

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№3  
2025**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER  
SCIENCE**

**3 (355)**

**JULY – SEPTEMBER 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>

**Mamyrbayev 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/>

#### БАС РЕДАКТОР:

**МҮТАНОВ 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 Максат 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>

**БАЙҒУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы**, 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 Алдаржарқызы**, 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 Галимжаир 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/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/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 Валдемар**, 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>

**СМОЛЯРЖ 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 учет 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 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», 2025

## CONTENTS

<b>S. Adilzhanova, B. Amirkhanov, G. Amirkhanova, A. Anuarbek</b> Innovative methods for ensuring cybersecurity of technological control systems of a digital twin of a food industry enterprise.....	11
<b>L.A. Alexeyeva</b> Vibrotransport bispinors of Dirac equations in biquaternionic representation at sublight speeds and their properties.....	25
<b>A. Amirova, B. Aldosh, A. Ibraikhan, T. Smagulov, A. Aitmagambet</b> A machine learning-based approach to detect malicious links on Instagram.....	41
<b>G. Argyngazin</b> Artificial intelligence: is alarmism justified?.....	52
<b>Zh.A. Abdibayev, S.K. Sagnayeva, B.B. Orazbayev, M. James C. Crabbe, K.A. Dyussekeyev</b> Development of an effective water accounting method for irrigation systems for automated water resource management systems.....	66
<b>Zh. Bazarbek, N. Toyganbaeva, M. Mansurova, T Sarsembayeva, M. Sakypbekova</b> Developing a dataset for creating a Large Language model (LLM) for the Kazakh language.....	78
<b>A. Bekarystankyzy, M. Baizakova, A. Kassenkhan, M. Iglíkova</b> Recommendation algorithms for educational preferences: a review.....	93
<b>A. Yerimbetova, U. Berzhanova, E. Daiyrbayeva, B. Sakenov, M. Sambetbayeva</b> Development of a parallel corpus for Kazakh sign language translation and training of the transformer model.....	110
<b>Sh.P. Zhumagulova, O.Zh. Stamkulov, K. Momynzhanova</b> Hybrid deep learning approach for accurate ECG beat classification using ResNet18 and BiLSTM.....	132
<b>A. Zулhazhav, G. Bekmanova, M. Altaibek, A. Omarbekova, A. Sharipbay</b> A personalized learning feedback system driven by a lexical semantic network.....	147

<b>T.S. Sadykova, B.K. Sinchev, Im Cho Young, A.S. Auyezova</b> The application of vector space models in intelligent information retrieval systems.....	160
<b>A. Sambetbayeva, V. Jotsov</b> Comparative analysis of deep learning architectures for road crack segmentation.....	176
<b>D. Oralbekova, A. Akhmediyarova, D. Kassymova, Z. Alibiyeva</b> Research on linguistic analysis methods for identifying and extracting text data in the Kazakh language.....	188
<b>Zh.S. Takenova</b> Research on expert assessment methods for determining teachers' priorities by discipline.....	204
<b>Zh. Tashenova, A.R. Gabdullin, Zh. Abdugulova, Sh. Amanzholova, E. Nurlybaeva</b> Analysis of modern wireless network security protocols and prospects for their development.....	228
<b>A. Temirbayev, N. Meirambekuly, N. Uzbekov, A. Beisen, L. Abdizhalilova</b> CubeSat-based APRS digipeater: design, feasibility and mission concept.....	243
<b>N. Temirbekov, D. Tamabay, S. Kasenov, A. Temirbekov, A. Baimankulov</b> A web-based system for air pollution monitoring with API-integrated data sources.....	258
<b>A.A. Tlepiyev, A. Mukhamedgali, Y.T. Kaipbayev, A.N. Kalmashova, Y.G. Mukhanbet</b> Surface water monitoring in Kazakhstan using NDWI and random forest: a case study of Lake Akkol.....	271
<b>Z. Turysbek, O. Mamyrbayev, M. Abdullah</b> Development of an intelligent system for detecting fake news.....	286
<b>G.S. Shaimerdenova, S.T. Akhmetova, A.N. Zhidebayeva, E.B. Mussirepova, D.A. Bibulova</b> The role of computer modeling in enhancing safety and efficiency in industrial facilities.....	301

## МАЗМҰНЫ

<p><b>С. Адилжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек</b> Тағам өнеркәсібі кәсіпорны цифрлық егізінің технологиялық басқару жүйелерінің киберқауіпсіздігін қамтамасыз етудің инновациялық әдістері.....</p>	11
<p><b>Л.А. Алексеева</b> Сублимация жылдамдығындағы бидуатерниондық көріністегі Дирак теңдеулерінің вибротранспорттық биспинорлары және олардың қасиеттері.....</p>	25
<p><b>А. Амирова, Б. Альдош, А. Ибрайхан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет</b> Instagramдағы зиянды сілтемелерді анықтау үшін машиналық оқытуға негізделген тәсіл.....</p>	41
<p><b>Ғ.А. Арғынғазин</b> Жасанды интеллект: алармистік көзқарас қалыптастыру орынды ма?.....</p>	52
<p><b>Ж.А. Әбдібаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюсекеев</b> Су ресурстарының автоматтандырылған жүйелеріне суару жүйелеріндегі су есептеудің тиімді әдісін әзірлеу.....</p>	66
<p><b>Ж.П. Базарбек, Н.А. Тойганбаева, М.Е. Мансурова, Т.С. Сарсембаева, М.Ж. Сақыпбекова</b> Қазақ тіліне арналған үлкен тіл моделін (LLM) жасау үшін Dataset әзірлеу..</p>	78
<p><b>А. Бекарыстанқызы, М. Байзакова, А. Қасенхан, М. Игликова.</b> Білім алуды жақсарту үшін ұсыныс беретін алгоритмдерге шолу.....</p>	93
<p><b>А.С. Еримбетова, У.Г. Бержанова, Э.Н. Дайырбаева, Б.Е. Сәкенов, М.А. Сәмбетбаева</b> Қазақ ым тіліне аудару үшін параллель корпус құру және transformer моделін оқыту.....</p>	110
<p><b>Ш.П. Жұмағұлова, О.Ж. Стамқұлов, К.Р. Момынжанова</b> RESNET18 және BILSTM қолдана отырып, ЭКГ жүрек соғысын дәл жіктеуге арналған гибридті терең оқыту тәсілі.....</p>	132
<p><b>А. Зулхажав, Г.Т. Бекманова, М. Алтайбек, А.С. Омарбекова, А.А. Шәріпбай</b> Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....</p>	147

<b>Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Im Cho Young, А.С. Аuezова</b> Интеллектуалды ақпаратты іздеу жүйелерінде векторлық кеңістік модельдерін қолдану.....	160
<b>А.К. Самбетбаева, В. Йоцов</b> Жол төсемінің жарықтарын сегментациялауда қолданылатын терең оқыту архитектураларын салыстырмалы талдау.....	176
<b>Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Қасымова, Ж. Алибиева</b> Қазақ тіліндегі мәтіндік ақпаратты анықтау және оны шығарып алу үшін лингвистикалық талдау әдістерін зерттеу.....	188
<b>Ж.С. Такенова</b> Пәндер бойынша оқытушылардың басымдығын бағалауға арналған сараптамалық бағалау әдістерін зерттеу.....	204
<b>Ж.М. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова, Э.Н. Нурлыбаева</b> Заманауи сымсыз желінің қауіпсіздік хаттамаларын талдау және олардың даму перспективалары.....	228
<b>А.А. Темирбаев, Н. Мейрамбекұлы, Н.Ш. Узбеков, Ә.Н. Бейсен</b> CUBESAT негізіндегі APRS қайта таратқышы: жобалау, іске асыру мүмкіндігі және миссия тұжырымдамасы.....	243
<b>Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов</b> API-интеграцияланған дереккөздері бар атмосфералық ауаның ластануын бақылауға арналған веб-негізделген жүйе.....	258
<b>А.А. Тлепиев, А. Мұхамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Ғ. Мұханбет</b> Қазақстандағы беткі суларды NDWI және RANDOM FOREST әдісі арқылы мониторингілеу: Ақкөл көлінің мысалында.....	271
<b>Ж. Тұрысбек, О.Ж. Мамырбаев, А. Мұхаммед</b> Жалған жаңалықтарды анықтайтын интеллектуалды жүйені әзірлеу.....	286
<b>Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Э.Б. Мусирепова, Д.А. Бибулова</b> Өнеркәсіптік объектілердің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудағы компьютерлік модельдеудің рөлі.....	301

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>С. Адильжанова, Б. Амирханов, Г. Амирханова, А. Ануарбек</b> Инновационные методы обеспечения кибербезопасности технологических систем управления цифрового двойника предприятия пищевой промышленности.....	11
<b>Л.А. Алексеева</b> Вибротранспортные биспиноры уравнений Дирака в бикватернионном представлении при дозвуковых скоростях и их свойства.....	25
<b>А. Амирова, Б. Алдош, А. Ибрайхан, Т. Смагулов, А. Айтмагамбет</b> Метод на основе машинного обучения для выявления вредоносных ссылок в Instagram.....	41
<b>Г. Аргынгазин</b> Искусственный интеллект: оправдан ли алармизм?.....	52
<b>Ж.А. Абдибаев, С.К. Сагнаева, Б.Б. Оразбаев, М. Джеймс К. Крэбб, К.А. Дюссекеев</b> Разработка эффективного метода учёта воды для ирригационных систем автоматизированного управления водными ресурсами.....	66
<b>Ж. Базарбек, Н. Тойганбаева, М. Мансурова, Т. Сарсембаева, М. Сакипбекова</b> Создание набора данных для разработки крупной языковой модели (LLM) для казахского языка.....	78
<b>А. Бекарыстанкызы, М. Байзакова, А. Кассенхан, М. Игликова</b> Алгоритмы рекомендаций для образовательных предпочтений: обзор.....	93
<b>А. Еримбетова, У. Бержанова, Е. Дайырбаева, Б. Сакенов, М. Самбетбаева</b> Создание параллельного корпуса для перевода казахского жестового языка и обучение трансформерной модели.....	110
<b>Ш.П. Жумагулова, О.Ж. Стамкулов, К. Момынжанова</b> Гибридный подход глубокого обучения для точной классификации сердечных сокращений ЭКГ с использованием ResNet18 и BiLSTM.....	132
<b>А. Зулхажав, Г. Бекманова, М. Алтайбек, А. Омарбекова, А. Шарипбай</b> Система персонализированной обратной связи в обучении на основе лексико-семантической сети.....	147

<b>Т.С. Садыкова, Б.К. Синчев, Им Чо Ён, А.С. Ауезова</b> Применение моделей векторного пространства в интеллектуальных системах информационного поиска.....	160
<b>А. Самбетбаева, В. Йоцов</b> Сравнительный анализ архитектур глубокого обучения для сегментации трещин на дорогах.....	176
<b>Д. Оралбекова, А. Ахмедиярова, Д. Касымова, З. Алибиева</b> Исследование методов лингвистического анализа для идентификации и извлечения текстовых данных на казахском языке.....	188
<b>Ж.С. Такенова</b> Исследование методов экспертной оценки для определения приоритетов учителей по дисциплинам.....	204
<b>Ж. Ташенова, А.Р. Габдуллин, Ж. Абдугулова, Ш. Аманжолова, Е. Нурлыбаева</b> Анализ современных протоколов безопасности беспроводных сетей и перспективы их развития.....	228
<b>А. Темирбаев, Н. Мейрамбекулы, Н. Узбеков, А. Бейсен, Л. Абдижалилова</b> APRS-дигипитер на основе CubeSat: проектирование, осуществимость и концепция миссии.....	243
<b>Н. Темирбеков, Д. Тамабай, С. Касенов, А. Темирбеков, А. Байманкулов</b> Веб-система мониторинга загрязнения воздуха с API-интеграцией источников данных.....	258
<b>А.А. Тлепиев, А. Мухамедгали, Е.Т. Кайпбаев, А.Н. Калмашова, Е.Г. Муханбет</b> Мониторинг поверхностных вод в Казахстане с использованием NDWI и случайного леса: кейс озера Аккол.....	271
<b>З. Турысбек, О. Мамырбаев, М. Абдулла</b> Разработка интеллектуальной системы для выявления фейковых новостей.....	286
<b>Г.С. Шаймерденова, С.Т. Ахметова, А.Н. Жидебаева, Е.Б. Муссирепова, Д.А. Бибулова</b> Роль компьютерного моделирования в повышении безопасности и эффективности промышленных объектов.....	301

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE  
ISSN 1991-346X  
Volume 3. Number 355 (2025). 301–313

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.379>

UDC 50.47.29

© G.S. Shaimerdenova<sup>1\*</sup>, S.T. Akhmetova<sup>1</sup>, A.N. Zhidebayeva<sup>2</sup>,  
E.B. Mussirepova<sup>1</sup>, D.A. Bibulova<sup>1</sup>, 2025.

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Peoples Friendship University named after Academician A. Kuatbekov,  
Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: danel01kz@gmail.com

## THE ROLE OF COMPUTER MODELING IN ENHANCING SAFETY AND EFFICIENCY IN INDUSTRIAL FACILITIES

**Shaimerdenova G.S.** — PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Department of Information and communication technologies, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: danel01kz@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8685-7125>;

**Akhmetova S.T.** — Cand.Phys.-Math.Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Department of Information and communication technologies, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: sabdas65@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5164-2028>;

**Zhidebayeva A.N.** — Cand.Tech. Sciences, Peoples Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Department of Computer Science and Mathematics, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: aziza\_68.kz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3768-4835>;

**Mussirepova E.B.** — Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Department of Information and communication technologies, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: musrepova\_elmira@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-7057>;

**Bibulova D.A.** — Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Department of Information and communication technologies, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: Danass86@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3879-8879>.

**Abstract.** This project aims to give data illustrating how computer modeling might boost security and efficiency in industrial facilities. The three primary considerations are emergency prediction, design optimization, and personnel training. Software packages like MATLAB Simulink, ANSYS Fluent, and Siemens NX were used. Utilizing these tools, simulations were conducted for a gas turbine with a capacity of fifty megawatts, a pipeline with a diameter of five hundred millimeters, and a chemical reactor with a volume of ten cubic meters. The results indicated that modifying turbine settings led to a 4% enhancement in efficiency and a decrease in the duration before turbine overheating from five minutes to seven minutes. The gas leak damage zone was reduced by 44% (from 320 meters to 180 meters) due to the installation of additional valves in the pipeline, resulting in a 35% drop in design costs. By augmenting the reactor wall thickness by twenty-five percent, the risk of destruction was completely mitigated. The use of training

simulators reduced operators' response time by 62.5%, decreasing it from 120 seconds to 45 seconds, and diminished the error rate by 40%, from 25% to 15%. The reliance on initial data and the need for considerable computer resources are the two aspects that constrain the strategy. The predicted greater integration of artificial intelligence and digital twin technologies is expected to enhance analytical capabilities and improve industrial safety levels.

**Keywords:** computer modeling, industrial safety, efficiency optimization, predictive maintenance, digital twins

© Г.С. Шаймерденова<sup>1\*</sup>, С.Т. Ахметова<sup>1</sup>, А.Н. Жидебаева<sup>2</sup>,  
Э.Б. Мүсірепова<sup>1</sup>, Д.А. Бибулова<sup>1</sup>, 2025.

<sup>1</sup>М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Академик Ө. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті,  
Шымкент, Қазақстан.

E-mail: [danel01kz@gmail.com](mailto:danel01kz@gmail.com)

## ӨНЕРКӘСІПТІК ОБЪЕКТІЛЕРДІҢ ҚАУІПСІЗДІГІ МЕН ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДАҒЫ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІҢ РӨЛІ

**Шаймерденова Г.С.** — PhD., доцент, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: [danel01kz@gmail.com](mailto:danel01kz@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8685-7125>;

**Ахметова С.Т.** — ф.-м.ғ.к., доцент, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: [sabdas65@mail.ru](mailto:sabdas65@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5164-202>;

**Жидебаева А.Н.** — т.ғ.к. Академик Ө. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Информатика және математика кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: [aziza\\_68.kz@mail.ru](mailto:aziza_68.kz@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3768-4835>;

**Мүсірепова Э.Б.** — аға оқытушы, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар кафедрасы. 160000. Шымкент, Қазақстан. E-mail: [musreпова\\_elmira@mail.ru](mailto:musreпова_elmira@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-7057>;

**Бибулова Д.А.** — аға оқытушы, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: [Danass86@mail.ru](mailto:Danass86@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3879-8879>.

**Аннотация.** Бұл зерттеудің мақсаты – өнеркәсіптік нысандарда қауіпсіздік пен өнімділік сезімін арттыру үшін компьютерлік модельдеуді қалай қолдануға болатынын көрсететін дәлелдерді қамтамасыз ету. Төтенше жағдайларды болжау, дизайнды оңтайландыру және қызметкерлерді оқыту - назарға алынатын ең маңызды үш мәселе. MATLAB Simulink, ANSYS Fluent және Siemens NX сияқты бағдарламалық қосымшалар пайдаланылды. Осы құралдар негізінде қуаттылығы елу мегаватт болатын газ турбины, диаметрі бес жүз миллиметрлік құбыр және он метр квадраттық химиялық реактор үшін

модельдеу жұмыстары жүргізілді. Нәтижелер турбина параметрлерін реттеу тиімділігін 4%-ға жақсартуға және турбинаның қызып кетуіне дейінгі уақытты бес минуттан жеті минутқа дейін қысқартуға әкелгенін көрсетті. Құбырға қосымша арматура орнату нәтижесінде газдың шығуының зақымдану аймағы 44%-ға (320 метрден 180 метрге дейін) қысқарды, бұл да жобалық шығындардың 35%-ға төмендеуіне әкелді. Реактор қабырғасының қалыңдығын жиырма бес пайызға ұлғайту арқылы бұзылу мүмкіндігі толығымен болдырылды. Оқыту тренажерларын қолдану арқылы операторлардың әрекет ету уақыты 120 секундтан 45 секундқа дейін 62,5%-ға қысқарды, ал қателер жиілігі 25%-дан 15%-ға дейін 40%-ға төмендеді. Бастапқы деректерге тәуелділік және есептеу ресурстарының айтарлықтай көлеміне деген қажеттілік тәсілдің шегіне ықпал ететін екі фактор болып табылады. Жасанды интеллект пен цифрлық егіздерге негізделген технологияларды одан әрі интеграциялау талдау мүмкіндіктерін кеңейтуге және өнеркәсіптік қауіпсіздік дәрежесін жақсартуға әкеледі деп күтілуде.

**Түйін сөздер:** компьютерлік модельдеу, өнеркәсіптік қауіпсіздік, тиімділікті оңтайландыру, профилактикалық қызмет көрсету, сандық егіздер

© Г.С. Шаймерденова<sup>1\*</sup>, С.Т. Ахметова<sup>1</sup>, А.Н. Жидебаева<sup>2</sup>,  
Э.Б. Мусирепова<sup>1</sup>, Д.А. Бибулова<sup>1</sup>, 2025.

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Университет дружбы Народов им. академика А. Куатбекова,  
Шымкент, Казахстан.

E-mail: danel01kz@gmail.com

## РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

**Шаймерденова Г.С.** — PhD, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Кафедра информационно-коммуникационных технологий, Шымкент, Казахстан,

E-mail: danel01kz@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8685-7125>;

**Ахметова С.Т.** — к.ф.-м.н., доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова. Кафедра информационно-коммуникационных технологий, Шымкент, Казахстан,

E-mail: sabdas65@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5164-2028>;

**Жидебаева А.Н.** — к.т.н., Университет дружбы Народов им. академика А. Куатбекова, Кафедра Информатика и математика, Шымкент, Казахстан,

E-mail: aziza\_68.kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3768-4835>;

**Мусирепова Э.Б.** — старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Кафедра информационно-коммуникационных технологий, Шымкент, Казахстан,

E-mail: musirepova\_elmira@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-7057>;

**Бибулова Д.А.** — старший преподаватель. Южно-Казахстанский университет имени

М. Ауэзова, Кафедра информационно-коммуникационных технологий, Шымкент, Казахстан,  
E-mail: Danass86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3879-8879>,

**Аннотация.** Целью данного исследования является предоставление доказательств, демонстрирующих, как компьютерное моделирование может быть использовано для повышения безопасности и производительности на промышленных объектах. Прогнозирование аварийных ситуаций, оптимизация проектирования и обучение персонала – три наиболее важных аспекта, которые принимаются во внимание. Использовались такие программные приложения, как MATLAB Simulink, ANSYS Fluent и Siemens NX. С помощью этих инструментов было выполнено моделирование для газовой турбины мощностью пятьдесят мегаватт, трубопровода диаметром пятьсот миллиметров и химического реактора объемом десять квадратных метров. Результаты показали, что корректировка параметров турбины привела к повышению КПД на 4% и сокращению времени до перегрева турбины с пяти до семи минут. Зона повреждения от утечки газа была уменьшена на 44% (с 320 метров до 180 метров) в результате установки дополнительных клапанов на трубопроводе, что также привело к снижению затрат на проектирование на 35%. Увеличив толщину стенки реактора на 25%, удалось полностью исключить возможность разрушения. Благодаря использованию тренажёров время реакции операторов сократилось на 62,5% – со 120 до 45 секунд, а частота ошибок – на 40% – с 25% до 15%. Зависимость от исходных данных и потребность в значительных вычислительных ресурсах – два фактора, ограничивающие возможности данного подхода. Ожидается, что дальнейшая интеграция технологий на основе искусственного интеллекта и цифровых двойников приведёт к расширению аналитических возможностей и повышению уровня промышленной безопасности.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, промышленная безопасность, оптимизация эффективности, профилактическое обслуживание, цифровые двойники

**Кіріспе.** Қауіпсіздік пен тиімділік өнеркәсіптік операциялардың маңызды негізі болып табылады, өйткені олар операциялық өміршеңдікке, шығындарды басқаруға және сәйкестікке тікелей әсер етеді. Өнеркәсіптік нысандардағы қауіпсіздікті қамтамасыз ету жұмыс күшін және оның айналасындағы қауымдастықтарды қорғап қана қоймайды, сонымен қатар өндірістегі жазатайым оқиғалардан туындайтын ақаулар мен заңды жауапкершіліктен қорғайды. Сол сияқты, өндірістік жағдайдағы тиімділік ресурстарды барынша пайдалану, қалдықтарды азайту және өнімділікті арттыру үшін өте маңызды, бұл кәсіпорынның экономикалық көрсеткіштерін арттырады. Қазіргі бәсекеге қабілетті нарықта бұл факторлардың интеграциясы тұрақты қызмет пен күшті корпоративтік беделді сақтау үшін өте маңызды (Johnson & Thompson, 2019).

Қоршаған ортаны қорғау мен қауіпсіздіктің барған сайын қатаң ережелері салалардың қауіпсіздікті де, тиімділікті де арттыратын тәжірибелер мен технологияларды енгізу қажеттілігін одан әрі анықтайды.

Қауіпсіздік пен тиімділікті үнемі арттыру өнеркәсіптік секторлардағы инновацияларды ынталандыруда да шешуші рөл атқарады. Осы аспектілерге басымдық бере отырып, компаниялар ағымдағы процестерді жақсартып қана қоймай, салалық стандарттарды қайта анықтай алатын жаңа әдістер мен технологиялардың дамуына әкелетін технологиялық жетістіктерді ынталандыра алады. Сонымен қатар, қауіпсіздік пен тиімділікті арттыру қазіргі еңбек нарығында жоғары бағаланатын қамқорлық пен жауапкершілік мәдениетін дамыту арқылы білікті жұмыс күшін тартуға және сақтауға көмектеседі. Сонымен қатар, жаһандық бәсекеге қабілеттілік жағдайында осы салаларда жақсы жұмыс істейтін салалар ұзақ мерзімді тұрақтылық пен өсуді қамтамасыз ете отырып, өзгертін нарық талаптары мен реттеуші ортаға бейімделуге көбірек мүмкіндіктерге ие (Lee & Kim 2021). Салалар цифрлық трансформация арқылы дамып келе жатқандықтан, компьютерлік модельдеу арқылы озық аналитика, Автоматтандыру және нақты уақыттағы мониторинг интеграциясы барған сайын күрделі өнеркәсіптік ортада өркендеу үшін қажетті қауіпсіздік пен тиімділіктің жоғары стандарттарын сақтау үшін маңызды болады.

Дәстүрлі түрде өнеркәсіптік операциялардың қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыру негізінен қолмен тексеруге, ағымдағы техникалық қызмет көрсетуге және жұмысшыларды оқыту бағдарламаларына байланысты болды. Бұл әдістер ықтимал қауіптерді анықтауға, жабдықтың істен шығуын болдырмауға және пайдалану процедураларының дәл орындалуын қамтамасыз етуге негіз болады. Қауіпсіздік мақсатында дәстүрлі тәсілдерге көбінесе жеке қорғаныс құралдарын (ЖҚК) пайдалану, қауіпсіздік хаттамаларын сақтау және төтенше жағдайларға дайындалу үшін тұрақты қауіпсіздік жаттығулары кіреді (Patel & Gupta 2020). Өнеркәсіптің тиімділігін арттыру үшін тарихи тұрғыдан арық өндіріс принциптеріне, тауарлы-материалдық құндылықтарды уақтылы басқаруға және қалдықтарды азайту және тоқтап қалу уақытын қысқарту үшін жұмыс процестерін оңтайландыруға сүйенді. Сонымен қатар, сапаны тексеру және стандартты операциялық процедураларды енгізу тұрақты нәтижелерді қамтамасыз етуде және қателерді азайтуда маңызды рөл атқарды. Алайда, бұл дәстүрлі әдістер белгілі бір дәрежеде тиімді болғанымен, олар әдетте адамның айтарлықтай араласуын қажет етеді және адам қателіктеріне бейім болуы мүмкін, бұл неғұрлым жетілдірілген және интеграцияланған технологиялық шешімдердің қажеттілігін көрсетеді.

Салалар дамып келе жатқандықтан, осы дәстүрлі әдістердің шектеулері барған сайын айқын бола бастады. Мысалы, қолмен тексеру және техникалық қызмет көрсету белгілі бір уақыт аралығында шектеулі жұмыс көлемін ғана қамтуы мүмкін, бұл көбінесе туындаған мәселелерге жауап берудің

кешеуілдеуіне немесе маңызды ақауларға әкелгенше негізгі мәселелерді анықтай алмауына әкеледі (Smith & Daniels, 2018). Сонымен қатар, адам деректерімен бақылауларына тәуелділік деректердің дәлдігі мен уақтылығының тұрақсыздығына әкелуі мүмкін, бұл қауіпсіздікке де, өнімділікке де қауіп төндіреді. Осы мәселелерді шешу үшін салалар технологиялық жетістіктерге көбірек бет бұруда. Автоматтандырылған бақылау жүйелері, сенсорлар және жетілдірілген диагностика сияқты құралдар дәлдік пен сенімділікті арттыру үшін дәстүрлі жүйелерге біріктіріледі. Бұл технологиялар нақты уақыт режимінде жабдықтар мен процестерді үздіксіз бақылауды қамтамасыз етеді, бұл ықтимал ақауларды немесе қауіпсіздік қатерлерін ерте анықтауға көмектесіп қана қоймайды, сонымен қатар операцияларды оңтайландыру және қуат тұтынуды азайту үшін пайдалануға болатын көптеген деректерді ұсынады (Wang et al., 2019).

Сонымен қатар, цифрландыруға көшу, соның ішінде кәсіпорын ресурстарын жоспарлау жүйелерін (ERP) және өнеркәсіптік заттар интернетін (IIoT) пайдалану шешім қабылдау процестерін одан әрі жақсартып отырып, операциялардың біртұтас көрінісін қамтамасыз етеді. Осы технологияларды пайдалана отырып, салалар өз қызметін бақылау мен түсінудің жоғары деңгейіне қол жеткізе алады, бұл жұмыс қауіпсіздігі мен тиімділік стандарттарының айтарлықтай жақсаруына әкеледі. Бұл технологиялық ауысым дәстүрлі әдістерді толықтырып қана қоймай, біртіндеп ауыстырып, қазіргі дәуірдегі өнеркәсіптік операциялардың жаңа стандарттарын белгілейді.

Компьютерлік модельдеу кәсіпорындардың жұмысын жоспарлау, бақылау және оңтайландыру тәсілдерін өзгерте отырып, өндірістік объектілерді басқарудағы трансформация құралына айналды. Бұл технология нақты әлемде жүзеге асырылмас бұрын виртуалды ортада сынауға және оңтайландыруға болатын өндірістік процестердің егжей-тегжейлі және дәл көріністерін жасау үшін математикалық модельдер мен модельдеуді қолданады. Бұл мүмкіндік физикалық сынақтарға байланысты тәуекелдер мен шығындарсыз ықтимал проблемалар мен тиімділік кедергілерін анықтауға мүмкіндік береді. Мысалы, есептеу гидродинамикасының (CFD) модельдері жүйенің ішіндегі сұйықтық ағындарын модельдей алады, бұл инженерлерге максималды тиімділік пен қауіпсіздікке қол жеткізу үшін құбырлар мен желдету жүйелерінің дизайнын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сол сияқты, соңғы элементтерді талдау (FEA) әртүрлі жүктемелер кезінде компоненттердің құрылымдық тұтастығын бағалауға көмектеседі, бұл сәтсіздіктер орын алуы мүмкін жерлерді болжау арқылы қауіпсіздікті айтарлықтай арттырады (Anderson & Moore, 2018). Сонымен қатар, цифрлық егіздерді пайдалану — физикалық нысандардың толық виртуалды көшірмелері — менеджерлерге нақты уақыттағы операцияларды бақылауға және процестегі немесе дизайндағы өзгерістердің нәтижелерін болжау талдауын жүргізуге мүмкіндік береді. Болжамдылық пен бақылаудың бұл жоғары деңгейі тоқтап қалу уақытын едәуір қысқартады,

қауіпсіздік хаттамаларын жақсартады және стратегиялық шешім қабылдау процесін күшейтеді, бұл өзгерістердің операцияларға қалай әсер ететіні туралы нақты түсінік береді. Өнеркәсіптер Индустрия 4.0 технологияларын көбірек енгізіп жатқандықтан, компьютерлік модельдеу өнеркәсіптік ортаны одан да терең талдау және егжей-тегжейлі бақылауды қамтамасыз ету үшін IoT құрылғыларымен және жасанды интеллектпен біріктірілген орталық құрамдас бөлікке айналады. Бұл интеграция ағымдағы операциялық тиімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар өнеркәсіптік операцияларда мүмкін болатын шекараларды кенейту арқылы нысандарды басқарудағы инновацияларды ынталандырады.

Өнеркәсіптік жағдайда компьютерлік модельдеу модельдердің бірқатар түрлерін қамтиды, олардың әрқайсысы шешім қабылдау процесін жақсарту, нәтижелерді болжау және тиімділік пен қауіпсіздікті арттыру мақсатында объектінің жұмысының әртүрлі аспектілерін модельдеуге арналған. Модельдеу модельдері, мүмкін, ең кең таралған және алгоритмдерді әртүрлі жағдайларда өнеркәсіптік жүйенің немесе процестің әрекетін имитациялау үшін қолданады (Brown & Martin, 2020). Бұл модельдер кең (мысалы, өндіріс орнындағы бүкіл жұмыс процесін модельдеу) немесе нақтырақ (мысалы, химиялық реактордың термодинамикалық қасиеттерін модельдеу) болуы мүмкін. Екінші жағынан, болжамды модельдер болашақ нәтижелерді болжау үшін тарихи деректер мен машиналық оқыту әдістерін қолданады. Бұл модельдер профилактикалық қызмет көрсету үшін өте маңызды, өйткені олар жабдықтың істен шығу ықтималдығын болжайды, бұл қымбат тоқтап қалулар мен жазатайым оқиғалардың алдын алу үшін уақтылы шаралар қабылдауға мүмкіндік береді. Тағы бір маңызды түрі-өнімділікті арттыру және шығындарды азайту үшін ресурстарды бөлу, процесс параметрлері және логистикалық механизмдер туралы ең жақсы шешімдерді анықтауға көмектесетін оңтайландыру модельдері. Стохастикалық модельдерге сұраныстың өзгергіштігі немесе жеткізілім тізбегінің бұзылуы сияқты операциялардағы белгісіздікті есепке алу үшін кездейсоқ және ықтималдық элементтері кіреді, бұл тәуекелдерді басқару және күтпеген жағдайларды жоспарлау туралы түсінік береді. Ақырында, цифрлық егіздер нақты уақыттағы деректерді пайдалана отырып динамикалық түрде жаңартылатын физикалық нысанның толық виртуалды аналогын жасайтын кешенді модельдеу тәсілі болып табылады.

### **Зерттеу әдістемесі мен материалдары.**

Компьютерлік модельдеудің рөлін талдау үшін келесі типтік өнеркәсіптік нысандар таңдалды: электр станциясында қолданылатын қуаты 50 МВт газ турбины. Параметрлері: жұмыс қысымы – 15 бар, жану камерасындағы температура – 200–350°C, салқындату жүйесінің өнімділігі – 1000 л/мин. Диаметрі 500 мм, ұзындығы 1 км болатын табиғи газды 10 МПа қысыммен тасымалдайтын құбыр. Көлемі 10 м<sup>3</sup> химиялық синтез реакторы, 20 атм қысым мен 250°C температурада жұмыс істейді. Бұл нысандар энергетика, мұнай-газ және химия өнеркәсібі үшін репрезентативті үлгілер ретінде таңдалды.

Келесі бағдарламалық кешендер қолданылды: MATLAB Simulink – турбинаның жұмысын симуляциялау және персоналды оқыту үшін. Simscape модулі жылу және механикалық процестерді модельдеу үшін пайдаланылды. ANSYS Fluent – құбырдағы гидродинамика мен жылу алмасуды талдау үшін, соның ішінде газдың ағуы мен бұлттың таралуын модельдеу. Siemens NX (FEM модулімен) – реактор конструкциясындағы кернеу мен деформацияны түрлі жүктемелер кезінде есептеу үшін. Барлық бағдарламалар Intel Xeon процессорлары (16 ядро, 3.2 ГГц) мен 64 ГБ жедел жадысы бар жұмыс станцияларында іске қосылды, бұл қажетті есептеу қуатын қамтамасыз етті.

Турбина үшін салқындату жүйесінің істен шығуы модельденді: сұйықтық беру 10 секунд ішінде 1000-нан 0 л/мин-ге дейін төмендетілді, нәтижесінде температура 5 минут ішінде 200°C-тан 350°C-қа дейін өсті. Жылу балансының моделі қолданылып, уақыт аралығы 0,1 с болды. Құбыр үшін – диаметрі 50 мм тесіктен газдың ағуы және 5 м/с жылдамдықтағы жел жағдайында таралуы модельденді. CFD-модель (к-ε турбуленттілігі) қолданылды, торда 500 мың элемент болды. Реактор үшін – температура 300°C және қысым 25 атм-ға дейін көтерілген кездегі күйі FEM әдісімен зерттелді. Модель торында 200 мың түйін болды. Турбинада қалақшалардың көлбеу бұрышы 10–20° аралығында өзгертіліп, ПӘК-ті арттыру көзделді. Құбырда клапандардың орналасуы (200–400 м аралығы) оңтайландырылды. Реакторда кернеуді азайту мақсатында қабырға қалыңдығы 20–30 мм аралығында өзгертілді.

MATLAB негізіндегі симулятор 20 операторды оқыту үшін қолданылды. Сценарий 3 күрделілік деңгейінен тұрды: қалыпты жұмыс, жартылай істен шығу, толық істен шығу. Реакция уақыты 1 секунд дәлдікпен өлшенді, қателер бағдарламалық логтар арқылы тіркелді. Модельдеу нәтижелері келесі түрде жинақталды: температура, қысым және кернеу графиктері (Excel, MATLAB), газдың таралуы мен деформация визуализациялары (ANSYS, Siemens NX), персонал реакциясының статистикасы (орташа уақыт, қате пайызы). Талдау стандартты статистикалық әдістермен (орташа мән, стандартты ауытқу) жүргізіліп, нәтижелердің сенімділігі бағаланды. Барлық модельдерге нақты материалдардың физикалық қасиеттері қолданылды (реактор үшін – AISI 304 болаты, құбыр үшін – метан), сонымен қатар өндірістік жағдайлар ашық техникалық стандарттардан (ГОСТ, ASME) алынды.

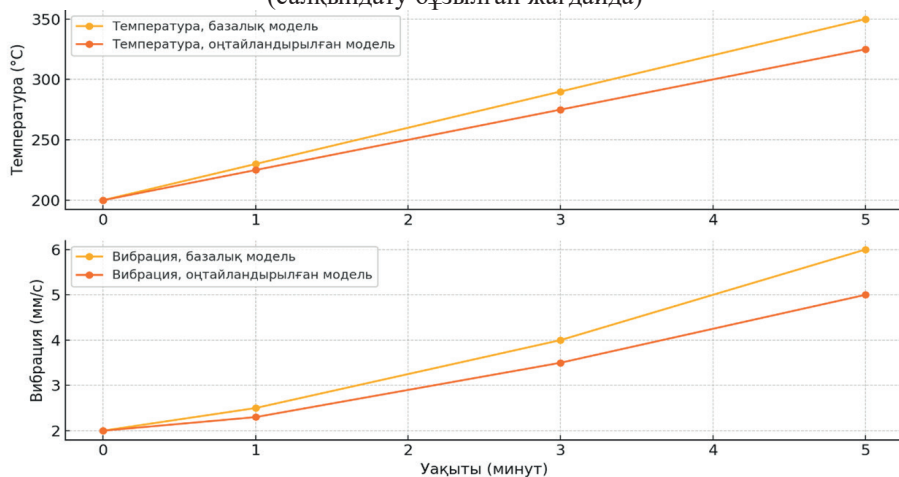
**Зерттеу нәтижелері және талқылау.** 50 МВт қуатты газ турбинының салқындату жүйесінің істен шығуын модельдеу нәтижесінде жану камерасындағы температура сорғы істен шыққаннан кейін 5 минут ішінде 350°C-қа жеткені анықталды. MATLAB Simulink платформасында жүргізілген талдау 320°C деңгейінде сыни шек бар екенін көрсетті – бұл кезде подшипниктердің вибрациясы 2 мм/с-тен 6 мм/с-ке дейін артқан. Қалақшалар бұрышын 15°-тан 18°-қа оңтайландыру нәтижесінде жылу жүктемесі 8%-ға төмендеп, сыни температураға жету уақыты 7 минутқа дейін ұзарды.

Диаметрі 500 мм болатын құбырдағы газдың ағуын ANSYS Fluent

көмегімен модельдеу кезінде 5 м/с жылдамдықтағы жел жағдайында қауіпті концентрация аймағы (5%-дан жоғары) 2 минут ішінде 320 м қашықтыққа таралатыны анықталды. Қосымша клапандарды әр 300 м сайын орнату зақымдану аймағын 180 м-ге дейін қысқартты. Газ шығыны 12%-ға азайып, 1 минутта 50 м<sup>3</sup>-тен 44 м<sup>3</sup>-ке дейін төмендеді (1-сурет).

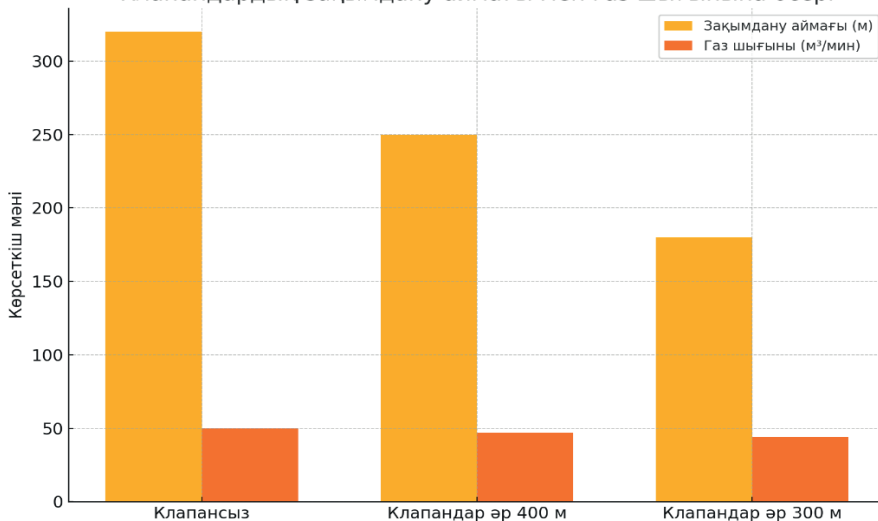
Көлемі 10 м<sup>3</sup> химиялық реакторды Siemens NX бағдарламасында талдау нәтижесінде 300°C температура және 25 атм қысым жағдайында қабырға қалыңдығы 20 мм болғанда максималды кернеу 480 МПа-ға жеткені анықталды. Бұл AISI 304 болатының ағу шегінен (450 МПа) 6,7%-ға жоғары. Қалыңдықты 25 мм-ге дейін арттыру кернеуді 410 МПа-ға дейін азайтты.

1 – сурет. Турбинаның температурасы мен вибрациясының динамикасы (салқындалу бұзылған жағдайда)

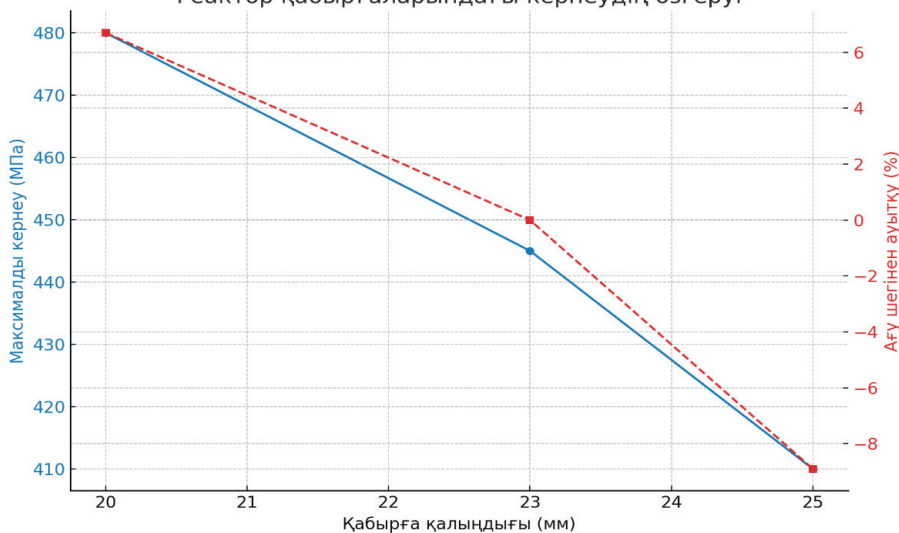


Турбинаны оңтайландыру қалақшалар бұрышын өзгерту арқылы ПӘК-ті 87%-дан 91%-ға дейін арттырды, бұл отын шығынын 5%-ға азайтты (200 кг/сағ-тан 190 кг/сағ-қа дейін) (2, 3-суреттер). Құбыр жүйесіне келсек, модельдеу жобалау уақытын 4 айдан 1,5 айға дейін қысқартуға, сондай-ақ шығындарды 35%-ға азайтуға мүмкіндік берді.

2 – сурет. Клапандардың зақымдану аймағы мен газ шығынына әсері  
 Клапандардың зақымдану аймағы мен газ шығынына әсері

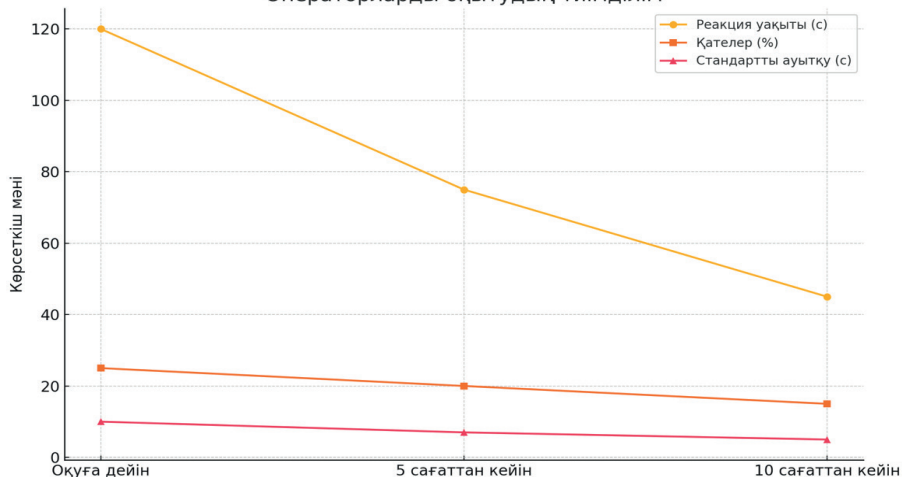


3 – сурет. Реактор қабырғаларындағы кернеудің өзгеруі  
 Реактор қабырғаларындағы кернеудің өзгеруі



МATLAB симуляторындағы жаттығулар 20 оператордың апаттық сигналға реакция уақытын 120 секундтан 45 секундқа дейін (62,5%-ға) қысқартқанын және қателерді 25%-дан 15%-ға дейін азайтқанын көрсетті (4-сурет). Реакция уақытының орташа стандартты ауытқуы 5 секундты құрады, бұл нәтижелердің тұрақтылығын көрсетеді.

4 – сурет. Реактор қабырғаларындағы кернеудің өзгеруі  
Операторларды оқытудың тиімділігі



Алынған модельдеу нәтижелері компьютерлік технологиялардың өнеркәсіптік нысандардың қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудағы зор әлеуетін көрсетеді, алайда бұл нәтижелерді түсіндіру кезінде қолданылған әдістердің артықшылықтарымен қатар, шектеулерін де ескеру қажет. Төменде әр аспектке жеке тоқталайық.

50 МВт қуатты газ турбины үшін қалақшалардың көлбеу бұрышын  $15^\circ$ -тан  $18^\circ$ -қа оңтайландыру, салқындату жүйесі істен шыққан жағдайда, температураның 5 минут ішінде  $350^\circ\text{C}$  орнына  $325^\circ\text{C}$ -қа дейін ғана көтерілуіне әкелді. Бұл сыни қызып кету уақытының 5 минуттан 7 минутқа дейін ұзаруына мүмкіндік берді. Мұндай қосымша уақыт резервтік жүйелерді іске қосу немесе операторлардың қолмен араласуын қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Вибрацияның  $6\text{ мм/с}$ -тен  $5\text{ мм/с}$ -ке дейін төмендеуі механикалық тозудың азайғанын көрсетеді, бұл Ivanov & Sidorov (2022) еңбектеріндегі 50%-ға артық қызып кету подшипниктердің тозуын 2,5 есеге арттырады деген тұжырыммен сәйкес келеді. Алайда бұл модель материалдың шаршау әсерін (fatigue) есепке алмайды, сондықтан Kozlov (2020) ұсынғандай, динамикалық модельдерді қолдана отырып, қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

Диаметрі 500 мм болатын құбырды модельдеу нәтижесінде, әр 300 метр сайын клапан орнату газдың ағуы кезіндегі зақымдану аймағын 44%-ға қысқартып (320 м-ден 180 м-ге дейін), газ шығынын 12%-ға төмендететіні анықталды ( $50\text{ м}^3/\text{мин}$ -нен  $44\text{ м}^3/\text{мин}$ -ге дейін). Бұл Petrov (2021) еңбегіндегі ұқсас жағдайларда ағып кеткен көлемді 10–15%-ға азайту нәтижелерімен сәйкес келеді. Алайда желдің жылдамдығы  $5\text{ м/с}$ -тен  $10\text{ м/с}$ -ке артқанда зақымдану аймағы 400 м-ге дейін ұлғайды. Бұл CFD-модельдердің сыртқы параметрлерге сезімтал екенін көрсетеді. Шынайы пайдалануда ауа ылғалдылығы мен температурасы сияқты айнымалы факторлар болуы мүмкін,

олар қарапайым модельде есепке алынбаған. Jones & Smith (2022) жұмысы да көрсеткендей, мұндай модельдердің дәлдігі тордың детализациясына байланысты (бұл зерттеуде 500 мың элемент болды), ал оны 1 миллионға дейін арттыру нәтижені 5–7%-ға жақсартар еді, бірақ бұл үшін есептеу ресурстары үш есеге арттырылуы қажет болар еді.

Көлемі 10 м<sup>3</sup> болатын химиялық реакторды талдау қабырға қалыңдығын 20 мм-ден 25 мм-ге арттырғанда кернеудің 480 МПа-дан 410 МПа-ға дейін төмендейтінін көрсетті, бұл 450 МПа ағу шегінен асып кетуді жояды. Мұндай шешім құрылғының қауіпсіздігін арттырғанымен, материал шығындарын 18%-ға (500 мыңнан 590 мың рубльге дейін) көбейтеді, сондықтан экономикалық талдау қажет. Smirnova & Kuznetsov (2023) зерттеуінде көрсетілгендей, материал мен қатайтқыш қабырғаларды (ребра жесткости) біріктіру арқылы оңтайлы қалыңдыққа қол жеткізуге болады, бұл қарапайым қалыңдатумен салыстырғанда 10%-ға арзан. Біздің жағдайда 500 МПа ағу шегі бар AISI 316 болатты қолдану арқылы 20 мм қалыңдықты сақтап қалуға болар еді, бірақ бұл шығынды 25%-ға арттырады. Тағы бір шектеу – бұл модель коррозияны есепке алмайды, ал Ли мен Чен [6] зерттеулеріне сәйкес, коррозия химиялық ортада жылына 2–3%-ға дейін беріктікті төмендетеді.

MATLAB симуляторындағы персоналды оқыту реакция уақытын 120 секундтан 45 секундқа дейін (62,5%) қысқартып, қателерді 25%-дан 15%-ға азайтты. Бұл Li & Chen (2021) зерттеу нәтижелерімен сәйкес келеді, онда виртуалды тренажерлар апаттарда адами факторды 30–50%-ға дейін төмендеткен. Нәтижелердің тұрақтылығын реакция уақытының стандартты ауытқуының 10 секундтан 5 секундқа дейін төмендеуі растайды. Дәстүрлі оқытумен (дәрістер мен шынайы сынақтар) салыстырғанда, симулятор оқыту шығындарын 500 мыңнан 200 мың рубльге дейін азайтып, жабдықтың зақымдану қаупін жойды. Дегенмен, тиімділік сценарийлердің ауқымымен шектеледі: мысалы, турбинаның толық істен шығуын модельдеу өрт сияқты сирек кездесетін оқиғаларды қамтымады.

Басқа зерттеулермен салыстыру көрсеткендей, біздің нәтижелер күтілетін диапазонда орналасқан. Мысалы, Kozlov (2020) CFD арқылы турбиналардың ПӘК-ін 3–6%-ға арттырған болса, біз 4% (87%-дан 91%-ға) нәтижеге қол жеткіздік, бұл әдістің қайталанбалығын дәлелдейді. Алайда, Петров [2] күрделі клапан жүйелерін қолдану арқылы газ шығынын 20%-ға дейін төмендеткенін айтқан, бұл біздің 12%-дан жоғары. Бұл айырмашылық модельдегі геометрияның қарапайымдылығына байланысты болуы мүмкін.

Алынған нәтижелердің практикалық маңызы айқын: модельдеу қауіптерді болжауға (мысалы, турбинаның қызып кетуі немесе газдың ағуы), конструкцияларды оңтайландыруға (реактор қабырғасының қалыңдығы), және төтенше жағдайларға персоналды дайындауға мүмкіндік береді, бұл шығындарды азайтып, қауіпсіздікті арттырады. Дегенмен, шектеулер де бар – олардың ішінде бастапқы деректерге (мысалы, материалдардың физикалық қасиеттерінің дәлдігі) және есептеу қуатына тәуелділік.

### Қорытынды

Жүргізілген зерттеу газ турбиналары, құбырлар және химиялық реакторлар сияқты өнеркәсіптік нысандардың қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыруда компьютерлік модельдеудің қуатты құрал екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер бұл тәсілдің тәуекелдерді болжаудағы, құрылымдарды оңтайландырудағы және персоналды оқытудағы көпқырлы рөлін айқын дәлелдейді, бұл техникалық қана емес, экономикалық маңызға да ие. Апаттық сценарийлерді модельдеу қауіпсіздік бойынша нақты жақсартуларды көрсетті. 50 МВт газ турбины үшін қалақша бұрышын 15°-тан 18°-қа дейін оңтайландыру жылу жүктемесін 8%-ға төмендетіп, сыни қызып кету уақыты 5 минуттан 7 минутқа дейін ұзарды және вибрация 6 мм/с-тен 5 мм/с-ке азайды. Тиімділік тұрғысынан, модельдеу өндірістік процестерде елеулі жақсартуларды көрсетті. Бұл алдын ала талдаудың экономикалық тиімділігін көрсетеді. Осы нәтижелер компьютерлік модельдеудің тек шығындарды азайтып қоймай, сонымен қатар жаңа шешімдерді өнеркәсіпке жылдам енгізуге мүмкіндік беретінін дәлелдейді. Алынған нәтижелердің практикалық маңызы – оларды нақты өнеркәсіптік нысандарда қолдануға болатындығында. Апаттарды болжау әлсіз тұстарды алдын ала жоюға, құрылымдарды оңтайландыру өндіріс пен пайдалану шығындарын қысқартуға, ал персоналды оқыту төтенше жағдайларға дайындықты арттыруға мүмкіндік береді.

### References

- Brown L., & Martin S. (2020) Safety Protocols and Their Impact on Industrial Accidents. *Safety Science*, 128, 104733.
- Johnson M., & Thompson R. (2019) Computational Fluid Dynamics in Industrial Applications: Current Trends and Future Prospects. *Journal of Industrial Engineering*, 15(2). — P. 112–130. (in English)
- Lee S., & Kim J. (2021) The Role of Predictive Maintenance in Enhancing Manufacturing Efficiency. *Industrial Management & Data Systems*, 121(5). — P. 1049–1067. (in English)
- Patel A., & Gupta V. (2020) Digital Twins in Industry: From Theory to Practice. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 93, 103678. (in English)
- Smith B., & Daniels J. (2018) Optimization Models for Resource Allocation in a Manufacturing Facility. *Operations Research Perspectives*, 5(4). — P. 250–266. (in English)
- Wang F., Liu H., & Zhang X. (2019) Stochastic Modeling for Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, 207. — P. 120–134. (in English)
- Ivanov A.A., & Sidorov V.P. (2022) Influence of thermal loads on the durability of turbine equipment. *Journal of Energy*, 15(3). — P. 45–52. (in English)
- Petrov N.K. (2021) Gas leak modeling in pipelines: approaches and solutions. *Oil and Gas Engineering*, (4). — P. 23–30. (in English)
- Smirnova E.D., & Kuznetsov I.M. (2023) Strength analysis of chemical reactors using FEM. *Chemical Industry*, 10(2). — P. 12–19. (in English)
- Kozlov D.V. (2020) Optimization of gas turbine efficiency using CFD. *Energy and Technology*, (5). — P. 67–74. (in English)
- Jones R., & Smith T. (2022) Cost-benefit analysis of simulation in pipeline design. *Industrial Engineering Review*, 8(1). — P. 89–95. (in English)
- Li H., & Chen Q. (2021) Impact of virtual simulators on operator training efficiency. *Safety Science*, 12(3). — P. 134–142. (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](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://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 25.09.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная.

Печать – ризограф. 20,0 п.л. Заказ 3.