineering Systems with Chance Constraints. *Theor Found Chem Eng.* –Vol. 51. — No 5. — P. 961–971. <https://doi.org/10.1134/S0040579517060136>. (in Eng.).

Petrova A., Juraeva M. (2023) *Primenenie sery pri poluchenii vazhnykh produktov razlichnykh otraslej promyshlennosti* [The use of sulfur in the production of important products of various industries]. *Bulletin of Tomsk University.* — Volume 55. — pp.25-37. (in Russ.).

Pesci M.H., Mouris K., Haun S. (2023) Assessment of uncertainties in a complex modeling chain for predicting reservoir sedimentation under changing climate. *Model. Earth Syst. Environ.* — Vol. 9. — P. 3777–3793. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01705-6> (in Eng.).

Protalinskii O.M. (2019) Analysis and Modelling of Complex Engineering Systems Based on the Component Approach. *World Applied Sciences Journal.* — Vol. 24. No 2. — P.276–283. (in Eng.).

Sarker I.H. (2022) AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems. *SN Computer Science.* — Vol. 3. — P. 158-170. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x> (in Eng.).

Servin C., Becker B.A., Eaton E., Kumar A. (2023) Fuzzy Logic: Towards Developing Fuzzy Education Curricula Using ACM/IEEE/AAAI CS2023. In: Cohen, K., Ernest, N., Bede, B., Kreinovich, V. (eds) *Fuzzy Information Processing. NAFIPS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham. — Vol 751. — P.184-193. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46778-3_17 (in Eng.).

Shved A., Kovalenko I., Davydenko Y. (2020) Method of Detection the Consistent Subgroups of Expert Assessments in a Group Based on Measures of Dissimilarity in Evidence Theory. In: Shakhovska, N., Medykovsky, M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CSIT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham. —Vol 1080. — P. 36-53. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_4 (in Eng.).

Szczerbicka H., Uthmann T. (2020) The Role of Artificial Intelligence Concepts in System Modelling and Simulation: An Overview. In: Wolfinger, B. (eds) *Innovationen bei Rechen- und Kommunikationssystemen. Informatik aktuell*. Springer, Berlin, Heidelberg. — P. 390–397. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51136-3_51 (in Eng.).

Zhao T. (2024) Artificial Intelligence in Mathematical Modelling of Complex Systems. *EAI Endorsed Transactions on e-Learning.* –Vol. 10. No 3. — P. 2-12. (in Eng.).

Zimmermann H.-J. (2023) *Fuzzy Set Theory – and Its Applications: Springer Science+Business Media, LLC. Fifth. Edition.* — 527 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0> (in Eng.).

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 31.03.2026.

Формат 60x881/8.

20,0 п.л. Заказ 1.