

**Odesa Polytechnic National University, Kyiv National University,  
T. Shevchenko, Kharkiv National University of Radio Electronics,  
National Aviation University; Odesa National University,  
I.I. Mechnikov, Sumy State University, Admiral Makarov National  
University of Shipbuilding; Lodz Technical University, Azerbaijan  
State Oil Industry University, Anhalt University of Applied Sciences,  
Caten, Germany, CEUR-WS.**

---

**MATERIALS**  
**OF THE XIII INTERNATIONAL**  
**SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE**  
**«Information Control Systems and Technologies»**  
**(ICST- ODESA – 2025)**

**24<sup>th</sup> – 26<sup>th</sup> September, 2025**

<sup>1256</sup>  
 <sup>1233</sup> **1996**  
**LIHA-PRES** **2025** **Львів-Торунь**  
**Liha-Pres**

I74 Інформаційні управляючі системи і технології (ІУСТ-ОДЕСА-2025): матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції (24–26 вересень 2025 р., Одеса) / вип. ред. В.В. Вичужанін, 2025. – 300 с.

ISBN 978-966-397-531-3

DOI 10.36059/978-966-397-531-3

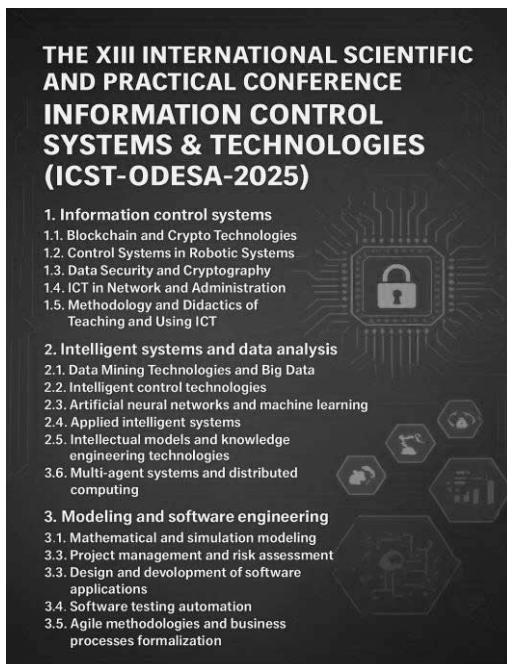
Збірник містить Матеріали, прийняті оргкомітетом до участі в Міжнародній науково - практичній конференції «ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ» (ІУСТ-ОДЕСА-2025).

Наведені матеріали конференції охоплюють основні напрямки розвитку в області інформаційних систем управління, інтелектуальних систем і аналізу даних, моделювання.

**УДК 004:37:001:62**

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---



The collection contains materials accepted by the organizing committee for participation in the International Scientific and Practical Conference "INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND TECHNOLOGIES" (ICST-ODESA-2025).

The materials of the conference cover the main directions of development in the field of artificial intelligence, development and analysis of big data, blockchain and crypto technologies, control systems in robotic systems, data security and cryptography, ICT in the network and administration, information systems and technologies in Data Mining, intelligent technologies management, mathematical modeling, methodology and didactics of teaching and using ICT, application development, project management, system analysis, software development.

The conference materials were reproduced from the author's originals. The organizing committee of the conference expresses gratitude to all the participants of the conference and hopes for further fruitful cooperation.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

---

**International Program Committee  
"Information Control Systems and Technologies"  
(ICST-ODESA -2025)**

- Prof. Antoshchuk Svetlana, Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Prof. Babichev Sergii, Kherson State University (Ukraine);  
As. Prof. Bobrovnikova, Kira Khmelnytsky National University (Ukraine);  
Prof. Cariow Aleksandr, West Pomeranian University of Technology (Poland);  
Prof. Semanisin Gabriel, Institute of Computer Science, P.J. Šafárik University  
(Slovak Republic);  
As. Prof. Gupta Ajay Kumar, University of Allahabad, Prayagraj, Uttar Pradesh  
(India);  
Prof. Kondratenko Yuriy, Petro Mohyla Black Sea National University (Ukraine);  
As. Prof. Kucher Kostiantyn Linköping University (Sweden);  
Prof. Kupin Andrey Kryvyi Rih National University (Ukraine);  
Prof. Levashenko Vitaly, University of Zilina (Slovak Republic);  
Prof. Melnyk Viktor, Department of Applied Computer Science Institute of  
Mathematics (Poland);  
Prof. Overmyer Scott, Southern New Hampshire University (United States);  
Prof. Pichugina Oksana, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"  
(Ukraine);  
Prof. Rychlik Andrzej, Lodz University of Technology (Poland);  
Prof. Tripathi Kumar Anil, Indian Institute of Technology (BHU), (India);  
As. Prof. Rudnichenko Nickolay, Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Prof. Salem Abdel-Badeeh, Ain Shams University (Egypt);  
Prof. Subbotin Sergey, Head of the Department of Software Tools, National  
University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Ukraine);  
Prof. Luengo David, Universidad Politecnica de Madrid (Spain);  
As. Prof. Tyshchenko Oleksii, Institute for Research and Applications of Fuzzy  
Modeling, CE IT4Innovations, University of Ostrava (Czech Republic);  
Prof. Vychuzhanin Vladimir, Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Prof. Ye Zhengmao, Southern University (United States);  
Prof. Yin Hang, Southern University (United States).  
International Program Committee – <http://icst-conf.com/main-eng.html>

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

---

**Organising Committee**

Antoshchuk S., prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Vychuzhanin V., prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Bobrovnikova K., as. prof., Khmelnytsky National University (Ukraine);  
Kondratenko Yu., prof., Petro Mohyla Black Sea State University (Ukraine);  
Grishin S., as. prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Kozlov A., as. prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Rudnichenko N., as. prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine);  
Shibaeva N., as. prof., Odesa Polytechnic National University (Ukraine).

**Technical committee**

***Committee secretaries:***

**Grishin S.**, as. prof., Odesa National Polytechnic University (Ukraine);  
**Rudnichenko M.**, as. prof., Odesa National Polytechnic University (Ukraine).

***Committee members:***

**Lavruhin V.**, Odesa National Polytechnic University (Ukraine);  
**Chesnova N.**, Odesa National Polytechnic University (Ukraine).

**Address:** Shevchenko avenue, 1, Odesa, 65044, Ukraine  
<https://www.facebook.com/groups/1297695647105081/>  
Phone: +38 (048) 705-85-69  
E-mail: [icst\\_nuop@ukr.net](mailto:icst_nuop@ukr.net), [126.ist.onpu@gmail.com](mailto:126.ist.onpu@gmail.com)

## CONTENTS

### Section 1. Information control systems

#### **APPLIED METHOD FOR OPTIMIZING ELECTRIC DRIVE CONTROLLERS OF MANIPULATOR MOBILITY UNITS UNDER NONLINEAR CONDITIONS**

Dr.Sci. O. Tachinina<sup>2</sup>, Dr.Sci. O. Lysenko<sup>1</sup>, Ph.D. I. Alekseeva<sup>1</sup>, Ye. Tymofeiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine, "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine, <sup>2</sup>State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine .....17

#### **FUZZY CONTROL SYSTEMS OF UAVS: ASPECTS OF COMPLEX STRUCTURAL-PARAMETRIC OPTIMIZATION**

Dr.Sci. Y. Kondratenko <sup>1,2</sup>, Dr.Sci. O. Kozlov <sup>1</sup>, Ph.D. A. Aleksieieva<sup>1</sup>, Ph.D. M. Maksymov<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Institute of Artificial Intelligence Problems of MES and NAS of Ukraine, Ukraine,

<sup>3</sup>Naval Institute of National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine .....19

#### **ADAPTIVE ROUTING POLICY FOR NETWORK TRAFFIC IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS**

Ph.D. V. Sokolov, Ph.D. Y. Kostiuk, Ph.D. P. Skladannyi, Dr.Sci. N. Korshun

Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Ukraine .....21

#### **ACCELERATING RSA CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATIONS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION**

Ph.D.A. Yanko, Dr.Sci. V. Krasnobayev, Ph.D. A. Hlushko, M. Myziura

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine .....24

#### **APPLICATION OF GRAPH THEORY TO ENSURE THE RELIABILITY OF STEGANOGRAPHIC MESSAGE PERCEPTION**

Dr.Sci. I. Bobok<sup>1</sup>, Dr.Sci. A. Kobozieva<sup>2</sup>, Dr.Sci. O. Laptiev A.<sup>3</sup>, Dr.Sci. V. Savchenko.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine, <sup>2</sup> Odesa National Maritime University, Ukraine,

<sup>3</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup> State University of Information and Communication Technologies, Ukraine .....26

#### **EXPERIMENTAL RESEARCH ON OPTIMIZING WEB PAGE LOADING SPEED**

Ph.D. N. Brynza

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine .....28

#### **AVOIDING TYPE I ERRORS IN IMAGE PROCESSING WITH SIFT/BRISK-KEYPOINTS ON ANDROID SMARTPHONES**

Dr. Sci. D. Zubov<sup>1</sup>, Dr. Sci. A. Kupin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Central Asia, Kyrgyz Republic, <sup>2</sup>Kryvyi Rih National University, Ukraine .....32

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**ENSURING CYBERSECURITY OF CLOUD SYSTEMS FOR MARITIME ROUTE OPTIMIZATION**

P. Kalenyk , Dr. Sci. V. Vychuzhanin

*Odesa National Polytechnic University, Ukraine.....35*

**PRACTICAL ASPECTS OF DEVELOPING AN OBJECT TRACKING SOLUTION**

Ph.D. O. Laktionov, Ph.D. A. Yanko, Ph.D. A. Hlushko, Dr.Sci. V. Krasnobayev

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine.....38*

**DATA ACQUISITION SYSTEMS IN MAINTENANCE CONTEXT**

O. Romanenko<sup>1</sup>, Dr.Sci. A. Kupin <sup>2</sup>, Dr.Sci. D. Zubov<sup>3</sup>, Ph.D. V. Holiver<sup>4</sup>

*<sup>1,2,4</sup> Kryvyi Rih National University, Ukraine,<sup>3</sup>University of Central Asia, Kyrgyzstan.....41*

**DEVELOPMENT OF A WEB RESOURCE TO SUPPORT REAL-TIME ENVIRONMENTAL STATUS DETERMINATION USING DRONES**

Ph.D. O. Ivanov, P. Khorolskij

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....44*

**OVERVIEW OF PHOTOGRAMMETRY AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR FUTOMATED 3D RECONSTRUCTION**

A. Koldunova, V. Oliinyk, S. Smyk

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....47*

**IMPLEMENTING A HYBRID METHOD FOR DATA ENCRYPTION IN CLIENT-SERVER SYSTEMS**

Ph.D. T. Zaiko, K. Panychuk

*<sup>1,2</sup>National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Ukraine.....50*

**DATA MINING METHODS FOR DETECTING PATTERNS IN EDUCATIONAL DATA**

Ph.D. N. Komleva, D.Sc. V. Liubchenko, Ph.D. S. Zinovatna

*National University ‘Odessa Polytechnic’, Ukraine.....54*

**KOLMOGOROV-SMIRNOV BASED DETECTION OF HIDDEN DATA IN IMAGES**

K. Tryfonova

*Odesa National Maritime University, Ukraine.....57*

**A METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING ADAPTIVE ROUTES IN GIS BASED ON DYNAMIC EXTERNAL FACTORS**

M. Sibibert, S. Smyk

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....59*

**OPTIMIZING WIFI SECURITY IN CYBERSPORT AND STREAMING USING GPU AND HASHCAT**

Ph.D. N. Shybaieva, A. Bondarenko

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....62*

**USING LORA FOR MONITORING OF MAMMALS**

T. Koldunova, V. Oliinyk, S. Smyk

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

|                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine.....</i>                                                                      | <i>64</i> |
| <b>DECENTRALIZED IDENTITY SYSTEMS BASED ON BLOCKCHAIN FOR UNIVERSITY CREDENTIALS VERIFICATION</b>                                      |           |
| M. Zhmutskiy, Dr.Sci. A. Oliynyk, Dr.Sci. S. Subbotin, Ph.D. T. Zaiko                                                                  |           |
| <i>National University "Zaporizhzhya Polytechnic", Ukraine.....</i>                                                                    | <i>68</i> |
| <b>MECHANISMS OF ADAPTATION OF THE GAME PROCESS IN VR APPLICATIONS</b>                                                                 |           |
| A. Honcharuk, Ph.D. O. Martyniuk                                                                                                       |           |
| <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                                             | <i>71</i> |
| <b>OPTIMIZATION OF NETWORK COMMUNICATION IN DISTRIBUTED SYSTEMS BASED ON THE DISPATCHER-DEPLOYER-EXECUTOR ARCHITECTURE</b>             |           |
| S. Surkov , Ph.D. O. Martynyuk                                                                                                         |           |
| <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                                             | <i>74</i> |
| <b><u>Section 2. Intelligent systems and data analysis</u></b>                                                                         |           |
| <b>IMAGE SEGMENTATION BASED ON COMPLEX BASIS OF TYPE-2 MEMBERSHIP FUNCTIONS SUBSPACE USAGE</b>                                         |           |
| Dr.Sci. L. Akhmetshina, Ph.D. A. Yegorov, A. Fomin                                                                                     |           |
| <i>Oles Honchar Dnipro National University , Ukraine.....</i>                                                                          | <i>78</i> |
| <b>PROCESSING PIPELINE FOR ASTRONOMICAL DATA MINING</b>                                                                                |           |
| Yu. Netrebin, Dr.Sci. V. Savanevych, Ph.D. S. Khlamov, T. Trunova, Yu. Teslenko                                                        |           |
| <i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine.....</i>                                                                  | <i>81</i> |
| <b>THE ISSUES OF COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTIONS BUILDING IN VARIOUS SUBJECT DOMAINS</b>               |           |
| Dr.Sci. L.Gryzun                                                                                                                       |           |
| <i>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine.....</i>                                                            | <i>83</i> |
| <b>ADAPTIVE PERSISTENCE-REGULARIZED AUTOENCODERS FOR UNSUPERVISED ANOMALY DETECTION</b>                                                |           |
| Ph.D. D. Symonov, Dr.Sci. O. Palagin, B. Zaika, Y. Symonov                                                                             |           |
| <i>V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine.....</i>                                                      | <i>86</i> |
| <b>OBJECT DETECTION MODELS IN COUNTER-UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS BASED ON DEVICES WITH LIMITED COMPUTING CAPABILITIES</b>               |           |
| Dr.Sci. O. Zaritskyi                                                                                                                   |           |
| <i>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.....</i>                                                                      | <i>89</i> |
| <b>IMAGE COMPRESSION RESEARCH BASED ON CONVOLUTIONAL AUTOENCODER</b>                                                                   |           |
| Ph.D. I. Marchenko <sup>1</sup> , Ph.D. E. Balalayeveva <sup>2</sup> , Ph.D. O. Piatykop <sup>3</sup> , Dr.Sci. V. Kukhar <sup>4</sup> |           |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <sup>1</sup> Pryazovskyi State Technical University, Ukraine, <sup>2</sup> Technical University Metinvest Polytechnic, LLC, Ukraine.....                                                                                                                                  | 91  |
| <b>AUTOMATION OF SHIP MOVEMENT CONTROL PROCESSES WITH<br/>ADDITIONAL WIND-ASSISTED PROPULSION SYSTEM ALONG THE<br/>ROUTE</b>                                                                                                                                              |     |
| Dr.Sci. S. Zinchenko, K.Tovstokoryy<br><i>Kherson State Maritime Academy, Ukraine.....</i>                                                                                                                                                                                | 95  |
| <b>ADVANCED DYNAMIC PREDICTIVE MODEL FOR BASIC OXYGEN<br/>FURNACE PURGING</b>                                                                                                                                                                                             |     |
| Ph.D. Y. Mariiash, Ph.D. O. Stepanets<br><i>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic<br/>Institute”, Ukraine.....</i>                                                                                                                     | 98  |
| <b>INTELLIGENT SYSTEM FOR ABANDONED ARABLE LAND<br/>DETECTION FROM SENTINEL-2 IMAGES</b>                                                                                                                                                                                  |     |
| K. Akymenko <sup>1</sup> , Ph.D. K. Sergieieva <sup>1</sup> , Ph.D. Yu. Kavats <sup>2</sup> , Dr.Sci. O. Kovrov <sup>1</sup><br><sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Ukraine,<br><sup>2</sup> Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine..... | 101 |
| <b>INTELLIGENT SYSTEMS AND NETWORKS IN AGRICULTURE</b>                                                                                                                                                                                                                    |     |
| Ph.D. T. Kunup<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                                                                                                                                                              | 103 |
| <b>DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A NEURAL NETWORK MODEL<br/>FOR TRACKING MEDICAL SUPPLIES IN UNIVERSAL FIRST AID KITS</b>                                                                                                                                                  |     |
| I. Fedorchenko, Dr.Sci. A. Oliinyk, K. Panychuk, Ph.D. T. Fedoronchak<br><i>National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Ukraine.....</i>                                                                                                                              | 107 |
| <b>BPG-BASED LOSSY COMPRESSION OF NOISY COLOR IMAGES</b>                                                                                                                                                                                                                  |     |
| B. Kovalenko, V. Lukin<br><i>National Aerospace University, Ukraine.....</i>                                                                                                                                                                                              | 111 |
| <b>EMBEDDING METHOD FOR BATTERY STATE ANALYSIS</b>                                                                                                                                                                                                                        |     |
| Dr.Sci. V. Slyusar, S. Pochernin<br><i>Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the<br/>Armed Forces of Ukraine, Ukraine.....</i>                                                                                                     | 114 |
| <b>USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK TO INCREASE<br/>MODELING EFFICIENCY IN CAE SYSTEM</b>                                                                                                                                                                               |     |
| Dr.Sci. O. Tarasov <sup>1</sup> , Ph.D. L. Vasylieva <sup>2</sup> , Ph.D. O. Altukhov <sup>1</sup><br><sup>1</sup> Donbas State Engineering Academy, Ukraine<br><sup>2</sup> Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine.....                     | 116 |
| <b>METHOD FOR DETECTING COMMUNICATION OBJECTS AS<br/>INDICATORS OF DIGITAL FATIGUE</b>                                                                                                                                                                                    |     |
| R. Vit, Ph.D. O. Mazurets<br><i>Khmelnitskyi National University, Ukraine.....</i>                                                                                                                                                                                        | 119 |
| <b>SYNTHESIS OF A 3-LAYER NEURAL NETWORK CLASSIFIER WITH<br/>THE BITHRESHOLD FIRST HIDDEN LAYER</b>                                                                                                                                                                       |     |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

|                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ph.D. V. Kotsovsky, T. Lisovska, V. Sabadosh<br><i>Uzhhorod National University, Ukraine</i> .....                                                                                                                         | 121 |
| <b>DATA COLLECTION FOR THE STORAGE SYSTEM OF MODIFIED SOLUTIONS OPERATIONAL PROPERTIES</b>                                                                                                                                 |     |
| Ph.D. S. Grishin <sup>1</sup> , Dr.Sci. E. Shinkevich <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine<br><sup>2</sup> Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine..... | 125 |
| <b>IMAGE MATCHING METHOD FOR AUTONOMOUS NAVIGATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES</b>                                                                                                                                         |     |
| Dr.Sci. L. Akhmetshina, A. Nesterenko<br><i>Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine</i> .....                                                                                                                     | 127 |
| <b>HYBRID APPROACH TO DETECT PSYCHOLOGICAL FACTORS OF SOCIALLY DANGEROUS BEHAVIOR BASED ON ONLINE COMMUNICATION ANALYSIS USING NLP</b>                                                                                     |     |
| O. Ovcharuk, Ph.D. O.Mazurets<br><i>Khmelnitskyi National University, Ukraine</i> .....                                                                                                                                    | 129 |
| <b>AI-DRIVEN APPROACH WORKFLOW FOR MULTI-PHYSICS MODAL ANALYSIS OF DYNAMIC MACHINES PARTS</b>                                                                                                                              |     |
| V. Harkusha, Dr.Sci. G. Martynenko<br><i>National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute, Ukraine</i> .....                                                                                                   | 132 |
| <b>A COMPLEX CNN&amp;LSTM NEURAL NETWORK MODEL FOR DETERMINING A PERSON'S DROWSINESS STATE BY THEIR FACE</b>                                                                                                               |     |
| Ph.D. A. Nikolenko, Dr.Sci. O. Arsirii, Dr.Sci. S. Antoshchuk, Ph.D. O. Babilunha<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                                                           | 134 |
| <b>DETERMINATION OF FAILURE RATE DURING REJECTION OF ELECTRONIC PRODUCTS USING FAULT-RESISTANT CLUSTERIZATION</b>                                                                                                          |     |
| D. Koshutina, Dr.Sci. G. Shcherbakova<br><i>National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine</i> .....                                                                                                              | 137 |
| <b>EFFECTIVE TEXT ANALYSIS USING TF-IDF AND ML.NET IN ENTERPRISE ENVIRONMENTS</b>                                                                                                                                          |     |
| D. Tsyban, Ph.D. I. Kobylin, Ph.D. O. Kobylin<br><i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i> .....                                                                                                    | 141 |
| <b>CLOUD-BASED MACHINE LEARNING SYSTEM FOR FRAUD DETECTION</b>                                                                                                                                                             |     |
| V. Nosov, Ph.D. K. Ostrovska<br><i>Ukrainian State University of Science and Technologies, Ukraine</i> .....                                                                                                               | 144 |
| <b>EXPLAINABLE APPROACH TO SMOKING DETECTION IN PUBLIC SPACES USING VISION TRANSFORMERS WITH TRANSFER LEARNING</b>                                                                                                         |     |
| I. Kok, Ph.D. O.Mazurets, Ph.D. M. Molchanova<br><i>Khmelnitskyi National University, Ukraine</i> .....                                                                                                                    | 147 |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGY FOR INVENTORY AND UTILIZATION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE FROM DAMAGED INFRASTRUCTURE FACILITIES**

Dr.Sci. O. Arsirii, Ph.D. O. Ivanov, K. Bieliaiev, M. Sinina

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*.....149

**MEASURING TEXTUAL REDUNDANCY, LEXICAL RICHNESS: A MULTI-METRIC APPROACH TO TEXT EVALUATION**

D. Tsyban, Ph.D. I. Kobylin, Ph.D. O. Kobylin

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*.....152

**MACHINE LEARNING-ASSISTED PARAMETER ESTIMATION IN OPTIMIZATION PROBLEMS**

Ph.D. O. Potienko, Ph.D. S. Kosenko

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*.....155

**OVERVIEW OF FACT VERIFICATION TECHNIQUES USING MACHINE LEARNING METHODS**

Ph.D. O. Turuta, I. Ph.D. Afanasieva, K. Onyshchenko, D. Suvorov

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*.....158

**INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM WITH LSTM-BASED FORECASTING ON A MICROSERVICE ARCHITECTURE**

Dr.Sci. N. Axak, Ph.D. M. Kushnaryov, Y. Shelikhov

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*.....161

**IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN COMPUTER NETWORK MANAGEMENT**

Ph.D. N. Shybaieva<sup>1</sup>, D. Shybaiev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Odesa Polytechnic National University, Ukraine,* <sup>2</sup>*Server College, Ukraine*.....164

**OBJECT DETECTION NETWORK ARCHITECTURE FOR MULTICHANNEL IMAGES**

Ph.D. N. Volkova, M. Shvandt

*Odesa National Polytechnic University, Ukraine*.....166

**RE-UPLOADING DATA IN TENSOR NETWORKS**

Ph.D. V. Sineglazov<sup>1</sup>, P. Chynnyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Kyiv Aviation Institute, Ukraine,*

<sup>2</sup>*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine*.....170

**INTELLECTUAL SYSTEM FOR SEARCHING AND ANALYZING DATA ABOUT PROMINENT UKRAINIANS**

D. Shybaiev<sup>1,2</sup>, D. Kovalev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Server College, Ukraine*

<sup>2</sup>*Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine*.....172

**GRAPH DATABASES AS THE BASIS OF RECOMMENDATION SYSTEMS IN DIAGNOSTICS AND THERAPY**

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A. Ropay, Ph.D. M. Rudnichenko, Ph.D. S. Grishin<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                                                      | 175 |
| <b>RESEARCH ON THE ARCHITECTURE AND ANALYTICAL METHODS<br/>OF AN INTELLECTUAL ELECTRICITY CONSUMPTION<br/>MANAGEMENT SYSTEM</b>                                                      |     |
| D. Shybaiev <sup>1</sup> , I. Peychev <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Server College, Ukraine, <sup>2</sup> Interregional Academy of Personnel Management,<br><i>Ukraine</i> .....      | 177 |
| <b>COMPARISON OF THE RESULTS OF RECURRENT NETWORKS AND<br/>TRANSFORMERS IN THE TIME SERIES FORECASTING PROBLEM</b>                                                                   |     |
| M. Zhilin, D. Shibaeva, V.Tulisov<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                                                                     | 180 |
| <b>RESEARCH ON THE APPLICATION OF COMMUNICATIVE METHODS<br/>OF NEURAL NETWORKS FOR IMAGE RESTORATION</b>                                                                             |     |
| I. Lysikov, Dr.Sci. O. Rudenko<br><i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i> .....                                                                             | 183 |
| <b>INTELLIGENT ADAPTIVE LEARNING BASED ON THE PROXIMAL<br/>POLICY OPTIMIZATION ALGORITHM</b>                                                                                         |     |
| Dr.Sci. N. Axak, Ph.D. M. Kushnaryov, A. Tatarnykov<br><i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i> .....                                                        | 185 |
| <b>AUTOMATION OF LIGHTING QUALITY CALCULATION PROCESSES<br/>USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES</b>                                                                                |     |
| D. Shybaiev <sup>1,2</sup> , D.Romanchuk <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Server College, Ukraine, <sup>1,2</sup> Interregional Academy of Personnel Management,<br><i>Ukraine</i> ..... | 188 |
| <b>THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL TWINS IN<br/>IOT SYSTEMS</b>                                                                                                       |     |
| Y. Shcherbyna, Ph.D. I. Shpinareva<br><i>Odesa I.I. Mechnikov National University</i> .....                                                                                          | 191 |
| <b>SIMULATION MODEL FOR ASSESSING THE PROBABILITY OF A<br/>STARTUP'S SUCCESS BASED ON LOGICAL-MATHEMATICAL<br/>MODELING</b>                                                          |     |
| D. Shybaiev <sup>1</sup> , M. Chumachenko <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Server College, Ukraine, <sup>2</sup> Interregional Academy of Personnel Management,<br><i>Ukraine</i> .....  | 193 |
| <b>PREDICTING TECHNICAL FAILURES OF INDUSTRIAL EQUIPMENT<br/>USING SENSOR DATA</b>                                                                                                   |     |
| A.Voroshynlin, Ph.D. M. Rudnichenko<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                                                                   | 196 |
| <b>INTELLIGENT SYSTEM FOR ANALYSIS AND ASSESSMENT OF RISK<br/>DAMAGE TO POPULATION HEALTH DUE TO ATMOSPHERIC AIR<br/>POLLUTION</b>                                                   |     |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

|                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ph.D. N. Rudnichenko <sup>1</sup> , D. Shvedov <sup>1</sup> , Ph.D. T. Otradska <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine, <sup>2</sup> Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine..... | 199 |
| <b>RESEARCH OF PROMISING WAYS OF EFFECTIVE IMPLEMENTATION AND ADAPTATION OF DATA ANALYSIS MODELS IN THE SPHERE OF ECOLOGY</b>                                                                                                         |     |
| M. Rudnytskyi, Ph.D. I. Shpinareva<br>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....                                                                                                                                             | 201 |
| <b>ANALYSIS OF METHODS BASED ON GENETIC ALGORITHMS, VIDPALU ALGORITHM, SWARM INTELLIGENCE AND NEURAL METERINGS</b>                                                                                                                    |     |
| O. Tulizyk <sup>1</sup> , Ph.D. M. Rudnichenko <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine, <sup>2</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....                                  | 204 |
| <b>ANALYSIS OF THE STATE OF GROUNDWATER IN ZHYTOMYR REGION</b>                                                                                                                                                                        |     |
| Ph.D. I. Suhoniak, G. Marchuk, Ph.D. V. Levkivskyi, L. Obozna<br>Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine.....                                                                                                                  | 206 |
| <b>CONCEPT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR INTELLECTUAL ANALYSIS OF FINANCIAL RISKS</b>                                                                                                                                           |     |
| <sup>1</sup> D. Shvedov, <sup>1</sup> Ph.D. N. Rudnichenko, <sup>2</sup> Dr.Sci. I. Petrov<br><sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine, <sup>2</sup> Odesa Maritime Academy National University, Ukraine.....      | 209 |
| <b>ANALYSIS OF STUDENT SUCCESS IN LEARNING PROGRAMMING</b>                                                                                                                                                                            |     |
| Ph.D. O. Korotun, G. Marchuk, Ph.D. V. Levkivskyi, Ph.D. O. Svintsytska<br>Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine.....                                                                                                        | 211 |
| <b>PERSON RE-IDENTIFICATION USING ATTENTION MECHANISMS AND FEATURE DECORRELATION</b>                                                                                                                                                  |     |
| V. Sapozhnikov, Ph.D. I. Shpinareva<br>Odesa I.I. Mechnikov National University.....                                                                                                                                                  | 214 |
| <b>ANALYSIS OF METHODS FOR INTELLIGENT HYBRID ENERGY CONSUMPTION FORECASTING IN SMART CITIES USING CLASSICAL, MODERN, AND ENSEMBLE APPROACHES</b>                                                                                     |     |
| M. Kovalenko, Ph.D. M. Rudnichenko, Ph.D. N. Shibaeva<br>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....                                                                                                                          | 217 |
| <b>INTELLIGENT SENSOR NETWORKS FOR MONITORING AND CONTROL OF WASTEWATER QUALITY</b>                                                                                                                                                   |     |
| Y. Dzihora, Ph.D. V. Tazetdinov<br>Cherkasy State Technological University, Ukraine.....                                                                                                                                              | 220 |
| <b>USING LEACH IN MULTILEVEL RISK-BASED MANAGEMENT MODELS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS</b>                                                                                                                                            |     |
| P. Shtilman, V. Elkin                                                                                                                                                                                                                 |     |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

|                                                                                                                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                                                                                                                          | <i>223</i> |
| <b>ANALYSIS OF THE FEATURES AND COMPLEXITIES OF AUTOMATION<br/>OF CLUSTER ANALYSIS OF TEXT DATA CORPORATIONS</b>                                                                                                    |            |
| <i>V.Tuliov<sup>1</sup>, D. Shvedov<sup>2</sup>, Ph.D. N.Rudnichenko<sup>2</sup></i>                                                                                                                                |            |
| <i><sup>1</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine, <sup>2</sup>Odesa Polytechnic<br/>National University, Ukraine.....</i>                                                                      | <i>226</i> |
| <b><u>Section 3. Modeling and software engineering</u></b>                                                                                                                                                          |            |
| <b>COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR COMBINED SIMULATION OF<br/>MOISTURE TRANSPORT AND ROOT GROWING UNDER DRIP<br/>IRRIGATION</b>                                                                                         |            |
| <i>Dr.Sci. V. Bohaienko<sup>1</sup>, Dr.Sci. V. Bulavatsky<sup>1</sup>, Dr.Sci. M. Romashchenko<sup>2</sup>, Dr.Sci.<br/>A. Shatkovskiy<sup>2</sup></i>                                                             |            |
| <i><sup>1</sup> VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine,<br/><sup>2</sup>Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine,<br/>Ukraine.....</i>                          | <i>228</i> |
| <b>RECONFIGURABLE SIMILARITY METRICS FOR INTERPRETABLE<br/>FAULT DIAGNOSTICS IN COMPLEX SHIP POWER SYSTEMS</b>                                                                                                      |            |
| <i>Dr.Sci. V. Vychuzhanin, Ph.D. A.Vychuzhanin<br/>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                                                                          | <i>231</i> |
| <b>SELF-HEALING TEST SUITES: AUTOMATING MAINTENANCE OF<br/>FLAKY AND BROKEN TESTS</b>                                                                                                                               |            |
| <i>Dr.Sci. M. Berdnyk, I. Starodubskiy<br/>National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ukraine.....</i>                                                                                                     | <i>236</i> |
| <b>COMPARISON OF TEST TOOLS FOR API-BASED PERFORMANCE<br/>TESTING</b>                                                                                                                                               |            |
| <i>M. Mendieliyeva, Ph.D. S. Khlamov, Ph.D. O. Vovk, Ph.D. Zh. Deineko, S.<br/>Lytvynenko<br/>Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.....</i>                                           | <i>238</i> |
| <b>ON THE VULNERABILITY OF MULTILAYER NETWORK STRUCTURES<br/>AND SYSTEMS</b>                                                                                                                                        |            |
| <i>Ph.D. D. Polishchuk<sup>1</sup>, Dr. Sci. M. Yadzhak<sup>1,2</sup></i>                                                                                                                                           |            |
| <i><sup>1</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,<br/>National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine<br/><sup>2</sup>Ivan Franko Lviv National University, Ukraine.....</i> | <i>214</i> |
| <b>OUTLIERS DETECTIONS IN TWO-DIMENSIONAL DATA OF RFC<br/>AND CBO SOFTWARE METRICS FOR JAVA APPLICATIONS USING<br/>TRANSFORMED PREDICTION ELLIPSE</b>                                                               |            |
| <i>Dr.Sci. S. Prykhodko<sup>1,2</sup>, Ph.D. L. Makarova<sup>1</sup>, Ph.D. L. Latanska<sup>1</sup>, M. Bryzghalov<sup>1</sup></i>                                                                                  |            |
| <i><sup>1</sup> Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine<br/><sup>2</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>                                                               | <i>244</i> |
| <b>ANALYSIS OF PERCENTILES FOR PERFORMANCE OF LOAD TESTING<br/>TOOLS</b>                                                                                                                                            |            |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| M. Mendieliyeva, Ph.D. S. Khlamov, Ph.D. O. Vovk, T. Trunova, Yu. Teslenko<br><i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i> .....                  | 247 |
| <b>COMPARATIVE ANALYSIS OF UAV SIMULATION PLATFORMS:<br/>CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND FUTURE DIRECTIONS</b>                                                         |     |
| Dr.Sci. A. Kupin, Ph.D. Y. Osadchuk, M. Kosei<br><i>Kryvyi Rih National University, Ukraine</i> .....                                                                 | 249 |
| <b>ON CONSTRUCTING A STOCHASTIC INPUT-FLOW MODEL FOR<br/>TRANSPORT CONVEYOR SYSTEMS</b>                                                                               |     |
| Dr.Sci. O. Pihnastyi, Ph.D. M. Sobol<br><i>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine</i> .....                                           | 253 |
| <b>KEYSTROKE DYNAMICS RECOGNITION USING AN EIGHT-VARIATE<br/>PREDICTION ELLIPSOID FOR NORMALIZED DATA</b>                                                             |     |
| Dr.Sci. S. Prykhodko, Ph.D. A. Trukhov<br><i>Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine</i> .....                                                   | 255 |
| <b>FORECASTING OF LIQUID ACCUMULATION IN WELLS AND<br/>FLOWLINES AT UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES</b>                                                            |     |
| Ph.D. V. Volovetskyi <sup>1</sup> , Ph.D. O. Fridman <sup>2</sup> , Dr.Sci. P. Raiter <sup>3</sup> , O. Shchyrba <sup>4</sup> , Dr.Sci.<br>Y. Romanyshyn <sup>3</sup> |     |
| <sup>1</sup> Branch R&D Institute of Gas Transportation Joint Stock Company «Ukrtransgaz»,<br>Ukraine                                                                 |     |
| <sup>2</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine                                                                                                        |     |
| <sup>3</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine                                                                                    |     |
| <sup>4</sup> Branch Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases Public Joint Stock<br>Company «Ukrasvydobuvannya», Ukraine.....                          |     |
| 259                                                                                                                                                                   |     |
| <b>PERFORMANCE EFFICIENCY OF THE EVENT-DRIVEN DISTRIBUTED<br/>SYSTEM</b>                                                                                              |     |
| S. Orlov, Ph.D. S. Khlamov, T. Trunova, D. Zhuzhniev, Ph.D. A. Frolov<br><i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i> .....                       | 262 |
| <b>MODELING THE OCULO-MOTOR SYSTEM BASED ON EYE TRACKING<br/>DATA ON A CLOUD COMPUTING PLATFORM</b>                                                                   |     |
| Dr.Sci. V. Pavlenko, A. Ilutsa, D. Lukashuk<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                                            | 264 |
| <b>SUPPORT NEURAL NETWORKS BUILDING FOR MODELING<br/>NONLINEAR DYNAMICS</b>                                                                                           |     |
| Ph.D. A. Savieliev, O. Tataryn, D. Kirpichov, P. Ruskyi, A. Prokofiev<br><i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i> .....                                  | 268 |
| <b>INTELLIGENT PACKING AND PLACEMENT ALGORITHMS IN 3D<br/>PRINTING: MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES</b>                                                     |     |
| Dr.Sci. G. Yaskov <sup>1,2</sup> , Dr.Sci. A. Chuhai <sup>1,3</sup> , Dr.Sci. O. Starkova <sup>3</sup> , M. Shcherbyna <sup>1</sup>                                   |     |
| <sup>1</sup> Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems, <sup>2</sup> Kharkiv National<br>University of Radio Electronics, Ukraine,                   |     |
| <sup>3</sup> Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine.....                                                                                     |     |
| 271                                                                                                                                                                   |     |

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**INTELLIGENT SYSTEM FOR MODELLING AND OPTIMIZATION OF  
THE IT-PROJECT MANAGEMENT PROCESS**

Y. Pelekh, Y. Kynash, O. Riznyk, T. Kovaliv

*Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....274*

**INTELLIGENT SYSTEM BASED ON MATHEMATICAL PROGRAMMING  
FOR AUTOMATED CAPSULE PLACEMENT IN BRACHYTHERAPY**

Dr.Sci. G. Yaskov<sup>1,2</sup>, Dr.Sci. A. Chuhai<sup>1,3</sup>, Y. Yaskova<sup>4</sup>, Ph.D. A. Zhuravka<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems, <sup>2</sup>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, <sup>3</sup>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine, <sup>4</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine, <sup>5</sup>Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....278

**MATHEMATICAL AND SIMULATION MODELING OF NEUTRON  
TRANSPORT USING OPENMC**

V. Lavrukhin

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....280*

**USING THE NON-EQUIDISTANT RAY TRACING ALGORITHM FOR 3D  
RENDERING**

O. Riznyk, Y. Kynash, M. Semeniv, Y. Pelekh

*Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....283*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CROSS-PLATFORM APPLICATION  
DEVELOPMENT TOOLS WITH AI FEATURES**

N. Voinikov<sup>1</sup>, Ph.D. N. Rudnichenko<sup>1</sup>, Dr.Sci. I. Petrov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Odessa Polytechnic National University, Ukraine, <sup>2</sup>Odessa Maritime Academy National University, Ukraine.....287

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF APPLYING ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE MODELS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF  
ENTERPRISES IN THE FIELD OF SERVICE PROVISION**

Yu. Arnautov, Ph.D. N. Rudnichenko, Ph.D. I. Shpinareva

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....290*

**FILE STRUCTURE OF A WEB APPLICATION FOR INTELLIGENT  
PREDICTIVE ANALYTICS IN THE INVESTMENT SPHERE**

R. Ogrodiuk, D. Shvedov, Ph.D. N. Rudnichenko

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....292*

**PROJECT OF AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR  
CHOOSING ALTERNATIVES IN TABLE-TOP ROLE-PLAYING GAMES**

Ph.D. N. Rudnichenko<sup>1</sup>, A. Otrashenko<sup>1</sup>, Ph.D. T. Otradska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Odessa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine.....294

**CONCEPT OF A SYSTEM FOR ASSESSING THE CONDITION OF  
VEHICLE DRIVERS BASED ON DEEP LEARNING**

V. Savchuk, D. Shvedov

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....297*

**SECTION 1. INFORMATION CONTROL SYSTEMS**

UDC 681.5

**ПРИКЛАДНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЯТОРІВ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВУЗЛІВ РУХЛИВОСТІ МАНІПУЛЯТОРІВ  
В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ**

**Dr.Sci. О. Тачиніна**<sup>[0000-0001-7081-0576]</sup>, **Dr.Sci. О. Лисенко**<sup>[0000-0002-7276-9279]</sup>,  
**Ph.D. І. Алексєєва**<sup>[10000-0002-2878-6514]</sup>, **Є. Тимофєєв**<sup>[0009-0006-0179-0472]</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України  
«КПІ ім. Ігоря Сікорського», Україна,

<sup>2</sup> Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна,  
EMAIL: lysenko.a.i.1952@gmail.com, tachinina5@gmail.com, alexir1@ukr.net,  
timofeevzh@gmail.com

**APPLIED METHOD FOR OPTIMIZING ELECTRIC DRIVE  
CONTROLLERS OF MANIPULATOR MOBILITY UNITS UNDER  
NONLINEAR CONDITIONS**

**Dr.Sci. О. Tachinina<sup>2</sup>, Dr.Sci. О. Lysenko<sup>1</sup>, Ph.D. І. Alekseeva<sup>1</sup>, Ye. Tymofeiev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine, Ukraine,  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine,

<sup>2</sup> State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine

**Анотація.** Запропоновано інженерний метод налаштування регуляторів електроприводів вузлів рухливості маніпуляторів із суттєвими нелінійностями. Метод базується на чисельній оптимізації параметрів регуляторів за алгоритмічно визначеним критерієм та дозволяє усунути ефект автоеластичності (резонансні коливання й первинні самозбудження). Перевага підходу полягає в його простоті: регулювання може виконувати інженер без проведення складних наукових досліджень. Результати моделювання показали зменшення тривалості перехідного процесу до 1,9 – 4 і покращення критерію оптимізації на два порядки

**Ключові слова:** керування, PID-регулятор, нелінійності, оптимізація, лінеаризація

**Abstract.** An engineering method for tuning the regulators of electric drives of manipulator mobility units with significant nonlinearities is proposed. The method is based on numerical optimization of controller parameters according to an algorithmically defined criterion and eliminates the autoelasticity effect (resonant

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*vibrations and primary self-oscillations). Its main advantage is engineering simplicity: adjustment can be performed by an engineer without deep theoretical research. Simulation results demonstrated reduction of transient duration to 1.9–4 seconds and improvement of the optimization criterion by two orders of magnitude.*

**Keywords:** control, PID controller, nonlinearities, optimization, linearization

In multi-link aerospace manipulators, the autoelasticity effect (AEE) arises due to structural elasticity and significant nonlinearities of electric drives. The purpose of this work is to develop an engineering method for tuning regulators that considers these factors and ensures system stability.

The method is based on numerical optimization of PID controller parameters according to the criterion:

$$I = \int_{t_0}^{t_f} \alpha(t) \cdot (x_E(t) - x(t))^2 dt$$

where  $x_E(t)$  is the output of the reference model,  $x(t)$  is the system output. The reference model is the 5th-order Butterworth transfer function.

Optimization was carried out using the Gauss–Seidel method with initial values obtained by the Ziegler–Nichols method.

Simulation for different ACS structures showed: reduction of transient duration to 3–4 s, and with vibration linearization – to 1.9 s; improvement of the integral quality criterion by about 100 times; reduction of overshoot to 25–75 % of the reference value.

The developed method allows practical application of numerical algorithms for tuning the regulators of manipulator electric drives without complex research. The method can be fully automated and integrated into modern computer mathematics systems. Further research will expand the set of optimized parameters and explore nonlinear controllers.

### **References**

1. Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (1998). *Modern control systems*. Prentice Hall.
2. Goodwin, G. C., Graebe, S. F., & Salgado, M. E. (2001). *Control system design*. Prentice Hall.

3. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., & Novikov, V. (2020). Mathematical modeling of motion of iron bird target node. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2711, pp. 482–491). <http://ceur-ws.org/Vol-2711/>

4. Technique for tuning digital controllers of robot drives. (2021). *Problems of Informatization and Control*, 4(68), 44–51.

5. Zhao, L., Yu, Z., Han, L., Chen, X., Qiu, X., & Huang, Q. (2023). Compliant motion control of wheel-legged humanoid robot on rough terrains. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 29(3), 1–11. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2023.3320762>

UDC 681.51:004.896

### **НЕЧІТКІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА: АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОЇ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

**Dr.Sci. Ю. Кондратенко**<sup>[0000-0001-7736-883X]1,2</sup>, **Dr.Sci. О. Козлов**<sup>[0000-0003-2069-5578]1</sup>,  
**Ph.D. А. Алексєєва**<sup>[0000-0003-0345-8538]1</sup>, **Ph.D. М. Максимов**<sup>[0000-0002-5626-5265]3</sup>,

<sup>1</sup> Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Україна,

<sup>2</sup> Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України, Україна,

<sup>3</sup> Інститут військово-морських сил Національного університету «Одеська морська академія», Україна

EMAIL: y\_kondrat2002@yahoo.com, kozlov\_ov@ukr.net,  
anna.alekseyeva@chmnu.edu.ua, maximov.agro@gmail.com

### **FUZZY CONTROL SYSTEMS OF UAVS: ASPECTS OF COMPLEX STRUCTURAL-PARAMETRIC OPTIMIZATION**

**Dr.Sci. Y. Kondratenko**<sup>1,2</sup>, **Dr.Sci. O. Kozlov**<sup>1</sup>,

**Ph.D. A. Alekseeva**<sup>1</sup>, **Ph.D. M. Maksymov**<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Institute of Artificial Intelligence Problems of MES and NAS of Ukraine, Ukraine,

<sup>3</sup>Naval Institute of National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

**Анотація.** У цьому дослідженні представлено комплексний багатоваріантний підхід до структурно-параметричної оптимізації нечітких систем керування БПЛА на основі біоінспірованих методів. Запропонований підхід поєднує процедури оптимізації кількості лінгвістичних термів, бази правил, типів та параметрів функцій належності, операцій нечітко-логічного виведення та дефазифікації у найбільш раціональній послідовності. Валідацію наведеного підходу проведено при його застосуванні до нечіткої системи керування БПЛА квадрокоптерного типу.

**Ключові слова:** Нечітка система керування, БПЛА, структурно-параметрична оптимізація, комплексний підхід, біоінспіровані методи.

**Abstract.** *This study presents a complex multi-stage approach to the structural-parametric optimization of fuzzy control systems (FCS) for UAVs based on bioinspired techniques. The proposed approach combines optimization procedures of the number of linguistic terms (LT), rule base (RB), membership function (MF) types and parameters, fuzzy inference engine (FIE) and defuzzification operations in the most rational sequence. The approach is validated through its application to a FCS of a quadcopter type UAV.*

**Keywords:** *Fuzzy control system, UAV, structural-parametric optimization, complex approach, bio-inspired techniques.*

In recent years, bioinspired techniques have emerged as powerful tools for solving complex engineering optimization problems [1]. Among their notable applications is the design and enhancement of fuzzy systems, with particular emphasis on the UAVs control application [2]. This study proposes a complex multi-stage approach to the structural-parametric optimization of FCSs for UAVs, which is based on a rational sequence of optimization procedures.

These include the optimization of the number of LTs for input and output variables, RB, MFs optimal types and parameters, as well as the identification of optimal FIE operations and defuzzification method. The optimization is performed using a suite of bioinspired algorithms. The application of this approach enables the development of highly efficient Mamdani-type FCS for UAVs with simplified software and hardware implementations while maintaining minimal computational costs.

The effectiveness of the proposed approach has been validated through its application to the FCS for the quadcopter UAV. Analysis of the experimental results indicates that the first two optimization procedures (LTs number and RB optimization) are foundational within the proposed methodology.

They allow for the identification and implementation of highly flexible and effective fuzzy control and decision-making strategies by forming optimized RBs in number and consequents. Subsequently, the optimization of MFs types significantly improves the accuracy and performance of the FCS following the foundational procedures.

It also simplifies the next phase (parametric optimization) by reducing the number of MFs parameters subject to optimization. Parametric optimization, in turn, provides the most substantial improvement in system performance at the penultimate stage of design, requiring relatively low

computational effort, which makes it one of the most important stages of comprehensive optimization. This procedure reduced the objective function for the UAV's FCS by 27.5%. The final optimization stage, involving the tuning of FIE and the defuzzification operations, was found to have the least impact on overall system performance that can be omitted in a number of cases. It resulted in only a 5.6% improvement in performance.

### **References**

1. Li, C., Han, S., Zeng, S., & Yang, S. (2024). *Intelligent optimization: Principles, algorithms and applications*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-3286-9>
2. Kozlov, O., Ivanov, P., Petrenko, A., & Shevchenko, M. (2024). Swarm optimization of the drone's intelligent control system: Comparative analysis of hybrid techniques. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3790, pp. 1–12). CEUR-WS. <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper01.pdf>

UDC 004.738:004.056

### **АДАПТИВНА ПОЛІТИКА МАРШРУТИЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ В СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

**Ph.D. V. Соколов**<sup>[0000-0002-9349-7946]</sup>, **Ph.D. Ю. Костюк**<sup>[0000-0001-5423-0985]</sup>,  
**Ph.D. П. Складанний**<sup>[0000-0002-7775-6039]</sup>, **Dr.Sci. Н. Коршун**<sup>[0000-0003-2908-970X]</sup>

*Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Україна  
EMAIL: v.sokolov@kubg.edu.ua*

### **ADAPTIVE ROUTING POLICY FOR NETWORK TRAFFIC IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS**

**Ph.D. V. Sokolov, Ph.D. Y. Kostiuk, Ph.D. P. Skladannyi, Dr.Sci. N. Korshun**  
*Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Ukraine*

**Анотація.** У статті розглядаються виклики забезпечення інформаційної безпеки в умовах зростання трафіку та складності топологій розподілених систем. Обґрунтовано адаптацію політики маршрутизації до вимог кібербезпеки з урахуванням ризиків атак. Запропоновано формалізований підхід з математичним моделюванням, метриками ризиків, стандартами ISO/IEC 27033, 15408, NIST SP 800-207 та технологіями програмно-конфігурованої мережі. Розроблено архітектуру системи для реального часу,

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*що підвищує кіберстійкість за принципами zero trust. Результати застосовні для захисту критичних систем.*

**Ключові слова:** адаптивна маршрутизація, інформаційна безпека, мережевий трафік, політика маршрутизації, zero trust.

**Abstract.** *The paper addresses information security challenges amid increasing traffic volumes and complex topologies in distributed systems. It justifies adapting routing policies to cybersecurity requirements, considering attack risks and anomalies. A formalized approach integrates mathematical modeling, risk metrics, ISO/IEC 27033, 15408, NIST SP 800-207 standards, software-defined networking technologies, and telemetry (NetFlow, sFlow). The developed system architecture adapts to threats in real-time, enhancing cyber resilience via Zero Trust principles. Results apply to critical corporate and public systems.*

**Keywords:** *adaptive routing, information security, network traffic, routing policy, zero trust.*

Adapting routing to security is a task driven by complex architectures and threats. Modern approaches combine classical routing with dynamic management, machine learning, and risk assessment. Research by Sert and Yazici [1] shows that fuzzy logic and genetic algorithms balance load and increase resilience. Al-Karaki and Kamal [2] review routing methods, while standards [3] emphasize dynamic access control. Adaptive routing reduces leakage risks and supports proactive defense.

The research is based on set theory, combinatorial analysis, and optimization for modeling networks under security constraints. Models dynamically adapt routes considering topology, context, and risks, forming resilient policies.

The concept of proactive defense is implemented through threat-based policy adaptation. Automated route generation minimizes access to vulnerable zones. The architectural solution integrates modeling, analytics, telemetry (NetFlow/sFlow), and ISO/IEC, NIST standards.

The mathematical model considers route sets, risk weights, trust, and criticality. It automates real-time routing decisions depending on security context. The interaction sequence of components—telemetry, risk evaluator, policy manager, router—ensures traffic redirection.

The model uses sets: channels  $S = (S_1, \dots, S_p)$ , nodes  $N = (N_1, \dots, N_k)$ , and security coefficients  $X = (X_1, \dots, X_p)$  are normalized values from 1 to 10 based on vulnerability and threat analysis. Sets of threats  $M$ , priorities  $NP$ , and constraints  $K$  per ISO/IEC 15408.

Requirements matrix: resources  $R_k$  in columns, requirements  $K_j$  in rows, weights  $W_{ijk}$  from 0 to 10. Integral coefficient:

$$X_i = \sum \sum W_{ijk}.$$

And security priority:

$$P_i = \alpha \cdot NP_i + \beta \cdot X_i$$

with  $\alpha, \beta \in [0,1]$ , e.g.,  $\alpha = 0.4, \beta = 0.6$ ,  $X_i$  is the safety factor.

The model adapts routing to security via risk metrics, trust parameters, behavior, and standards. Mathematics accounts for parameters, threats, criticality, and dynamics for automatic priority updates. New metrics (risk deficit, resilience, sensitivity, efficiency) and modified Ford-Fulkerson build secure flows.

The system combines topology, metrics, parameters, and constraints to form priorities by channel security level. It integrates telemetry, risk evaluation, analytics, and dynamic protocols for threat resilience, vulnerability isolation, and ZTA. Applicable to governmental and corporate systems, uniting proactive cyber defense, flexible traffic management, and standardized models.

## References

1. Sert, S. A., & Yazici, A. (2019). Optimizing the performance of rule-based fuzzy routing algorithms in wireless sensor networks. In *2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/fuzz-ieee.2019.8858920>
2. Al-Karaki, J. N., & Kamal, A. E. (2004). Routing techniques in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Wireless Communications*, 11(6), 6–28. <https://doi.org/10.1109/mwc.2004.1368893>
3. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). *Zero trust architecture* (NIST Special Publication 800-207). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-207>

УДК 004.056.55:658.15

## ПРИСКОРЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ RSA В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Ph.D. А. Янко<sup>[0000-0003-2876-9316]</sup>, Dr.Sci. В. Краснобаєв<sup>[0000-0001-5192-9918]</sup>,  
Ph.D. А. Глушко<sup>[0000-0002-4086-1513]</sup>, М. Мизюра<sup>[0009-0009-9301-2054]</sup>

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка», Україна  
EMAIL: al9\_yanko@ukr.net

## ACCELERATING RSA CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATIONS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Ph.D.A. Yanko, Dr.Sci. V. Krasnobayev, Ph.D. A. Hlushko, M. Myziura  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

**Анотація.** У статті досліджуються питання посилення безпеки бізнесу під час цифрової трансформації. Обґрунтовано, що ефективний захист інформації та вдосконалення криптографічних систем є ключовими заходами для посилення стійкості бізнесу в умовах цифрової трансформації. Визначено пріоритетний напрямок захисту даних – вдосконалення криптосистеми RSA. Для прискорення криптографічних перетворень RSA в цьому дослідженні запроваджено методи високошвидкісної обробки інформації. Основу методу становить реалізація механізму кільцевого зсуву та техніки двійкового представлення залишків, що використовує модульну арифметику в системі залишкових класів.

**Ключові слова:** криптографічний захист, система залишкових класів, непозиційна система числення, криптографічні перетворення, механізм кільцевого зсуву.

**Abstract.** This article explores ways to enhance business security during digital transformation. It argues that effective information protection and the improvement of cryptographic systems are key measures for strengthening business resilience in a digital environment. The priority area for data protection is identified as the improvement of the RSA cryptosystem. To accelerate RSA cryptographic transformations, this study introduces methods for high-speed information processing. The core of the proposed method is the implementation of a ring shift mechanism and a binary remainder representation technique, which utilizes modular arithmetic within the residue number system.

**Keywords:** cryptographic protection, residue number system, non-positional number system, cryptographic transformations.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

У контексті постійного зростання кібератак в умовах війни український бізнес є особливо вразливим до ризиків цифрової безпеки. В умовах війни український бізнес є особливо вразливим до кібератак, які несуть загрозу доступності, цілісності та конфіденційності інформації, спричиняючи значні економічні та соціальні наслідки [1].

Зростання вимог до довжини ключів у сучасних криптосистемах, зокрема RSA, призводить до зниження швидкості обчислень. Це підтверджує актуальність розроблення методів підвищення ефективності криптографічних перетворень на основі непозиційної системи числення – системи залишкових класів (СЗК) [2]. У цьому контексті розробка та аналіз методу швидкого виконання операції модульного додавання в СЗК, який може слугувати ефективною заміною операціям модульного множення і піднесення до степеня, забезпечуючи підвищену продуктивність криптографічних перетворень є актуальним.

Для прискорення криптографічних перетворень RSA запропоновано метод на основі механізму кільцевого зсуву та техніки двійкового представлення залишків, що використовує модульну арифметику в СЗК. Порівняльний аналіз, наведений у Таблиці 1, засвідчив значну ефективність цього підходу порівняно з традиційною позиційною системою числення (ПСЧ), що дозволяє суттєво скоротити час виконання модульних операцій та підвищити загальний рівень захищеності цифрових систем.

**Таблиця 1**

Дані порівняльного аналізу часу виконання операції додавання

| $l$ (r) | ПСЧ                                | СЗК   |       |                                           | %     |
|---------|------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------|-------|
|         | $\theta_{\text{ПСЧ}} / 3 \cdot t'$ | $p_q$ | $m_q$ | $\theta_{\text{СЗК\_max}}^* / 3 \cdot t'$ |       |
| 4 (32)  | 63                                 | 19    | 5     | 48                                        | 31,25 |
| 8 (64)  | 127                                | 30    | 5     | 75                                        | 69,33 |

Представлені дані отримані без використання додаткових алгоритмів, які, у разі їх впровадження, могли б прискорити виконання модульних арифметичних операцій. Реалізація цього підходу не лише прискорює виконання критичних криптографічних процесів, але й

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

підвищує загальний рівень захищеності цифрових систем та безпеку бізнесу в умовах цифрової трансформації.

**Література**

1. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2024). *Enhancing resilience by boosting digital business transformation in Ukraine*. OECD Publishing. [https://www.oecd.org/en/publications/enhancing-resilience-by-boosting-digital-business-transformation-in-ukraine\\_4b13b0bb-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/enhancing-resilience-by-boosting-digital-business-transformation-in-ukraine_4b13b0bb-en.html)
2. Krasnobayev, V., Yanko, A., & Koshman, S. (2016). Conception of realization of cryptographic RSA transformations with using of the residue number system. *Computer Science and Cybersecurity*, 2, 5–12. <https://periodicals.karazin.ua/cscs/article/download/6207/5745/>

УДК 004.056.5

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
НАДІЙНОСТІ СПРИЙНЯТТЯ СТЕГАНОВІДОМЛЕННЯ**

**Dr.Sci. I. Bobok**<sup>1[0000-0003-4548-0709]</sup>, **Dr.Sci. A. Kobozєva**<sup>2[0000-0001-7888-0499]</sup>,  
**Dr.Sci. O. Laptev**<sup>3[0000-0002-4194-402X]</sup>, **Dr.Sci. V. Savchenko**<sup>4[0000-0002-3014-131X]</sup>

<sup>1</sup> Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>2</sup> Одеський національний морський університет, Україна,

<sup>3</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна,

<sup>4</sup> Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Україна

EMAIL:<sup>1</sup>onu\_metal@ukr.net, <sup>2</sup>alla\_kobozeva@ukr.net, <sup>3</sup>alapte64@ukr.net,

<sup>4</sup>savitan@ukr.net

**APPLICATION OF GRAPH THEORY TO ENSURE THE  
RELIABILITY OF STEGANOGRAPHIC MESSAGE PERCEPTION**

**Dr.Sci. I. Bobok**<sup>1</sup>, **Dr.Sci. A. Kobozieva**<sup>2</sup>, **Dr.Sci. O. Laptiev**<sup>3</sup>,  
**Dr.Sci. V. Savchenko**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup> Odesa National Maritime University, Ukraine,

<sup>3</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup> State University of Information and Communication Technologies, Ukraine

***Анотація.** Метою роботи є підвищення якісних та кількісних показників надійності сприйняття стегановідомлення, що формується довільним*

*стеганоалгоритмом, у тому числі для забезпечення можливості його роботи в умовах випадкового контейнера, без будь-яких модифікацій алгоритму, шляхом розробки методу вибору блоків цифрового зображення-контейнера для вбудови в них додаткової інформації. Ціль була досягнута шляхом обґрунтованого використання для розбиття блоків контейнера на класи з однаковими показниками вкладу високочастотної складової специфічного орієнтованого графа, який ставиться у відповідність зображенню.*

**Ключові слова:** надійність сприйняття стеганоповідомлення, цифрове зображення, орієнтований граф, бінарне відношення.

**Abstract.** *The purpose of this work is to improve the qualitative and quantitative indicators of the reliability of perception of a steganographic message generated by an arbitrary steganographic algorithm. Also, ensuring the possibility of operation of a steganographic message in conditions of a random container, without any modifications to the algorithm, by developing a method for selecting blocks of a digital image container for introducing additional information into them. The goal was achieved through the reasonable use of a specific oriented graph, which is associated with the image, for dividing container blocks into classes with the same indicators of the contribution of the high-frequency component.*

**Keywords:** *reliability of perception of a steganogram, digital image, directed graph, binary relation.*

Одним із найбільш перспективних та ефективних напрямів захисту інформації сьогодні є стеганографія [1] – мистецтво приховування інформації. До стеганографічної системи пред'являється низка вимог, серед яких однією з основних є забезпечення надійності сприйняття стеганоповідомлення (візуально воно не повинно відрізнятися від контейнера) [2]. При цьому багато існуючих методів не можуть гарантувати систематичне забезпечення надійності сприйняття (без своєї модифікації) для випадкового контейнера, залишаючи актуальною дану задачу.

Метою роботи є підвищення якісних і кількісних характеристик надійності сприйняття стеганоповідомлення, що формується довільним стеганоалгоритмом, у тому числі для забезпечення можливості його роботи в умовах випадкового контейнера, без будь-яких модифікацій алгоритму. Мета була досягнута шляхом розробки методу вибору блоків матриці контейнера, в якості якого розглядається цифрове зображення (ЦЗ), для стеганоперетворення. У ході проведених досліджень отримано такі результати: обґрунтовано доцільність формального представлення ЦЗ у вигляді зваженого макрографа,

макровершини якого є результатом простої гомоморфної згортки сильно зв'язаних підграфів орієнтованого графа, що відповідає бінарному відношенню еквівалентності, заданому на множині блоків ЦЗ, зв'язок між якими існує у випадку, коли кількісні показники вкладу високочастотної складової у ці блоки є однаковими; запропонований метод вибору блоків ЦЗ-контейнера дозволив для 52% використаних ЦЗ значно підвищити (на 2-6 dB) кількісний показник візуального спотворення ЦЗ – пікове відношення «сигнал-шум» (PSNR) порівняно з випадковим вибором блоків для стеганоперетворення; при цьому візуальна якість стеганоповідомлень, що встановлювалася шляхом суб'єктивного ранжування, для всіх ЦЗ виявлялася кращою.

Розроблений метод вибору блоків має незначну обчислювальну складність, яка для  $n \times n$ -ЦЗ визначається як  $O(n^2)$ , що забезпечує перспективу його використання для потокового контейнера.

#### **Література**

1. Kuntho, J., Subramanian, N., Al-Maadeed, S., & Bouridane, A. (2023). Steganography: Recent advances and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82, 41943–41985.
2. Kobozieva, A., & Sokolov, A. (2022). The sufficient condition for ensuring the reliability of perception of the steganographic message in the Walsh-Hadamard transform domain. *Problemele Energeticii Regionale*, 2(54).

UDC 004.89

#### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОПТИМІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВЕБ-СТОРИНОК**

**Ph.D. Н. Бринза**<sup>[0000-0002-0229-2874]</sup>

*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,  
Україна,*

*EMAIL:natalia.brynza@hneu.net*

#### **EXPERIMENTAL RESEARCH ON OPTIMIZING WEB PAGE LOADING SPEED**

**Ph.D. N. Brynza**

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Анотація.** Експериментально досліджено вплив методів оптимізації на швидкість завантаження веб-сторінок. Застосовано різні підходи, включаючи кешування, мініфікацію та асинхронне завантаження. Виявлено, що кешування значно покращує продуктивність, знижуючи час завантаження та кількість запитів, що підтверджує його високу ефективність для оптимізації. Дослідження підтверджує важливість комплексного підходу до оптимізації та надає практичні рекомендації для підвищення технічної ефективності та покращення користувацького досвіду.

**Ключові слова:** оптимізація, швидкість завантаження, кешування, продуктивність, інформаційні технології.

**Abstract.** The impact of optimization methods on the loading speed of web pages is examined through experimental research. Multiple strategies were employed, such as caching, minification, and asynchronous loading. The results indicated that caching significantly enhances performance by decreasing loading times and the number of requests, highlighting its effectiveness for optimization. The study highlights the necessity of a holistic approach to optimization and offers practical suggestions for enhancing technical efficiency and user experience.

**Keywords:** optimization, download speed, caching, performance, information technology.

Web page loading speed is one of the critical factors that determines the overall efficiency and attractiveness of a web resource. It is a key indicator of website performance that directly affects user experience, user satisfaction, and SEO [1]. Pages with multiple components, interactive elements, or multimedia content may load more slowly, highlighting the need to balance design, functionality, and speed. Slow loading times can negatively affect search engine optimization, as search engines consider page speed a critical ranking factor.

According to research, most users leave a website if the page takes more than 3 seconds to load, so loading speed affects not only the visibility of a website in search engines, but also the conversion rate and overall effectiveness of a web resource in achieving business goals [1].

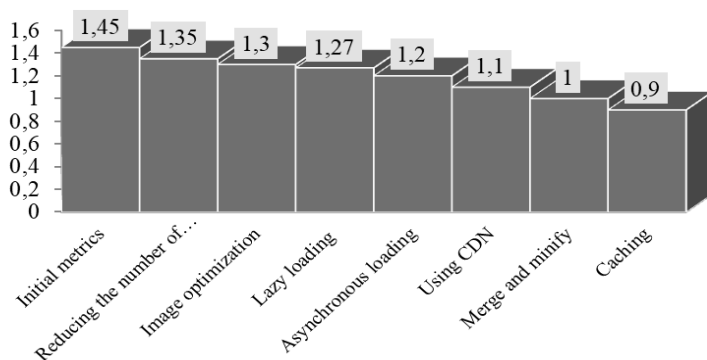
Understanding load speed and its impact on user experience helps you make more informed optimization decisions. The optimization of web page speed is crucial for several reasons: user experience. Delays in page loading can lead to user dissatisfaction and a loss of interest. Even a delay of a few seconds can significantly reduce conversions and increase bounce rates; SEO and search engine rankings. Search engines consider loading speed as one of the factors in ranking web pages. Websites that load quickly are more

likely to achieve higher positions in search results, which enhances their visibility and traffic; conversions and profits. For commercial sites, speed has a direct impact on conversions. A fast website encourages more interactions and purchases (Amazon or Walmart note that every second of delay in loading can cost them millions of dollars); reduces resource usage. Fast pages are usually lighter and less resource-demanding, which reduces the load on servers and internet channels, as well as reduces energy consumption; accessibility to a global audience. In many parts of the world, access to high-speed internet can be limited or expensive. Web pages that are optimized for quick loading times enhance content accessibility for a broader audience, even on slower connections.

Optimising web page load speed is an important aspect of modern web development that affects business success, user experience, and technical efficiency. Evaluated how each approach reduces load times, enhances content processing speed, and improves user experience: comparison of web page loading times before and after optimization; the impact of individual methods on various performance metrics; analysis of the effectiveness of the selected approaches in combination; recommendations for further use of optimization methods depending on the specifics of the project. To conduct an experiment evaluating modern methods for optimizing web page loading speed, a test website was selected with the following initial characteristics: the number of requests to the server: 16 HTTP requests; size of the received data: 898 KB; total size of resources: 1.1 MB; full page load time: 1.45 seconds; time to DOMContentLoaded event: 587 ms. The initial metrics were: overall performance: 73; FCP: 2.0; LCP: 2.7 seconds; CLS: 0.037; TBT: 90 ms; Speed Index: 2.3 seconds. FCP and LCP values indicate delays in displaying the main content. The full-page load time (1.45 seconds) exceeds the optimal values, but remains acceptable. The results of the experiment will be compared with the initial values to evaluate the effectiveness of the optimization methods implemented (fig.1).

According to the optimization results (reduced the number of third-party scripts, optimizing images, using lazy-loading for content, asynchronous loading of scripts, using CDN, combining and minimizing resources, caching), it turned out that the greatest positive effect was observed when using caching, which reduced the amount of transmitted data to 13 KB and the number of requests to the server to 9, providing the best overall performance indicator - 98. Resource pooling and minification, asynchronous script loading, and lazy content loading have demonstrated

significant improvements in key metrics such as FCP down to 0.7 seconds and LCP down to 0.9 seconds. The overall performance score for these methods ranges from 86-94. This highlights their effectiveness in addressing issues related to optimizing web page loading speed. The final performance metrics after the implemented optimizations were: number of requests to the server: 9; data size transferred: 12.7 KB; total resource size: 382 KB; full page load time: 663 ms; time to DOMContentLoaded event: 332 ms.



**Figure 1.** The impact of optimization methods on changes in download speed

As a result of the experimental study of modern methods for optimizing the speed of loading web pages, it was possible to improve the performance of the test web resource. When analyzing the effectiveness of different approaches, it was found that each method makes its own unique contribution to improving the overall performance. The greatest performance gain was achieved through the implementation of caching, which ensured the minimum volume of requests to the server and the maximum speed of access to content.

### References

1.Stadnik, W., & Nowak, Z. (2018). The impact of web pages' load time on the conversion rate of an e-commerce platform. In L. Borzemski, J. Świątek, & Z. Wilimowska (Eds.), *Information systems architecture and technology: Proceedings of 38th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2017* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 655). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67220-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67220-5_31)

УДК 004.93

**УНИКНЕННЯ ПОМИЛОК ПЕРШОГО РОДУ В ОБРОБЦІ  
ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КЛЮЧОВИХ ТОЧОК  
SIFT/BRISK НА ANDROID-СМАРТФОНАХ**

**Dr. Sci. D. Zubov<sup>1</sup>[0000-0002-5601-7827], Dr. Sci. A. Kupin<sup>2</sup>[0000-0001-7569-1721]**

<sup>1</sup>Університет Центральної Азії, Киргизька Республіка

<sup>2</sup>Криворізький національний університет, Україна

EMAIL: dzubov@ieee.org, kupin@knu.edu.ua

**AVOIDING TYPE I ERRORS IN IMAGE PROCESSING WITH  
SIFT/BRISK-KEYPOINTS ON ANDROID SMARTPHONES**

**Dr. Sci. D. Zubov<sup>1</sup>, Dr. Sci. A. Kupin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>University of Central Asia, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>Kryvyi Rih National University, Ukraine

**Анотація.** У дослідженні представлено новий метод обробки зображень з використанням ключових точок SIFT/BRISK та візуальних атрибутів дескрипторів. Основні етапи алгоритму: 1.Локалізація ключових точок SIFT/BRISK. 2.Відбір ключових точок SIFT/BRISK зі стабільним положенням на різних SIFT-октавах. 3.Розробка дескриптора зображення на основі обраних ключових точок SIFT/BRISK і візуальних дескрипторів. Цілове зображення (група дорожніх знаків «Пішохідний перехід» у дослідженні) може бути ідентифіковано за допомогою порогового значення  $V$ , яке має дорівнювати чи бути більшим 9.

**Ключові слова:** обробка зображень, SIFT, BRISK, візуальний дескриптор, дорожній знак.

**Abstract.** This study presents a new method of image processing with SIFT/BRISK-keypoints and descriptive visual attributes. The core steps of the image processing algorithm are as follows: 1. Localization of SIFT/BRISK-keypoints. 2. Selection of SIFT/BRISK-keypoints with stable positions across different SIFT octaves. 3. Designing the image descriptor based on the selected SIFT/BRISK-keypoints and descriptive visual attributes. The target image, the group of traffic signs “Crosswalk” in this study, can be identified in the photo using a threshold value  $V$ , which should be equal/larger to/than 9.

**Keywords:** image processing, SIFT, BRISK, descriptive visual attributes, traffic sign.

Нульовий рівень хибнопозитивних спрацьовувань, тобто помилка типу I, і мінімізація рівня хибнонегативних спрацьовувань, тобто

помилка типу II, є комплексним критерієм, що використовується в спеціалізованих проєктах з обробки зображень, таких як виявлення дорожніх знаків для пішоходів з вадами зору, знаків пожежної безпеки і знаків будівельної безпеки. Існуючі рішення показують, що відсоток неправильно розпізнаних дорожніх знаків може досягати 25 % для інтелектуальних транспортних засобів. Сучасні реальні реалізації також вимагають автономних та низькоенергетичних рішень, оскільки Інтернет-з'єднання часто нестабільне, а середній запит до ChatGPT споживає близько 0,34 ват-години і близько 0,32176 мл води. Екологічний вплив залежить від моделей нейронних мереж (МНМ) – складні відповіді виробляють більше викидів CO<sub>2</sub>, ніж прості відповіді, а МНМ, що надають більш точні відповіді, призводять до вищих викидів. Моделі з підтримкою складних міркувань виробляють у 50 разів більше викидів CO<sub>2</sub> порівняно з моделями, що надають лаконічні відповіді. Алія Рисбек, інженер-дослідник програмного забезпечення в Google DeepMind UK, зазначила на форумі KIT у Бішкеку (Киргизька Республіка) 29 травня 2025 року, що її команді нещодавно вдалося заощадити близько 1 % енергії, споживаної деякими МНМ, що є величезним кроком, враховуючи кількість запитів, які обробляються центрами обробки даних Google по всьому світу.

Сучасні алгоритми обробки зображень акцентують увагу на точності, інтерпретованості, прозорості, швидкості та масштабованості, одночасно зменшуючи обчислювальні витрати. Деякі з найсучасніших методів комп'ютерного зору є такими: згорткові нейронні мережі (ЗНМ), візуальні трансформери (ВТ), методи сегментації та інші методи обробки зображень, такі як генеративно-змагальні мережі, алгоритми супер-роздільної здатності, адаптивне вирівнювання гістограми та алгоритми шумозаглушення.

Двовимірні ЗНМ переважають в обробці зображень на сьогодні. Вони використовують згортку для виявлення закономірностей у зображеннях, а потім класифікують їх, виявляють об'єкти, застосовують семантичну сегментацію тощо. Перед застосуванням ЗНМ зображення проходять етапи попередньої обробки, такі як гомогенізація, нормалізація та аналіз основних компонентів. Найбільш поширеними моделями ЗНМ є AlexNet, ResNet, VGG, GoogleNet, Xception, Inception, DenseNet та EfficientNet.

На відміну від ЗНМ, які залежать від ієрархічного виділення ознак, ВТ аналізують зображення як послідовності менших фрагментів, що

дозволяє їм захоплювати контекстну інформацію та довгострокові залежності, що призводить до покращених можливостей розпізнавання зображень.

Сегментація зображень ділить зображення на окремі регіони на основі певних характеристик. Такі методи, як архітектури U-Net, Canny виявлення країв та Mask R-CNNs, надають ефективні та точні рішення.

Вищезазначені методи обробки зображень стикаються зі спільними проблемами в реалізації: висока обчислювальна складність; перенавчання знижує здатність моделі до узагальнення, що потенційно призводить до нижчої точності; шум і спотворення можуть скомпрометувати точність алгоритмів обробки зображень; інтерпретованість та прозорість деяких методів обробки зображень на основі ШІ; обмеження обробки в реальному часі; етичні проблеми та проблеми конфіденційності.

У цьому дослідженні автономне та низькоенергетичне програмне забезпечення було розроблено з використанням мобільного застосунку Java Android та ключових точок SIFT/BRISK (Scale-Invariant Feature Transform та Binary Robust Invariant Scalable Keypoints), що є реалізацією принципу периферійних обчислень. Енергоефективність досягається шляхом виконання оптимізованого за продуктивністю коду на смартфоні, що постійно працює, без бездротової передачі даних. Основні етапи наведеного алгоритму є такими: 1. Фотографування зображення камерою смартфона та Android API CameraX. 2. Зменшення зображення за допомогою білінійної фільтрації в застосунку Java Android. 3. Локалізація ключових точок SIFT/BRISK. 4. Відбір ключових точок SIFT/BRISK, які мають стабільні позиції на різних SIFT-октавах. 5. Розробка дескриптора зображення на основі обраних ключових точок SIFT/BRISK. 6. Знаходження зображень.

Наведений підхід використовує унікальний дескриптор зображення для кожного цільового об'єкта, що відрізняється від раніше розробленого методу, де застосовується шаблон з 291 точки. Спочатку багатопотоковий застосунок Java Android робить фотографію за допомогою бібліотеки Google CameraX, а потім метод `Bitmap.createScaledBitmap` генерує нове растрове зображення, масштабоване до максимальної роздільної здатності 500 пікселів з використанням білінійної фільтрації. З 700 ключових точок, виявлених методом SIFT, відбираються декілька (три в цієї статті) базових ключових точок. Далі розробляється бінарний дескриптор BRISK з

урахуванням ключових точок, які є унікальними на цільовому зображенні, і розраховуються відстані до базових ключових точок. Експерименти, проведені на смартфонах Doogee S96 Pro і Samsung M31, продемонстрували, що час виконання становить менше однієї секунди, з рівнем хибнопозитивних спрацьовувань нуль і рівнем хибнонегативних спрацьовувань 50 %.

УДК 004.49

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ХМАРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МОРСЬКИХ МАРШРУТІВ**

**П. Каленик**<sup>1[0009-0006-3534-1798]</sup>, **Dr. Sci. В. Вичужанін**<sup>2[0000-0002-6302-1832]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL:<sup>1</sup> pavlo.kalenyk@gmail.com, <sup>2</sup> v.v.vychuzhanin@op.edu.ua*

### **ENSURING CYBERSECURITY OF CLOUD SYSTEMS FOR MARITIME ROUTE OPTIMIZATION**

**P. Kalenyk, Dr. Sci. V. Vychuzhanin**  
*Odesa National Polytechnic University, Ukraine*

**Анотація.** У статті досліджуються проблеми кібербезпеки хмарних систем, що застосовуються для оптимізації морських маршрутів. Розглянуто сучасні кіберзагрози (DDoS, ransomware, несанкціонований доступ до AIS-даних), вразливості хмарних сервісів і методи їх подолання. Запропонована архітектура багаторівневого захисту, що включає Zero Trust, блокчейн для перевірки даних та багатофакторну автентифікацію. Умовно-модельні експерименти підтвердили зменшення впливу атак на продуктивність системи оптимізації.

**Ключові слова:** кібербезпека, хмарні технології, оптимізація маршрутів, морські перевезення, Zero Trust, блокчейн.

**Abstract.** The article examines the problems of cybersecurity of cloud systems applied to maritime route optimization. Current cyber threats (DDoS, ransomware, unauthorized access to AIS data), vulnerabilities of cloud services and possible mitigation approaches are analyzed. A multi-level security architecture is proposed, including Zero Trust, blockchain for data verification, and multi-factor authentication. Simulation experiments confirmed a reduction in the impact of cyberattacks on the performance of the optimization system.

**Keywords:** cybersecurity, cloud technologies, route optimization, maritime transportation, Zero Trust, blockchain.

Maritime transport is the backbone of the global economy, accounting for over 80% of international trade [1]. Its efficiency and stability directly influence global supply chains, and disruptions can lead to significant financial losses and delivery delays. Over the past decades, information technologies have become integral to the shipping industry, supporting tasks from route planning and fuel optimization to real-time cargo monitoring. The growing adoption of cloud computing enables the processing of vast datasets in real time, enhancing navigation accuracy, flexibility, and overall efficiency. At the same time, digitalization exposes the industry to an increasing number of cyber threats. Systems that once operated in isolation are now interconnected through the internet, satellite communications, and cloud platforms, creating new attack vectors. High-profile incidents, such as the NotPetya attack on Maersk in 2017 and the CMA CGM ransomware attack in 2020, caused hundreds of millions of dollars in losses and temporarily paralyzed logistics operations. These cases clearly demonstrate that even the largest and most technologically advanced companies remain highly vulnerable to sophisticated cyberattacks. Maritime route optimization relies on sensitive and mission-critical data, including AIS signals, weather forecasts, port schedules, and hydrological information. Any compromise of these data sources can mislead optimization algorithms, leading to unsafe routes, collisions, or costly detours. Cloud technologies provide scalability and high performance but also introduce new vulnerabilities. Data transmitted between vessels and cloud platforms may be intercepted or altered. Cloud infrastructures are also frequent targets of Distributed Denial of Service (DDoS) attacks, malicious API injections, and exploits of virtualized resources. Furthermore, limited internet access at sea complicates timely software updates and patching, leaving systems exposed to delayed-action attacks.

The International Maritime Organization (IMO) has introduced requirements to integrate cyber risk management into shipping safety systems, while standards such as ISO/IEC 27001 and the NIST Cybersecurity Framework provide structured approaches for information protection [2]. Nevertheless, applying these frameworks to cloud-based maritime environments remains challenging and requires sector-specific adaptation. To address these challenges, modern approaches emphasize multi-layered protection. Zero Trust Architecture enforces continuous verification of every access request, reducing the likelihood of unauthorized

access. Blockchain technology enables immutable verification of AIS and weather data, mitigating risks of spoofing and data manipulation.

Machine learning algorithms are increasingly used to detect anomalies in network traffic, providing early warnings of DDoS attacks and intrusion attempts. Combined, these methods form the foundation for resilient cloud infrastructures capable of supporting safe and efficient maritime operations. The proposed multi-level defence architecture begins with blockchain verification of incoming AIS and meteorological data, ensuring data integrity before further processing. Data transmission between vessels and the cloud is protected by end-to-end encryption and multi-factor authentication. Within the cloud environment, Zero Trust mechanisms enforce strict access control, while intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS) provide real-time monitoring.

Security Information and Event Management (SIEM) platforms enhanced with machine learning analyze system logs to identify complex multi-vector attacks[3]. Finally, edge computing deployed on board vessels ensures that essential route optimization functions can continue locally even when cloud connectivity is disrupted, thereby maintaining operational continuity. Simulation experiments were conducted to evaluate system resilience under three scenarios. In the case of DDoS attacks, unprotected systems failed within minutes, whereas the secured architecture maintained functionality with only a 15% increase in response time. In ransomware simulations, recovery for unprotected systems took several hours, while the use of blockchain-based backups reduced recovery time to just 20 minutes. In AIS spoofing scenarios, conventional systems generated false routes, whereas the proposed architecture successfully blocked 92% of falsified data. These findings confirm that advanced protection mechanisms significantly enhance resilience while maintaining acceptable performance levels.

In conclusion, cybersecurity for cloud-based maritime route optimization is vital for ensuring both economic stability and navigation safety. The integration of Zero Trust, blockchain, and intelligent monitoring provides a practical foundation for robust defense. Although these measures require additional investment and technical expertise, the benefits of improved resilience and reduced downtime far outweigh the risks of inaction. The shipping industry must continue to develop, test, and adopt such cybersecurity models to guarantee secure and reliable global transportation in an increasingly digital era.

### References

1. Statista. (n.d.). *Shipping around the world – statistics and facts*. Data Blog. Retrieved from <https://www.statista.com/topics/1728/ocean-shipping>
2. Vychuzhanin, V. (2014). Technical risks of complex sets of functionally interconnected structural components of ship power plants. *Bulletin of the Odessa National Maritime University*, 41(2), 68–77.
3. Zissis, D., & Lekkas, D. (2012). Addressing cloud computing security issues. *Future Generation Computer Systems*, 28(3), 583–592. <https://doi.org/10.1016/j.future.2010.12.006>

УДК 004.8:621.3:681.5

### **ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РІШЕННЯ СУПРОВОДУ ОБ'ЄКТІВ**

**Ph.D. О.Лактіонов** [0000-0002-5230-524X], **Ph.D. А.Янко** [0000-0003-2876-9316],  
**Ph.D. А. Глушко** [0000-0002-4086-1513], **Dr.Sci. В. Краснобаєв** [0000-0001-5192-9918]  
*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка», Україна,  
EMAIL: itm.olaktionov@nupr.edu.ua*

### **PRACTICAL ASPECTS OF DEVELOPING AN OBJECT TRACKING SOLUTION**

**Ph.D. O. Laktionov, Ph.D. A. Yanko, Ph.D. A. Hlushko,  
Dr.Sci. V. Krasnobayev**  
*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

**Анотація.** Наведені результати напрацювань щодо реалізації рішення для відслідковування об'єктів із можливістю здійснювати поворот камери на основі прогнозованого значення сигналу. Досліджено теоретичні та практичні основи розробки моделей нейронних мереж для прогнозування сигналів електропривода. Розроблено мінімально працююче рішення, яке відслідковує об'єкти у відеопотоці та корегує камеру залежно від рухів спостережуваних об'єктів.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, штучний інтелект, одноплатний комп'ютер.

**Abstract.** The paper presents the results of work on implementing a solution for object tracking with the ability to rotate the camera based on the predicted signal

*value. Theoretical and practical foundations of developing neural network models for predicting electric drive signals have been investigated. A minimally viable solution has been developed that tracks objects in a video stream and adjusts the camera according to the movements of the observed objects.*

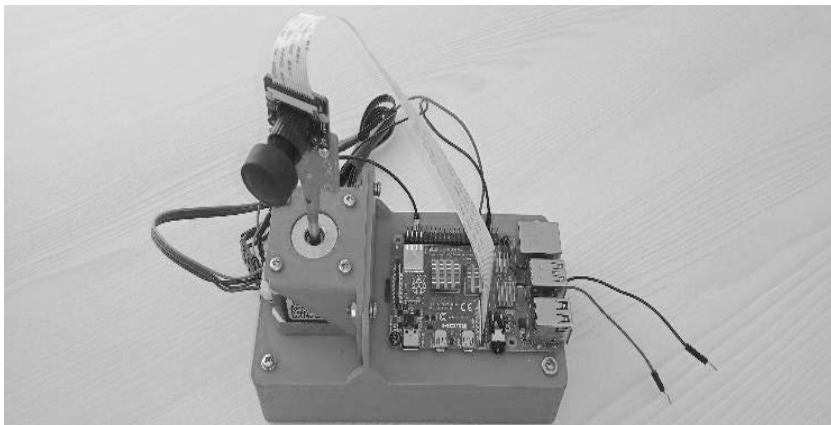
**Keywords:** *computer vision, artificial intelligence, single-board computer.*

Сучасний науковий дискурс значною мірою зосереджений на проблематиці застосування штучного інтелекту. Наявні дослідження демонструють тенденцію до універсалізації розробок та розширення сфер їх практичного використання [1]. Покажемо у цьому контексті є дослідження [2], у якому представлено модель нейронної мережі, призначену для реалізації інтелектуального управління двигуном гелікоптера. Ця праця стала підґрунтям для формування наукового інтересу авторів та визначила доцільність проведення досліджень, спрямованих на застосування технологій комп'ютерного зору для розв'язання прикладних завдань у сфері електротехніки.

Дослідження проходило у кілька етапів. Етап 1 передбачав розробку базової програми трекінгу об'єктів складних форм, яку реалізували на ноутбучі, а потім на одноплатному комп'ютері. Проблемою реалізації рішення на одноплатному комп'ютері є постійне оновлення бібліотек. Це потребує додаткового вивчення нового функціоналу.

Після реалізації базової моделі здійснювалися напрацювання кастомізації існуючої. Етап 2 передбачав пошук способів розробки нової моделі трекінгу. На цьому етапі орієнтиром стали результати дослідження [3], у якому представлено методичний підхід до вдосконалення моделі прогнозування. Робота над розробленням нової моделі комп'ютерного зору триває.

Етап 3 передбачав розробку електричної схеми дослідження, що складалася із одноплатного комп'ютера, крокового двигуна, відеокамери, які були монтовані у створений корпус. Також обрано модель нейронної мережі Long Short-Term Memory, яка оптимально описувала вхідний сигнал та здійснювала прогноз на кілька секунд вперед. Це дозволило створити програмну реалізацію рухів камери за об'єктом трекінгу та лабораторний стенд (рис. 1).



**Рисунок 1.** Макет створеного лабораторного стенду для вивчення задач супроводу об'єктів

Як показано на рисунку 1, лабораторний стенд об'єднує всі елементи у єдиному корпусі. На цій основі сформовано базовий прототип системи супроводу об'єктів, який на даному етапі характеризується певними технічними обмеженнями, зокрема відносно високим рівнем похибки та обмеженою дальністю спрацювання (приблизно до 50 метрів).

#### Література

1. Yanko, A., Pedchenko, N., & Kruk, O. (2024). Enhancing the protection of automated ground robotic platforms in the conditions of radio electronic warfare. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2024(6), 136–142.
2. Vladov, S., Sachenko, A., Sokurenko, V., Muzychuk, O., & Vysotska, V. (2024). Helicopters turboshaft engines neural network modeling under sensor failure. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(5), 66. <https://doi.org/10.3390/jsan13050066>
3. Mokin, V. B., Losenko, A. V., & Yaschholt, A. R. (2020). Information technology analysis and predicting a multiwave number of new COVID-19 disease based on prophet model. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 153(6), 65–75.

УДК 004.6:621-78

## СИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ В КОНТЕКСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

**О. Романенко**<sup>1</sup>[0009-0008-9316-1941], **Dr.Sci. А. Купін**<sup>2</sup>[0000-0001-7569-1721],  
**Dr.Sci. Д. Зубов**<sup>3</sup>[0000-0002-5601-7827], **Ph.D. В. Голівер**<sup>4</sup>[0000-0002-8276-5992]  
<sup>1,2,4</sup> Криворізький національний університет, Україна,  
<sup>3</sup>Університет Центральної Азії, Киргизстан  
EMAIL: <sup>1</sup>romanenko74@knu.edu.ua, <sup>2</sup>kupin@knu.edu.ua, <sup>3</sup>dzubov@ieee.org,  
<sup>4</sup>holivervlad@gmail.com

## DATA ACQUISITION SYSTEMS IN MAINTENANCE CONTEXT

**О. Romanenko<sup>1</sup>, Dr.Sci. А. Kupin<sup>2</sup>, Dr.Sci. D. Zubov<sup>3</sup>, Ph.D. V. Holiver<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,4</sup> Kryvyi Rih National University, Ukraine, <sup>3</sup>University of Central Asia, Kyrgyzstan

**Анотація.** Здійснення технічного обслуговування на основі стану спирається на дані про стан об'єкта, тому успішна реалізація такого типу технічного обслуговування значною мірою залежить інфраструктури збору даних. На основі літературного аналізу було визначено функції систем збору даних та здійснено декомпозицію процесу збору даних на три основні підсистеми: вимірювання, кондиціонування та передавання. Запропоновано моделі кожної з підсистем та модель системи збору даних в цілому.

**Ключові слова:** Дані, збір даних, система збору даних, технічне обслуговування, модель

**Abstract.** Condition-based maintenance (CBM) relies on assets' health monitoring data to plan and execute maintenance actions. Hence, the success of CBM implementations depends heavily on the quality and reliability of their underlying data acquisition infrastructure. Through systematic literature analysis, we decomposed the data acquisition process into three fundamental subsystems: measurement, conditioning, and transferring. Each serves a distinct purpose in transforming physical phenomena into usable digital information. Models for each subsystem and a model for the overall data collection system are proposed

**Keywords:** Data, Data acquisition, Maintenance, Condition-based maintenance, model

Зі розвитком вимірювальної техніки, засобів та методів обробки даних став можливим перехід до принципово нових методів організації технічного обслуговування, які базуються на врахування реального поточного стану обладнання. Системи збору даних (Data Acquisition

Systems) виступають критично важливою ланкою в цій трансформації, яка надає дані для прийняття рішень щодо проведення технічного обслуговування.



**Рисунок 1.** Структура системи збору даних

Визначення системи збору даних можливе через визначення процесу збору даних. Так, у роботі [1] стверджується, що збір даних це процес отримання необроблених даних у вигляді електричних або інших фізичних явищ з різних джерел та перетворення їх у вимірювальний сигнал, придатний для обробки. Згідно з визначення у [2] збір даних –це процес отримання сигналів з реальних джерел вимірювання та оцифрування цих сигналів для зберігання, аналізу та представлення. Визначення у роботі [3] звучить так: збір даних – це процес вимірювання фізичних даних і перетворення результатів у цифрову форму, яка надалі обробляється певною системою. В контексті технічного обслуговування процес збору даних полягає в отриманні кількісних значень параметрів досліджуваного об'єкта у формі, придатній для подальшої обробки та аналізу. На рисунку 1 наведено структуру схему системи збору даних.

Математично система збору даних може бути представлена як композиція функцій її підсистем:

$$DAS = M \circ Y_c \circ T, \quad (1)$$

де:  $M$  – функція вимірювання;

$Y_c$  – функція обробки;

$T$  – функція передавання

Вимірювання може бути представлене як функція відображення:

$$M : \Phi \rightarrow S, \quad (2)$$

де:  $\Phi$  – простір фізичного явища;

$S$  – простір вимірювального сигналу.

Процес обробки вимірювального сигналу може бути представлений так:

$$X \xrightarrow{C_1} X_1 \xrightarrow{C_2} X_2 \xrightarrow{C_3} \dots \xrightarrow{C_n} Y, \quad (3)$$

де:  $X$  - вхідний сигнал;

$Y$  - вихідний сигнал;

$C_i$  - оператор обробки (кондиціонування);

$n$  - загальна кількість операторів кондиціонування.

Модель передавальної системи може бути формально представлена як кортеж:

$$T = \langle S, T_x, C, R_x, D \rangle, \quad (4)$$

де:  $S$  - джерело (у цьому випадку джерелом є система обробки сигналу);

$T_x$  - функція передавача;

$C$  - функція каналу зв'язку;

$R_x$  - функція приймача;

$D$  - система призначення

Запропонована модель представляє систему збору даних як послідовний процес вимірювання, обробки та передачі, де вихід кожної підсистеми є входом для наступної, формуючи цілісний ланцюг трансформації та передачі даних для подальшого аналізу.

### References

1. Bishop, R. H. (Ed.). (2017). *Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009026>
2. Gackowiec, P. (2019). General overview of maintenance strategies – concepts and approaches. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 2(1), 126–139. <https://doi.org/10.2478/mape-2019-0013>
3. Kos, T., Kosar, T., & Mernik, M. (2012). Development of data acquisition systems by using a domain-specific modeling language. *Computers in Industry*, 63(3), 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.09.004>

УДК 004.9:504:528.8

## РОЗРОБКА ВЕБРЕСУРСУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ НА БАЗІ БПЛА

Ph.D. O. Іванов<sup>1</sup>[0000-0002-8620-974X], П. Хорольський<sup>2</sup>[0009-0006-1060-351X]

<sup>1,2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна

EMAIL: lesha.ivanoff@gmail.com<sup>1</sup>, pashahorolskij4@gmail.com<sup>2</sup>

## DEVELOPMENT OF A WEB RESOURCE TO SUPPORT REAL- TIME ENVIRONMENTAL STATUS DETERMINATION USING DRONES

Ph.D. O. Ivanov, P. Khorolskij

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У роботі представлено вебресурс із геоінформаційною підтримкою для відображення маршрутів руху безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що використовуються для вимірювання параметрів довкілля за допомогою різних датчиків, а також аналізу зібраних даних. Розроблений вебресурс дозволяє завантажувати маршрути польотів, переглядати виміряні дані з датчиків, обирати параметри для відображення та інтерактивно працювати з картою у вебінтерфейсі.

**Ключові слова:** БПЛА, маршрутизація, геоінформаційна система, моніторинг довкілля, мультиспектральна камера, OpenStreetMap, Leaflet.

**Abstract.** A web-resource with geo-information support is presented for visualizing the flight paths of unmanned aerial vehicles (UAVs) used for environmental parameter measurement. This resource displays data collected by various sensors and facilitates analysis of that data. The developed web-resource allows users to upload flight routes, view measured sensor data, select parameters for visualization, and interact with a map within the web interface. This system provides a comprehensive tool for environmental monitoring by integrating UAVs flight data with a user-friendly, interactive geospatial platform.

**Keywords:** UAVs, routing, geographic information system (GIS), environmental monitoring, multispectral camera, OpenStreetMap, Leaflet.

**Вступ.** На тлі зростаючих потреб у моніторингу стану довкілля в режимі реального часу [1,2] виникає потреба у розробці інтелектуальних систем, що дозволяють візуалізовувати дані, зібрані з датчиків із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Використання БПЛА дозволяє оперативно збирати дані з важкодоступних місць, що в поєднанні з вебресурсом забезпечує

швидкий доступ та візуалізацію геопросторових даних для прийняття рішень. Така система є інноваційним інструментом для екологічного моніторингу, що підвищує ефективність та точність аналізу стану довкілля. Наразі на базі кафедр фізики та інформаційних систем НУ «Одеська політехніка» відбуваються дослідження з даної тематики у рамках грантового науково-технічного проєкту «Інтелектуальна система визначення стану довкілля у реальному часі на базі БПЛА».

**Основна частина.** На даний момент у польових дослідженнях використовується самостійно зібраний БПЛА, у якому в якості датчика використовується мультиспектральна камера LaQuinta NDVI Sensor. У подальшому передбачається також використання магнітометра, а також інших датчиків. На даному етапі дані надходять файлово (із зовнішнього носія) у вигляді CSV-файлів із координатами та вимірними значеннями, а також 4-канальних TIFF зображень з камери.

Для розробки вебресурсу була використана клієнт-серверна архітектура:

- клієнт (вебінтерфейс) відображає карти, маршрути та вимірювані дані;

- сервер приймає дані від БПЛА (файли з координатами, зображення тощо), зберігає їх у БД та файлового сховищі;

- база даних під управлінням СУБД MongoDB містить маршрути, параметри середовища та історію вимірювань;

- хмарне сховище MinIO використовується для зберігання зображень із мультиспектральної камери;

- модуль моніторингу (Prometheus, Grafana, cAdvisor) забезпечує контроль стану системи.

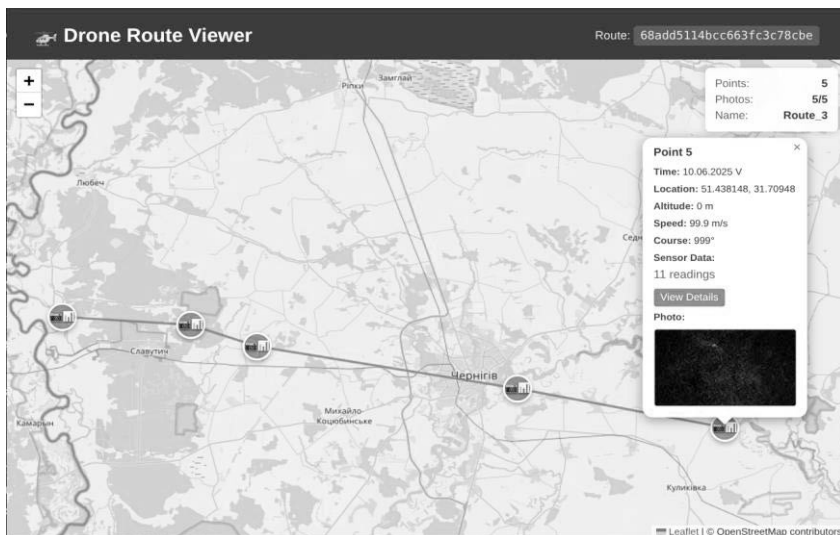
Для відображення карт і маршрутів використовується бібліотека Leaflet (рис. 1):

- маршрути завантажуються у вигляді набору GPS-координат;

- на карту можна додавати кілька маршрутів із датою та часом;

- при наведенні курсора на точку маршруту відображаються вимірні параметри;

- карти підвантажуються з відкритих джерел (OpenStreetMap), передбачена можливість додавання шару рельєфу чи адміністративних меж.



**Рисунок 1.** Екранна форма відображення маршруту БПЛА

**Висновки.** Розроблений вебресурс забезпечує інтерактивне відображення маршрутів польотів БПЛА, завантаження та аналіз екологічних даних у реальному часі. Архітектура системи є гнучкою й дозволяє розширювати перелік сенсорів, інтегрувати додаткові модулі обробки даних та забезпечувати наукові й практичні завдання з моніторингу довкілля.

### **Література**

1. Román, A., Tovar-Sánchez, A., Gauci, A., Deidun, A., Caballero, I., Colica, E., D'Amico, S., & Navarro, G. (2022). Water-quality monitoring with a UAV-mounted multispectral camera in coastal waters. *Remote Sensing*, 15(1), 237. <https://doi.org/10.3390/rs15010237>
2. Srivastava, S. K., Seng, K. P., Ang, L. M., Pachas, A. 'Nahuel' A., & Lewis, T. (2022). Drone-based environmental monitoring and image processing approaches for resource estimates of private native forest. *Sensors*, 22(20), 7872. <https://doi.org/10.3390/s22207872>

УДК 004.93.1:528.7

## ОГЛЯД ФОТОГРАММЕТРІЇ ТА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ 3D-РЕКОНСТРУКЦІЇ

А. Колдунова<sup>1</sup>[0009-0003-6252-1987], В. Олійник<sup>1</sup>[0009-0000-5527-7750],  
С. Смик<sup>2</sup>[0000-0001-7020-1826]

Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>vadimol081@gmail.com, <sup>2</sup>smyk@op.edu.ua

## OVERVIEW OF PHOTOGRAMMETRY AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR FUTOMATED 3D RECONSTRUCTION

A. Koldunova, V. Oliinyk, S. Smyk  
Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** Проведено огляд сучасних методів тривимірної реконструкції на основі цифрових зображень. Визначено ключові етапи класичного конвеєра фотограмметрії (Structure from Motion та Multi-View Stereo) та проаналізовано їх сильні й слабкі сторони. Розглянуто нейромережеві підходи, зокрема Neural Radiance Fields, які забезпечують високий рівень фотореалізму, та метод 3D Gaussian Splatting, що поєднує швидкість з якістю реконструкції. Наведено результати порівняльного аналізу геометричних, імпліцитних та явних репрезентацій сцен. Показано перспективи інтеграції зазначених технологій у професійні програмні комплекси та мобільні додатки (Polycam, Luma AI), що забезпечують доступність 3D-сканування для широкого кола користувачів.

**Ключові слова:** фотограмметрія, Structure from Motion, Neural Radiance Fields, 3D Gaussian Splatting, нейронний рендеринг, 3D-реконструкція, мобільні додатки.

**Abstract.** A review of modern methods of three-dimensional reconstruction based on digital images has been conducted. The key stages of the classical photogrammetry pipeline (Structure from Motion and Multi-View Stereo) have been identified and their strengths and weaknesses analysed. Neural network approaches are considered, in particular Neural Radiance Fields, which provide a high level of photorealism, and the 3D Gaussian Splatting method, which combines speed with reconstruction quality. The results of a comparative analysis of geometric, implicit, and explicit scene representations are presented. The prospects for integrating these technologies into professional software packages and mobile applications (Polycam, Luma AI) that make 3D scanning accessible to a wide range of users are shown.

**Keywords:** photogrammetry, Structure from Motion, Neural Radiance Fields, 3D Gaussian Splatting, neural rendering, 3D reconstruction, mobile applications.

Фотограмметрія як галузь виникла на основі суворих геометричних принципів і стала одним із ключових методів відтворення тривимірних об'єктів на основі двовимірних зображень. Сучасний підхід Structure from Motion (SfM) дозволяє відновлювати не лише просторову структуру сцени, але й параметри камер, включаючи їх положення та орієнтацію [1].

Цей метод є основоположним для класичних систем комп'ютерного зору, оскільки забезпечує отримання розрідженої хмари точок та визначення геометрії сцени. Робочий процес SfM складається з декількох послідовних етапів: екстракції ознак, їх зіставлення, геометричної верифікації за допомогою алгоритму RANSAC та оптимізації параметрів камер і точок через так зване bundle adjustment. Завдяки цьому забезпечується точність метричних реконструкцій, яка є критично важливою для наукових досліджень, археології, геодезії та картографії. Проте методи фотограмметрії мають суттєві обмеження, зокрема у випадках відтворення поверхонь із низьким рівнем текстурованості, дзеркальних або прозорих об'єктів, де зіставлення ознак стає проблематичним.

Прорив у галузі тривимірної реконструкції забезпечили нейромережеві підходи, зокрема Neural Radiance Fields (NeRF). На відміну від геометрично орієнтованих методів, NeRF описує сцену як неперервну п'ятимірну функцію, яка визначає об'ємну густину та колір у будь-якій точці простору для заданого напрямку огляду [2]. Цей підхід дозволяє моделювати складні візуальні ефекти, такі як дзеркальні відбиття чи заломлення світла, що є недоступним для класичної фотограмметрії.

Навчання NeRF здійснюється в самоконтрольованому режимі, де мережа оптимізує свої параметри, мінімізуючи різницю між відрендереними та реальними зображеннями сцени. Головною перевагою є здатність створювати нові ракурси з високим рівнем фотореалізму, що робить метод актуальним для візуалізації, кінематографії, AR/VR та ігор. Разом з тим, основним недоліком NeRF залишається його обчислювальна складність: процес навчання займає години чи навіть дні, а рендеринг відбувається надзвичайно повільно.

Подальший розвиток технологій привів до появи 3D Gaussian Splatting (3DGS) – інноваційного підходу, який поєднує переваги геометричних та нейромережевих методів [3]. На відміну від NeRF, де сцена описується вагами багатопланового перцептрона, у 3DGS вона

представлена набором явних примітивів – тривимірних гаусіанів. Кожен гаусіан характеризується положенням у просторі, формою, орієнтацією та кольором. Завдяки цьому досягається баланс між точністю та швидкістю.

Візуалізація у 3DGS базується на диференційованій растеризації, яка забезпечує продуктивність у реальному часі навіть для великих сцен. Крім того, механізм адаптивної зміни густини гаусіанів дозволяє динамічно деталізувати геометрію там, де це необхідно, і видаляти непотрібні елементи.

Порівняльний аналіз трьох парадигм – фотограмметрії, NeRF та 3DGS – показує еволюційний характер розвитку галузі. Фотограмметрія забезпечує високу точність та сумісність із класичними інструментами редагування, але є чутливою до властивостей поверхонь. NeRF гарантує найвищий рівень фотореалізму, проте страждає від низької швидкодії. 3DGS демонструє компромісний підхід, поєднуючи якість відтворення зі швидкістю, що дозволяє використовувати його у реальному часі [4]. Таким чином, кожен метод має свою нішу застосувань: від геодезичних досліджень до інтерактивних розваг та цифрової культурної спадщини.

Сучасні тенденції також свідчать про інтеграцію цих технологій у масові мобільні додатки. Такі інструменти, як Polycam та Luma AI, роблять 3D-сканування доступним для широкого загалу, дозволяючи створювати тривимірні моделі навіть за допомогою звичайної камери смартфона [5]. Polycam поєднує фотограмметрію з можливостями LiDAR (для пристроїв, які його підтримують), тоді як Luma AI фокусується на нейронному рендерингу, застосовуючи методи NeRF та Gaussian Splatting.

Загалом, розвиток фотограмметрії та нейронних підходів демонструє рух від геометрично орієнтованих методів до гібридних технологій, здатних об'єднувати точність, фотореалізм і швидкість. Перспективним напрямом є подальше поєднання методів у гібридних системах, що зможуть адаптивно використовувати сильні сторони кожної технології залежно від конкретного завдання.

### **Література**

1. Wikipedia. (2025, August 20). *Structure from motion*. In Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Structure\\_from\\_motion](https://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion)

2. Xiao, W., Chierchia, R., Cruz, R. S., Li, X., Ahméd-Aristizabal, D., Salvado, O., & Lebrat, L. (2025). Neural radiance fields for the real world: A survey. *arXiv [cs.CV]*. <https://arxiv.org/abs/2501.13104>
3. Ebert, D. (2023, September 18). *Introduction to 3D Gaussian splatting*. Hugging Face. <https://huggingface.co/blog/gaussian-splatting>
4. Nesheim, K. (2024, May 29). *Gaussian splatting vs. photogrammetry vs. NeRFs – pros and cons*. Teleport. <https://teleport.varjo.com/blog/photogrammetry-vs-nerfs-gaussian-splatting-pros-and-cons>
5. Before & Afters. (2024, July 2). *Comparing the top 3D scanner apps*. <https://beforeandafters.com/2024/07/02/comparing-the-top-5-3d-scanner-apps/>

UDC 004.056

## ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНОГО МЕТОДУ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ У КЛІЄНТ-СЕРВЕРНІ СИСТЕМИ

Ph.D. Т. Зайко<sup>1</sup>[0000-0003-1800-8388], К. Паничук<sup>2</sup>[0009-0009-4340-6688]

<sup>1,2</sup>Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

EMAIL: <sup>1</sup>nika270202@gmail.com, <sup>2</sup>panichuck.kat@gmail.com

## IMPLEMENTING A HYBRID METHOD FOR DATA ENCRYPTION IN CLIENT-SERVER SYSTEMS

Ph.D. T. Zaiko, K. Panychuk

<sup>1,2</sup>National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Ukraine

**Анотація.** Зростаючий попит на безпечну передачу даних у мобільних клієнт-серверних застосунках, особливо тих, що пов'язані з особистою та чутливою інформацією, зумовлює необхідність використання ефективних криптографічних механізмів. У цій роботі представлено підхід гібридного шифрування для захисту зображень їжі, що передаються з мобільного застосунку на сервер для класифікації. Система використовує симетричне шифрування (AES) для забезпечення конфіденційності даних та асиметричне шифрування (RSA) для безпечного обміну ключами. Проведено експериментальне оцінювання для порівняння продуктивності AES, RSA та їх гібридної комбінації за часом шифрування та складністю. Результати показують, що гібридний підхід досягає збалансованого компромісу між безпекою та ефективністю, забезпечуючи надійний захист із мінімальними витратами ресурсів.

**Ключові слова:** гібридне шифрування, AES, RSA, криптографія, .NET MAUI, Python.

**Abstract.** *The increasing demand for secure data transmission in mobile client-server applications, particularly those involving personal and sensitive information, necessitates the use of efficient cryptographic mechanisms. This paper presents a hybrid encryption approach for protecting food images transmitted from a mobile application to a server for classification. The system employs symmetric encryption (AES) for data confidentiality and asymmetric encryption (RSA) for secure key exchange. The implemented solution integrates cryptographic modules using System.Security.Cryptography on the client side and PyCryptodome on the server side. Experimental evaluation was conducted to compare the performance of AES, RSA, and their hybrid combination in terms of encryption time and complexity. The results demonstrate that the hybrid approach achieves a balanced trade-off between security and efficiency, providing robust protection with minimal overhead.*

**Keywords:** *hybrid encryption, AES, RSA, cryptography, .NET MAUI, Python.*

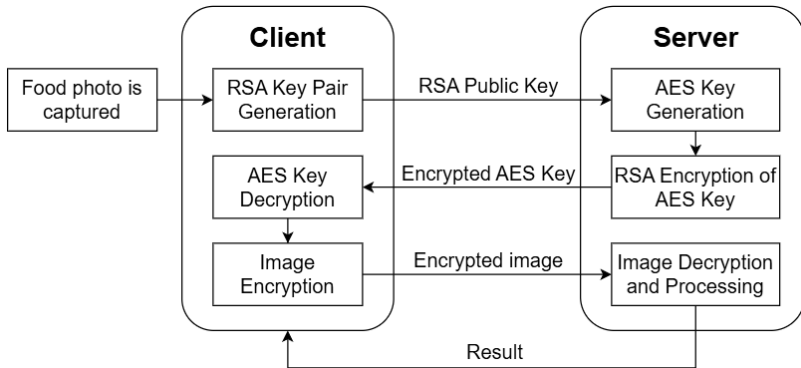
In the era of widespread deployment of client-server applications across mobile and cloud-based environments, the protection of transmitted and stored user data has become a critical concern. The increasing integration of sensitive data such as health metrics, biometric information, and user-generated content necessitates robust cryptographic mechanisms to ensure confidentiality, integrity, and authenticity during client-server interactions [1, 2]. One specific application domain that exemplifies these challenges is digital health monitoring. Applications that involve food tracking, barcode-based product identification, and smart scale data processing often require transmission of personal data and images over networks. Consequently, employing strong and efficient encryption techniques becomes imperative to safeguard user privacy. Symmetric encryption algorithms like the Advanced Encryption Standard (AES) offer high performance and are widely adopted in practice, but they require a secure method of key exchange [3]. On the other hand, asymmetric algorithms such as RSA provide secure key exchange but suffer from computational overhead and limited throughput when applied to large data payloads [4]. To balance the trade-offs between security and efficiency, hybrid cryptographic approaches are increasingly being adopted. These combine the advantages of symmetric encryption for data confidentiality with asymmetric encryption for secure key exchange. The research explores the comparative performance of AES, RSA, and a hybrid AES+RSA scheme in the context of encrypting food images. The goal is to identify an optimal encryption strategy that maintains a balance between computational efficiency and security assurance, particularly for environments with limited computational and network bandwidth resources.

To safeguard food image data transmitted from the mobile client to the server, the application integrates a cryptographic module based on a hybrid encryption approach. This module combines AES for encrypting image content and RSA for securely transferring the symmetric key. The cryptographic modules were integrated using standard libraries: System.Security.Cryptography on the client side and PyCryptodome on the server side. The modular design ensured separation of responsibilities, secure communication, and maintainability of the application.

The image encryption and transmission workflow (Fig. 1) consist of the following steps:

1. The user captures a food image using the mobile application.
2. A new RSA key pair is generated on the client device. The public key is sent to the server.
3. Upon receiving the client's public key, the server generates a random AES-256 symmetric key.
4. The server encrypts the AES key using the client's RSA public key and transmits the encrypted AES key back to the client.
5. The client decrypts the AES key using its private RSA key.
6. The food image is then encrypted on the client side using the decrypted AES key (in CFB mode).
7. The encrypted image is sent to the server, where it is decrypted using the original AES key.
8. The server processes the image using a convolutional neural network (ResNet50V2) to identify the food class.
9. The classification result is sent back to the mobile client.

To evaluate encryption performance, the time of execution for encrypting and decrypting image data was measured across three cryptographic approaches: AES (symmetric), RSA (asymmetric), and the hybrid combination of AES and RSA. Each test was repeated 3 times and averaged to ensure consistency. The primary metric was the average execution time (in seconds) required to securely prepare an image for transmission and classification.



**Figure 1.** Food image encryption and transmission

The following Table 1 presents a comparative analysis of the three encryption approaches based on multiple criteria. The hybrid encryption approach, which combines AES for data encryption and RSA for secure key exchange, proved to be the most effective. It delivered the lowest encryption time (0.88 seconds) while maintaining high security and ease of key distribution. This method successfully protected food images during transmission and allowed seamless integration with the classification model on the server side.

**Table 1.**

Comparison of implemented encryption methods

| Comparison criteria          | AES            | RSA                     | AES and RSA       |
|------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| Keys                         | One shared key | Private and public keys | Key combination   |
| Key size                     | 256 bits       | 2048 bits               | 256 and 2048 bits |
| Time of execution            | 1.12 s         | 34.04 s                 | 0.88 s            |
| Complexity of key management | High           | Low                     | Low               |
| Transfer of keys             | Difficult      | Easy                    | Easy              |
| Complexity                   | Low            | High                    | Medium            |

Overall, the hybrid encryption model significantly improved the security and efficiency of the system. It is recommended for similar applications where sensitive multimedia data is transmitted over potentially insecure networks and where both security and performance are critical. Future work may include expanding the cryptographic scheme with digital signatures for authentication and exploring post-quantum cryptographic algorithms to future-proof the application.

### **References**

1. Stallings, W. (2011). *Cryptography and network security: Principles and practice* (5th ed.). Boston: Prentice Hall.
2. Takabi, H., Joshi, J. B. D., & Ahn, G.-J. (2010). Security and privacy challenges in cloud computing environments. *IEEE Security & Privacy*, 8(6), 24–31. <https://doi.org/10.1109/MSP.2010.186>
3. Daemen, J., & Rijmen, V. (2002). *The design of Rijndael: AES - the Advanced Encryption Standard*. Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04722-4>
4. Rivest, R. L., Shamir, A., & Adleman, L. (1983). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 26(1), 96–99. <https://doi.org/10.1145/357980.358017>

УДК 004.415.2

### **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ В ОСВІТНІХ ДАНИХ**

**Ph.D. Н. Комлева**<sup>[0000-0001-9627-8530]</sup>, **Dr.Sci. В. Любченко**<sup>[0000-0002-4611-7832]</sup>,  
**Ph.D. С. Зіноватна**<sup>[0000-0002-9190-6486]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: komleva@op.edu.ua, lvv@op.edu.ua, zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua*

### **DATA MINING METHODS FOR DETECTING PATTERNS IN EDUCATIONAL DATA**

**Ph.D. N. Komleva, D.Sc. V. Liubchenko, Ph.D. S. Zinovatna**  
*National University 'Odessa Polytechnic', Ukraine*

***Анотація.** У даній роботі розглянуто застосування методів інтелектуального аналізу даних для виявлення закономірностей в освітніх даних. Проаналізовано поведінкові індикатори, зокрема активність на*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

навчальних платформах, своєчасність виконання завдань і залучення до взаємодії. Показано перспективність асоціативного аналізу, кластеризації та факторного аналізу для формування адаптивних освітніх рішень і раннього виявлення ризиків академічної неупісності.

**Ключові слова:** інтелектуальні методи, виявлення патернів, освітні дані, інформаційні об'єкти, кластеризація.

**Abstract.** *This paper studies the application of data mining methods to identify patterns in educational data. Behavioral indicators are analyzed, including activity on learning platforms, timeliness of task completion, and engagement in interaction. The potential of associative analysis, clustering, and factor analysis for forming adaptive educational decisions and early identification of risks of academic failure is shown.*

**Keywords:** *intelligent methods, pattern detection, educational data, information objects, clustering.*

Цифровізація освітнього середовища породжує великі масиви освітніх даних. Такі дані можуть служити джерелом цінної інформації для прийняття обґрунтованих управлінських та педагогічних рішень. Водночас освітні дані характеризуються низкою викликів. По-перше, вони часто є фрагментарними, тому що зібрані з різних джерел і зберігаються в ізольованих системах, що ускладнює їх інтеграцію та порівняння. По-друге, ці дані мають неструктурований або напівструктурований характер, наприклад, текстові коментарі викладачів, записи вільного формату, часові логи дій. По-третє, обсяг інформації, що генерується щодня в масштабах університету чи школи, ускладнює її ручний аналіз, роблячи необхідним впровадження інструментів автоматизованої обробки та виявлення закономірностей.

У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба в системному застосуванні методів інтелектуального аналізу даних у сфері освіти. Такі методи дозволяють не лише виявляти приховані залежності, які важко побачити при традиційному перегляді таблиць чи звітів, але й будувати адаптивні моделі прогнозування прогресу, виявлення ризикованих ситуацій та персоналізації навчання. Інтелектуальний аналіз даних в освіті розглядається сьогодні як перспективний інструмент для підтримки обґрунтованого прийняття рішень викладачами, адміністрацією та навіть самими студентами, сприяючи підвищенню ефективності навчального процесу.

Освітні дані охоплюють широкий спектр інформаційних об'єктів, які утворюються внаслідок щоденної взаємодії студентів із навчальним середовищем. На рівні базових атрибутів найчастіше використовуються оцінки за поточні та підсумкові форми контролю, які дозволяють зафіксувати рівень засвоєння матеріалу. Проте самі по собі ці оцінки є лише частковим індикатором прогресу, що не дає повного уявлення про мотивацію, зусилля чи динаміку змін у поведінці. Саме тому дедалі більшого значення набувають поведінкові та процесуальні ознаки, зокрема: кількість входів у курс, тривалість перебування на платформі, своєчасність виконання завдань, кількість спроб проходження тестів, відвідуваність занять, інтенсивність перегляду додаткових ресурсів, рівень взаємодії у форумах чи групових активностях.

Для виявлення прихованих закономірностей у такому типі даних доцільним є застосування методів інтелектуального аналізу, які дозволяють працювати з багатовимірними, динамічними та часозалежними структурами. Один із базових підходів – асоціативний аналіз, зокрема алгоритми Apriori або FP-Growth, які дозволяють знайти частотні шаблони на кшталт: «якщо студент переглядає матеріали до дедлайну > 3 разів, то ймовірність отримати оцінку вище 85 балів зростає на 30%». Такий аналіз дає змогу формувувати інтерпретовані правила, які можуть бути використані для рекомендацій чи інтервенцій. Другим важливим напрямом є кластеризація – поділ студентів на групи за подібністю поведінкових профілів. Наприклад, за допомогою алгоритмів k-means або DBSCAN можна виявити групи з високою активністю і стабільними результатами, нестабільних студентів зі зниженням показників у середині семестру, або ж пасивних учасників із мінімальним залученням. Візуалізація цих кластерів у поєднанні з часовими рядами дозволяє виявити типові траєкторії навчального прогресу та зони ризику. Третім аналітичним інструментом є факторний аналіз, який дозволяє зменшити розмірність ознакового простору та виявити латентні змінні – приховані чинники, які визначають варіацію в успішності або навчальній поведінці.

Загалом ці методи дозволяють не лише ідентифікувати групи студентів за ознаками їх прогресу, а й виявляти структурні закономірності, часові зсуви, причинно-наслідкові залежності та ранні індикатори ризику, що є основою для інформованого управління освітнім процесом на індивідуальному й інституційному рівнях.

УДК 004.056

## ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ДАНИХ В ЗОБРАЖЕННЯХ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ КОЛМОГОРОВА-СМИРНОВА

К. Трифонова<sup>[0009-0004-4468-1618]</sup>

Одеський національний морський університет, Україна,  
EMAIL: katikkatik@gmail.com

## KOLMOGOROV-SMIRNOV BASED DETECTION OF HIDDEN DATA IN IMAGES

K. Tryfonova

Odesa National Maritime University, Ukraine

**Анотація.** У дослідженні представлено новий метод стеганографічного аналізу, призначений для виявлення прихованої інформації в цифрових зображеннях без потреби доступу до оригінального зображення. Підхід ґрунтується на статистичному аналізі сингулярних чисел блоків матриці зображення із застосуванням критерію Колмогорова-Смирнова. Метод демонструє високу точність, обчислювальну ефективність і придатність для використання в режимі реального часу та при обробці великих обсягів даних у сфері кібербезпеки.

**Ключові слова:** інформаційна безпека, стеганографія, стеганографічний аналіз, цифрові зображення, сингулярний розклад

**Abstract.** This study introduces and evaluates a novel steganalysis method for detecting hidden information in digital images without requiring access to the original image. The approach relies on statistical analysis of singular values from image matrix blocks and applies the Kolmogorov-Smirnov test. It demonstrates high accuracy, computational efficiency, and suitability for real-time applications and large-scale data processing in cybersecurity contexts.

**Keywords:** information security, steganography, steganography analysis, digital images, singular value decomposition

У цифрову епоху, де інформація є стратегічним ресурсом, зростає значення її захисту. Поряд із криптографією, важливу роль відіграє стеганографія, що активно використовується у військовій, дипломатичній та корпоративній сферах, але також залучається і в кіберзлочинності. Метою дослідження є підвищення ефективності виявлення прихованої інформації в цифровому контенті за відсутності

оригінального контейнера, шляхом розробки методу стеганоаналізу, заснованого на статистичному аналізі в просторі головних компонент. Розвиток методів стеганоаналізу неможливий без паралельного вивчення стеганографічних підходів. Незважаючи на потенціал нейромережових моделей, їх застосування обмежене низькою інтерпретованістю, залежністю від навчальних даних і високою обчислювальною складністю. Перспективним напрямом є створення гібридних моделей. Особливу увагу привертає простір головних компонент, як ефективний для вбудовування інформації [1].

Розглянуто метод стеганографічного вбудовування повідомлення на основі сингулярного розкладу (SVD), запропонованого у [2]. Метод демонструє високу місткість, стійкість до спотворень і JPEG-стиснення до 40%. Повідомлення кодується в бінарну послідовність. Для кожного блоку матриці зображення виконується SVD, після чого найбільше сингулярне число квантується зі зміною парності відповідно до біта, що вбудовується. Метод виявлення передбачає аналогічне блокове розбиття зображення, виконання SVD та визначення біта за парністю квантованого значення. Встановлено, що параметри квантування та розмір блоку впливають на стійкість і непомітність, а також можуть використовуватись як частина секретного ключа.

Досліджений метод базується на квантуванні найбільших сингулярних чисел блоків, що забезпечує передбачуваність, контрольованість та збереження візуальної якості зображення. Його математична формалізація дозволяє розробити стеганоаналітичний підхід для виявлення прихованих повідомлень навіть без доступу до оригінального зображення чи ключа.

Запропонований метод стеганоаналізу цифрових зображень ґрунтується на аналізі сингулярних чисел блоків матриці кольорового каналу. Метод передбачає вибір каналу, кроку квантування та розміру блоку, розбиття зображення на блоки, обчислення сингулярних чисел і побудови статистики квантованих значень, а також перевірку гіпотези Колмогорова-Смирнова. Якщо гіпотезу відхилено, фіксується ймовірна наявність прихованих даних. Перебір комбінацій параметрів (канал, крок, блок) дозволяє виявити стеганографічне вбудовування, а набір таких комбінацій може виступати стеганографічним ключем.

Ефективність методу стеганоаналізу оцінюється за здатністю точно класифікувати зображення щодо наявності прихованої інформації. Для цього використовуються метрики, що враховують ймовірності помилок

першого та другого роду. В експерименті створено збалансований набір зображень з різним рівнем вбудовування (5–100%). Запропонований метод забезпечив 100% точність при рівнях 50–100% і <1% хибно позитивних результатів. Чутливість знижувалась при 25% і особливо 5% заповнення, де не виявлення сягало 30%. Також продемонстровано, що оптимізований режим доступу до зображення на рівні байтів, дозволяє прискорити обробку у 4–5 разів, що важливо для систем реального часу та обробки великих обсягів даних.

### **Література**

1. Bobok, I. I., & Kobozeva, A. A. (2013). Development of the theoretical approach based on matrix theory for analyzing the state of information security systems. *Problems of the Regional Energetics*, 3(63), 29–43.
2. Gorodetski, V., Popyack, L., Samoilov, V., & Skormin, V. (2001). SVD-based approach to transparent embedding data into digital images. In *MMM-ACNS 01: Proceedings of the International Workshop on Information Assurance in Computer Networks* (pp. 263–274).

УДК 004.94

### **МЕТОДИКА ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ МАРШРУТІВ У ГІС НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНИХ ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ**

**М. Сібібєрт**<sup>1</sup>[0009-0008-8413-4546], **С. Смик**<sup>2</sup>[0000-0001-7020-1826]

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>3431748@stud.op.edu.ua, <sup>2</sup>smyk@op.edu.ua*

### **A METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING ADAPTIVE ROUTES IN GIS BASED ON DYNAMIC EXTERNAL FACTORS**

**M. Sibibert, S. Smyk**

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** На основі комплексної інтеграції геопросторових даних OpenStreetMap, метеорологічної інформації з OpenWeather API та зворотного зв'язку від користувачів розроблено методику побудови адаптивного маршруту в ГІС. Ключовим нововведенням є поняття динамічного «коефіцієнта безпеки», початкові значення якого визначаються на основі експертних оцінок за методом аналізу ієрархій, а подальше оновлення відбувається в реальному часі за допомогою адаптивного експоненціального згладжування. Запропоновано модифікацію класичного алгоритму Дейкстри,

*де вага ребер дорожнього графа є комплексною функцією, що враховує не лише відстань, але й обчислений коефіцієнт безпеки та поточний трафік. Показано, що такий підхід дозволяє створювати маршрути, які свідомо пріоритезують безпеку руху та комфорт водія над формальною мінімізацією часу чи відстані. Проаналізовано фундаментальні обмеження існуючих навігаційних систем та доведено переваги інтегрованого, динамічного підходу для підвищення адаптивності та надійності маршрутизації в умовах невизначеності.*

**Ключові слова:** адаптивний маршрут, ГІС, зовнішні чинники, коефіцієнт безпеки, алгоритм Дейкстри, OpenStreetMap, метод аналізу ієрархій.

**Abstract.** Based on the comprehensive integration of geospatial data from OpenStreetMap, meteorological information from the OpenWeather API, and user feedback, a methodology for constructing an adaptive route in GIS has been developed. A key innovation is the concept of a dynamic "safety coefficient," with initial values determined by expert judgments using the Analytic Hierarchy Process, and subsequently updated in real-time via adaptive exponential smoothing. A modification of the classic Dijkstra's algorithm is proposed, where the weight of the road graph edges is a composite function that considers not only distance but also the calculated safety coefficient and current traffic. It is shown that this approach enables the creation of routes that deliberately prioritize traffic safety and driver comfort over the formal minimization of time or distance. The fundamental limitations of existing navigation systems are analyzed, and the advantages of an integrated, dynamic approach for enhancing the adaptability and reliability of routing under conditions of uncertainty are demonstrated.

**Keywords:** adaptive route, GIS, external factors, safety factor, Dijkstra's algorithm, OpenStreetMap, hierarchy analysis method.

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) та навігаційні сервіси є невід'ємною частиною транспортної інфраструктури, проте їх функціональність здебільшого обмежена пошуком найкоротшого або найшвидшого шляху. Такий підхід ігнорує комплекс зовнішніх чинників, що безпосередньо впливають на безпеку та ефективність руху. Фактори, як погодні умови (інтенсивність дощу, сніг, температура), тип та якість дорожнього покриття (асфальт, бруківка, ґрунт), а також час доби, що визначає видимість, можуть кардинально змінювати дорожню обстановку. Нехтування цими даними призводить до того, що класичні алгоритми маршрутизації не відображають реальних ризиків [1].

Основною загрозою такого спрощеного підходу є те, що користувач може отримати маршрут, який є формально оптимальним за часом, але проходить через небезпечні ділянки, підвищуючи ризик ДТП. Наприклад, проїзд ґрунтовою дорогою після сильного дощу може бути небезпечним або навіть неможливим, що не враховується стандартними навігаторами. Хоча окремі дослідження аналізують вплив погоди на трафік, комплексної методики, що об'єднує різні фактори, досі не було запропоновано. У попередніх роботах нами було представлено загальну концепцію врахування погодних умов [2]. У цій роботі ми пропонуємо цілісну методику, що вирішує цю проблему.

Для визначення рівня безпеки окремих ділянок ми вводимо поняття динамічного «коефіцієнта безпеки» – інтегрального показника ризику. Його розрахунок базується на даних з відкритих джерел: дорожній граф будується на основі OpenStreetMap (OSM), що дозволяє враховувати такі важливі атрибути, як тип (tracktype) та якість (smoothness) покриття; метеорологічні дані (температура, опади) отримуються в реальному часі через OpenWeather API.

Для початкової, експертно обґрунтованої оцінки коефіцієнтів використовується метод аналізу ієрархій (MAI). Він дозволяє структурувати складну проблему та кількісно оцінити важливість кожного фактора. В подальшому, для забезпечення актуальності даних, ці коефіцієнти динамічно оновлюються на основі зворотного зв'язку від користувачів. Для цього застосовується метод адаптивного експоненціального згладжування, обраний через його обчислювальну ефективність та здатність швидко реагувати на нові дані без зберігання повної історії.

Для обчислення маршруту використовується алгоритм Дейкстри, однак його робота зазнала модифікації. Вага ребра графа розглядається як інтегральний показник, що формується з урахуванням кількох параметрів: відстані, коефіцієнта безпеки та рівня трафіку. Таким чином, задача переходить від однокритеріальної оптимізації до багатокритеріальної, де алгоритм автоматично віддає перевагу безпечнішим і менш перевантаженим ділянкам, навіть якщо вони не є найкоротшими за відстанню.

Запропонована методика істотно підвищує гнучкість і безпеку процесу маршрутизації, що має особливе значення для служб екстреного реагування, логістичних компаній і повсякденних користувачів у складних дорожніх умовах. Вона відкриває можливості

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

для створення нового покоління навігаційних систем, здатних пропонувати не лише швидкі, але й надійні, безпечні та комфортні маршрути, адаптовані до реальної ситуації на дорогах [3].

**Література**

1. Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
2. Javaid, M. A. (2013, April 10). *Understanding Dijkstra's algorithm*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2340905>
3. Сібіберт, М. Д., & Смик, С. Ю. (2025). Розробка та дослідження методики побудови адаптивного маршруту в ГІС з урахуванням зовнішніх чинників під час руху. У *Матеріали П'ятнадцятої Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології – 2025»* (с. 307). Одеса: Наука і техніка. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15521809>

УДК 004

**ОПТИМІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ WIFI У КІБЕРСПОРТІ ТА  
СТРІМІНГУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ GPU ТА HASHCAT**

**Ph.D. N. Шибасєва**<sup>[0000-0002-7869-9953]<sup>1</sup></sup>, **А. Бондаренко**<sup>[0009-0000-2910-4290]<sup>2</sup></sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна,*

*EMAIL:<sup>1</sup>n.o.shybaieva@op.edu.ua, <sup>2</sup>annatotus@gmail.com*

**OPTIMIZING WIFI SECURITY IN CYBERSPORT AND  
STREAMING USING GPU AND HASHCAT**

**Ph.D. N. Shybaieva, A. Bondarenko**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У роботі представлено результати дослідження концепції оптимізації безпеки Wi-Fi у сфері кіберспорту та стрімінгу на основі застосування GPU-прискорених обчислень та інструмента Hashcat.

**Ключові слова:** Wi-Fi безпека, GPU обчислення, Hashcat, стрімінг

**Abstract.** The paper presents the results of the research on the concept of Wi-Fi security optimization in the field of eSports and streaming based on GPU-accelerated computations and the Hashcat tool.

**Keywords:** Wi-Fi security, GPU computing, Hashcat, streaming

У сучасних умовах цифрової трансформації проблема захисту бездротових мереж стає особливо актуальною у сферах кіберспорту та стрімінгових сервісів. Функціонування цих галузей залежить від стабільності інтернет-з'єднання, мінімізації затримок та забезпечення конфіденційності даних користувачів. Несанкціонований доступ до Wi-Fi мереж може призвести до зниження продуктивності, переривання з'єднання або до витоку інформації, що створює суттєві ризики для професійної діяльності кіберспортсменів та стрімерів.

Традиційні методи тестування надійності Wi-Fi обмежуються використанням процесорних ресурсів (CPU), що характеризуються невисокою продуктивністю при обробці великих обсягів криптографічних операцій [1]. У цьому контексті інноваційним підходом вважається застосування графічних процесорів (GPU) у поєднанні з інструментом Hashcat [2]. Завдяки архітектурі, оптимізованій під паралельні обчислення, GPU забезпечують суттєве прискорення операцій з підбору ключів та хеш-функцій, що дозволяє багаторазово підвищити ефективність аудиту безпеки.

Мета концепту полягає у використанні Hashcat не як засобу несанкціонованого доступу, а як діагностичного інструменту, здатного здійснювати емпіричну перевірку стійкості паролів. Це дозволяє сформувати нову парадигму безпеки, у межах якої інструменти, що традиційно застосовуються для атак, трансформуються у засоби оптимізації захисту. Запропонований підхід передбачає декілька ключових етапів, що формують єдину логічну послідовність оптимізації безпеки Wi-Fi. На першому етапі здійснюється аудит поточних параметрів мережі із застосуванням GPU-прискорених обчислень у Hashcat, що забезпечує швидке виявлення слабких конфігурацій [3].

Далі відбувається моделювання різних типів атак, зокрема словникових, маскових та гібридних. Наступним кроком є формування рекомендацій щодо оптимальної структури ключів, що враховують розвиток апаратного забезпечення та алгоритмів підбору. Завершальним елементом підходу виступає автоматизація перевірки у вигляді системи моніторингу, яка виконує регулярний аналіз надійності Wi-Fi та своєчасно повідомляє адміністратора про виявлені вразливості, забезпечуючи проактивний захист мережевої інфраструктури.

У контексті кіберспорту реалізація GPU-орієнтованого аудиту безпеки Wi-Fi дозволяє знизити ймовірність атак, що спричиняють затримки чи розриви з'єднання під час турнірів.

Важливою перевагою є можливість динамічної адаптації безпеки: паролі, що вважаються надійними сьогодні, можуть стати вразливими вже завтра, однак регулярне GPU-тестування дозволяє своєчасно виявляти ризики [4]. Запропонований концепт використання GPU та Hashcat у процесі оптимізації безпеки Wi-Fi формує інноваційну модель проактивного захисту.

Таким чином, дане поєднання GPU та Hashcat є доцільним інноваційним рішенням, яке дозволяє перейти від реактивної до проактивної моделі захисту Wi-Fi, забезпечуючи високу ефективність, швидкість і надійність бездротових комунікацій у високонавантажених цифрових середовищах.

### **Література**

1. Stallings, W. (2017). *Cryptography and network security: Principles and practice* (7th ed.). Pearson Education.
2. Hashcat Project. (2024). *Hashcat – advanced password recovery*. <https://hashcat.net/hashcat>
3. Li, J., Chen, Y., & Zhao, Y. (2019). GPU-accelerated password cracking: Implementation and performance analysis. *Journal of Information Security and Applications*, 46, 23. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2019.02.004>
4. Ruddick, C. (2017). *Practical Wi-Fi security testing with Kali Linux and Aircrack-ng*. Packt Publishing.

УДК 004.93.1:528.7

### **ВИКОРИСТАННЯ LORA ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ССАВЦІВ**

**Т. Колдунова**<sup>[0009-0003-7355-8718]</sup>, **В. Олійник**<sup>[0009-0000-5527-7750]</sup>,  
**С. Смик**<sup>[0000-0001-7020-1826]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>vadimol081@gmail.com, <sup>2</sup>smyk@op.edu.ua*

### **USING LORA FOR MONITORING OF MAMMALS**

**T. Koldunova, V. Oliinyk, S. Smyk**  
*Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Анотація.** Проведено огляд еволюції телеметрії ссавців від традиційних VHF-меток до сучасних GPS-систем та визначено ключові обмеження, пов'язані з високою вартістю обладнання. Розглянуто технологію LoRaWAN як новий підхід до моніторингу дикої природи, що поєднує низькі експлуатаційні витрати, енергоефективність та можливість масштабування досліджень. Проаналізовано архітектуру мережі, а також два підходи до позиціонування: GPS+LoRaWAN та геолокацію на основі радіосигналів. Здійснено порівняння з іншими системами відстеження та показано економічні переваги LoRaWAN. Окреслено ключові виклики впровадження, зокрема вплив рослинності на дальність зв'язку та потребу у мініатюризації пристроїв. Відзначено перспективи інтеграції додаткових сенсорів і використання методів Edge AI для автоматизованої класифікації поведінки тварин. Зроблено висновок, що LoRaWAN є не заміною, а стратегічним доповненням до існуючих технологій і найбільш перспективною для моніторингу середніх ссавців із масою тіла 2 кг – 25 кг..

**Ключові слова:** LoRaWAN, телеметрія, ссавці, GPS, моніторинг дикої природи, екологічні дослідження.

**Abstract.** A review of the evolution of mammal telemetry from traditional VHF tags to modern GPS systems has been conducted, with emphasis on the cost-related limitations of existing technologies. LoRaWAN is considered as a novel approach to wildlife monitoring that combines low operational costs, energy efficiency, and the possibility of scaling studies. The network architecture and two positioning strategies—GPS+LoRaWAN and radio signal-based geolocation—are analysed. A comparison with other tracking systems highlights the economic advantages of LoRaWAN. The main implementation challenges are outlined, including the impact of vegetation on communication range and the need for device miniaturization. The prospects for integrating additional sensors and applying Edge AI methods for automated behaviour classification are also discussed. It is concluded that LoRaWAN is not a replacement but a strategic complement to existing technologies and is particularly promising for monitoring medium-sized mammals with body mass ranging from 2 kg to 25 kg.

**Keywords:** LoRaWAN, telemetry, mammals, GPS, wildlife monitoring, ecological research.

Телеметрія ссавців пройшла значний еволюційний шлях від перших VHF-меток 1960-х років до сучасних GPS-супутникових систем. Це технологічне просування супроводжується парадоксом: розширення можливостей збору даних відбувається одночасно з експоненціальним зростанням вартості обладнання, що обмежує масштаби досліджень. Традиційні VHF-системи залишаються найбільш доступним рішенням,

оскільки коштують від 250 до 600 доларів [1], мають надзвичайно малу вагу (менше 1 г) та тривалий термін роботи.

Проте вони потребують значних людських ресурсів для ручного відстеження і забезпечують низьке просторово-часове розрізнення. GPS-супутникові системи (Argos, Iridium) встановили новий стандарт якості даних завдяки глобальному покриттю та високій точності визначення координат до 30 метрів. Водночас вартість таких пристроїв є дуже високою – від 2000 до 8000 доларів за один ошийник, а також понад 500 доларів щорічних платежів за передачу даних, що робить їх малодоступними для масштабних популяційних досліджень.

На цьому тлі LoRaWAN (Low-Power Wide-Area Network) постає як принципово новий підхід до телеметрії дикої природи, здатний зняти обмеження класичної дилеми «вартість проти якості». Технологія поєднує енергоефективний далекодіючий радіозв'язок із відкритими стандартами та мінімальними операційними витратами. Її головна мета полягає у створенні доступного інструменту для моніторингу, який дозволяє охопити велику кількість тварин без надмірних витрат.

Технічна архітектура LoRaWAN складається з фізичного рівня LoRa, який базується на модуляції Chirp Spread Spectrum і забезпечує високу стійкість сигналу до перешкод та значну дальність зв'язку при низькому енергоспоживанні.

Мережевий рівень LoRaWAN реалізує топологію «зірка із зірок», де кінцеві пристрої, тобто ошийники, взаємодіють через шлюзи, підключені до мережевого серверу. Важливою особливістю є те, що дослідники повинні самостійно розгортати мережу шлюзів у зоні дослідження. Існують два основних підходи до позиціонування.

Перший – гібридна модель GPS+LoRaWAN, де координати, визначені модулем GPS, передаються через LoRaWAN-канал. Це забезпечує високу точність (менше 30 метрів) при значно нижчих експлуатаційних витратах у порівнянні з супутниковими системами.

Другий – геолокація без GPS, яка використовує методи Time Difference of Arrival або Received Signal Strength Indicator. Такий підхід дозволяє максимально знизити енергоспоживання, однак точність становить від 50 до 500 і більше метрів, що є обмеженням для екологічних задач, де потрібні більш точні дані.

Порівняння різних технологій відстеження показує, що VHF залишається найдешевшим і найлегшим рішенням, GPS-супутникові

системи гарантують найвищу точність, але є надзвичайно дорогими, GPS зі стільниковими каналами працює лише у зонах покриття мобільного зв'язку, а LoRaWAN дозволяє поєднати точність GPS із мінімальними операційними витратами після встановлення інфраструктури шлюзів [2]. Ключова перевага LoRaWAN полягає у зміні економічної моделі: витрати не ростуть лінійно із кількістю тварин, як у супутникових системах. Натомість існують високі початкові інвестиції в інфраструктуру, але подальші витрати на кожну додаткову тварину є мінімальними. У практичному застосуванні LoRaWAN стикається з низкою обмежень. Найбільший виклик – це вплив рослинності на дальність зв'язку. Дослідження у лісових умовах показали, що у густих лісах сигнал стабільно передається лише на 860 метрів, а в розріджених – до 2050 метрів, що потребує розгортання цільнішої мережі шлюзів. Іншим важливим чинником є мініатюризація пристроїв: вага ошийника не повинна перевищувати 3–5% маси тіла тварини, тому для середніх ссавців необхідні пристрої вагою 20–50 г [3]. Сучасні комерційні LoRa-трекери здебільшого розроблені для великої рогатої худоби і є занадто важкими, однак ініціативи з відкритим кодом, такі як OpenCollar, пропонують дешеві й кастомізовані рішення. Пілотні дослідження на сірих білках із використанням трекерів вартістю 63–80 доларів довели практичну реалізованість цієї технології [4]. Стратегічне впровадження LoRaWAN вимагає врахування низки факторів. Вибір технології залежить від маси тіла виду, цілей дослідження, наявності інфраструктури та бюджету. Для дрібних ссавців підходять VHF-метки, для більших – GPS або LoRaWAN. Якщо потрібна висока точність, обирають GPS, якщо ж важливе автоматизоване спостереження на великій вибірці з обмеженим бюджетом – LoRaWAN.

У майбутньому очікується інтеграція додаткових сенсорів (акселерометрів, датчиків температури) та застосування технологій TinyML та Edge AI, що дозволить перетворити ошийники на інтелектуальні системи класифікації поведінки й детекції подій у реальному часі. У висновках варто зазначити, що LoRaWAN не є універсальною заміною традиційних систем телеметрії, а радше стратегічним доповненням до інструментарію еколога. Його головна цінність полягає в економічній масштабованості та гнучкості. Успішне впровадження потребує ретельного планування мережі шлюзів із

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

врахуванням топографії та густоти рослинності. При цьому LoRaWAN здатен трансформувати методи екологічних досліджень, зробивши можливим популяційний моніторинг дикої природи при значно нижчих витратах. Технологія особливо перспективна для середніх за розміром ссавців (20 г – 2.5 кг), де GPS-системи занадто важкі або дорогі, а VHF не забезпечує достатньої автоматизації.

**Література**

1. Spadaccino, P., Crinó, F. G., & Cuomo, F. (2022). LoRaWAN behaviour analysis through dataset traffic investigation. *Sensors*, 22(7), 2470. <https://doi.org/10.3390/s22072470>
2. Casas, R., Hermosa, A., Marco, Á., Blanco, T., & Zarazaga-Soria, F. J. (2021). Real-time extensive livestock monitoring using LPWAN smart wearable and infrastructure. *Applied Sciences*, 11(3), 1240. <https://doi.org/10.3390/app11031240>
3. Liu, D., Chen, L., Wang, Y., Lu, J., & Huang, S. (2018). How much can we trust GPS wildlife tracking? An assessment in semi-free-ranging crested ibis *Nipponia nippon*. *PeerJ*, 6, e5320. <https://doi.org/10.7717/peerj.5320>
4. Hebblewhite, M., & Haydon, D. T. (2010). Distinguishing technology from biology: A critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550), 2303–2312. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0087>

UDC 004.056

**ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА  
ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ  
УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ ДИПЛОМІВ**

**М. Жмуцький**<sup>[0009-0005-8440-8365]</sup>, **Dr.Sci. А. Олійник**<sup>[0000-0002-6740-6078]</sup>,  
**Dr.Sci. С. Субботін**<sup>[0000-0001-5814-8268]</sup>, **Ph.D. Т. Заїко**<sup>[0000-0003-1800-8388]</sup>

*Національний університет "Запорізька політехніка", Україна  
EMAIL: maksym.zhmutsnyi@gmail.com*

**DECENTRALIZED IDENTITY SYSTEMS BASED ON  
BLOCKCHAIN FOR UNIVERSITY CREDENTIALS  
VERIFICATION**

**M. Zhmutskyi, Dr.Sci. A. Oliinyk, Dr.Sci. S. Subbotin, Ph.D. T. Zaiko**  
*National University "Zaporizhzhya Polytechnic", Ukraine*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Анотація.** Запропоновано децентралізовану систему перевірки університетських акредитивів на основі блокчейну з використанням доказів з нульовим розголошенням для забезпечення конфіденційності. Система дозволяє студентам контролювати свої академічні дані за допомогою самоідентифікованих фреймворків ідентифікації.

**Ключові слова:** децентралізована ідентичність, верифікація блокчейн, self-sovereign identity, перевіряємі облікові дані, zero-knowledge proofs.

**Abstract.** A decentralized university credential verification system based on blockchain using zero-knowledge proofs to ensure privacy is proposed. The system enables students to control their academic data through self-sovereign identity frameworks.

**Keywords:** decentralized identity, blockchain verification, self-sovereign identity, verifiable credentials, zero-knowledge proofs.

Academic credential verification systems face multiple challenges including data breaches and certificate forgery as well as operational inefficiencies and restricted interoperability. The traditional framework operates through centralized storage systems which generate security vulnerabilities because of system failures and cyber attacks and institutional dependencies leading to extended delays. Fake degrees and diploma mills diminish authentic academic accomplishments [1, 2, 3].

This research examines blockchain-based decentralized identity systems for university credential verification. The system protects privacy through minimal on-chain cryptographic proofs and decentralized identifiers (DIDs) and zero-knowledge proofs (ZKPs) while maintaining data control. Students and universities maintain independence from central authorities through DID representation.

Universities establish Verifiable Credentials (VCs) after verifying graduation through digital signature authentication. The signature  $S$  is calculated as:

$$S = \text{Sign\_PrivKey\_Issuer}(H(c)) \quad (1)$$

where credential content hash  $H(c)$  uses SHA-256:

$$H(c) = \text{SHA-256}(c) \quad (2)$$

The blockchain system stores only the hash value  $H(c)$  to prevent privacy and scalability problems. The actual credentials are stored in off-chain IPFS repositories which users control through decentralized wallets.

Zero-Knowledge Proofs allow users to reveal specific information while keeping their personal data protected. zk-SNARKs generate proof  $\pi$  which satisfies:

$$\text{Verify}(vk, \pi, x) = 1 \quad (3)$$

where  $vk$  is verification key,  $\pi$  is proof,  $x$  is publicly revealed statement maintaining GDPR compliance. The DAO governance system enables voting to manage issuer accreditation. University acceptance requires:

$$\sum v_j \geq T \quad (4)$$

where  $v_j \in \{0,1\}$  indicates votes,  $T$  is approval threshold. Credential revocation uses blockchain registry  $R$  mapping credential hashes:

$$R(H(c)) = \{1, \text{if revoked}; 0, \text{if valid}\} \quad (5)$$

The deployment of 500 digital diplomas through the prototype resulted in a mean verification time of  $2.87 \pm 0.24$  seconds which outperformed traditional verification methods that take hours or days. The system achieved 100% forgery detection accuracy while maintaining linear scalability during 200 concurrent verification operations. Hash binding achieved 100% success in detecting modified credentials. The survey involving 250 students and 40 employers produced an average SUS score of 86.4 which indicates excellent usability [4, 5].

The decentralized identity system provides better performance through enhanced efficiency and security and user experience while preserving privacy through zero-knowledge proofs and enabling worldwide interoperability.

### **References**

1. Al Hemairy, M., Abu Talib, M., & Khalil, A. (2024). Blockchain-based framework and platform for validation, authentication & equivalency of academic certification. *Education and Information Technologies*, 29, 18203–18232.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

2. Skondric, G., Hamulic, I., & Mudnic, E. (2024). DIAR: A blockchain-based system for generation and verification of academic diplomas. *Discover Applied Sciences*, 4(1), 1–20.

3. Patel, S. K., Chandran, S., & Kumar, P. (2024). Secure digital academic certificate verification system using blockchain. *International Journal of Information and Computer Security*, 24(3), 236–257.

4. Kumar, M. N., & Dinesh, A. V. (2024). Digital credentials and blockchain: The future of academic certification. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17(2), 320–331.

5. Moncayo, D., & Hassan, S. (2024). Usability considerations in blockchain-based identity systems. *IEEE Access*, 12, 105230–105244.

УДК 004.056

**МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ ІГРОВОГО ПРОЦЕСУ У VR-  
ДОДАТКАХ**

**А. Гончарук<sup>1</sup>, Ph.D. О. Мартинюк<sup>2</sup>[0000-0003-1461-2000]**

*Національний університет «Одеська Політехніка», Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>goncarukanastasia4@gmail.com, <sup>2</sup>alenikmar52@gmail.com*

**MECHANISMS OF ADAPTATION OF THE GAME PROCESS IN  
VR APPLICATIONS**

**A. Honcharuk, Ph.D. O. Martyniuk**

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У роботі досліджено підходи до адаптації ігрового процесу у VR-додатках. Визначено ключові проблеми, що виникають у користувачів під час взаємодії з віртуальними середовищами: різний рівень досвіду, чутливість до руху, технічні обмеження пристроїв. Проаналізовано сучасні рішення для налаштування комфорту та складності у VR-іграх. Запропоновано концепцію модульної адаптації, що передбачає можливість регулювання режимів пересування, рівнів складності та форм взаємодії з об'єктами. Впровадження таких механізмів підвищує доступність VR-додатків для ширшої аудиторії.

**Ключові слова:** VR, гейміфікація, адаптація, ігровий процес, віртуальна реальність..

**Abstract.** The paper explores approaches to gameplay adaptation in VR applications. Key challenges faced by users in virtual environments are identified: varying levels of experience, motion sensitivity, and hardware limitations. Current solutions for adjusting comfort and difficulty in VR games are analyzed. A concept of modular adaptation is proposed, providing options to adjust movement modes,

*difficulty levels, and interaction styles. It is shown that such mechanisms improve accessibility of VR applications for a wider audience.*

**Keywords:** VR, gamification, adaptation, gameplay, virtual reality.

Сфера віртуальної реальності стрімко розвивається і перетворюється з вузькоспрямованої технології у масовий сегмент ігрової індустрії [1]. Зростання популярності VR пов'язане з удосконаленням гарнітур, появою нових платформ та інтересом користувачів до інтерактивних і занурювальних середовищ. Водночас однією з ключових проблем залишається універсальність користувацького досвіду. Гравці мають різний рівень підготовки, відрізняються чутливістю до руху [2], а також використовують обладнання з неоднаковими технічними характеристиками. Це призводить до обмеження доступності VR-додатків і створює потребу у механізмах адаптації, що забезпечують індивідуалізацію ігрового процесу [5]. Метою дослідження є аналіз існуючих механізмів адаптації у VR-додатках та обґрунтування концепції модульного налаштування геймплею, орієнтованого на забезпечення комфорту та доступності для користувачів з різними технічними і фізіологічними особливостями [3]. На сьогодні VR-ігри реалізують адаптаційні можливості переважно через налаштування пересування, складності ігрових завдань та інтерфейсу. Популярна гра Beat Saber демонструє приклад регулювання складності завдяки змінам темпу та кількості об'єктів [3], що з'являються у полі зору гравця. У Half-Life: Alyx реалізовані різні варіанти пересування – телепортація та плавний рух, що дозволяє користувачам обирати найбільш комфортний режим і знижує ризик захитування [2]. У багатокористувацьких середовищах, таких як Rec Room або VRChat, спостерігається спроба забезпечити кросплатформенність і різні моделі взаємодії [4], проте вони часто супроводжуються зниженням якості трекінгу чи нестабільністю синхронізації.

Аналіз наведених прикладів свідчить про те, що більшість VR-проектів застосовують адаптацію у фрагментарній формі, без створення єдиної системи гнучких налаштувань [1]. Крім цього, важливим аспектом є оптимізація графіки. Високий рівень візуальної деталізації у VR може створювати надмірне навантаження на обладнання, що призводить до падіння частоти кадрів і появи втоми користувача [6].

Деякі розробники вирішують цю проблему шляхом зниження складності деталізації моделей або використання спеціальних фільтрів постобробки зображення. Однак подібні рішення не завжди враховують індивідуальні потреби гравця і не дозволяють налаштовувати глибину персоналізації відповідно до його фізіологічних особливостей або характеристик пристрою [5]. У роботі пропонується концепція модульної адаптації ігрового процесу, яка об'єднує ключові механізми у єдину систему параметрів [3]. Вона передбачає можливість налаштування пересування (вибір між телепортацією та плавним рухом із додатковими фільтрами), визначення рівня складності (регулювання темпу, кількості противників, інтенсивності ігрових ситуацій), а також вибір варіантів управління і конфігурації інтерфейсу. Таким чином користувач має змогу самостійно формувати власний комфортний досвід, що знижує бар'єри входу у VR і робить технологію доступною для ширшої аудиторії [1, 6].

Запропонований підхід орієнтується на комплексність і взаємодоповнюваність налаштувань. Якщо в існуючих VR-додатках користувачеві пропонується обмежений вибір параметрів, то у модульній системі можливе створення індивідуального профілю [5], який зберігатиме комбінацію обраних налаштувань. Це забезпечує сталість досвіду під час повторних сеансів та дозволяє швидко адаптувати гру до різних умов використання - від потужних персональних комп'ютерів до автономних гарнітур.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сучасні VR-ігри пропонують окремі адаптаційні механізми, проте відсутня інтегрована система, здатна забезпечити гнучке і комплексне налаштування ігрового процесу [3].

Запропонована концепція модульної адаптації дозволяє врахувати індивідуальні відмінності користувачів і забезпечує більш комфортну взаємодію з віртуальним середовищем [1]. Реалізація подібної моделі сприятиме зниженню бар'єрів входу у VR, розширенню кола користувачів і підвищенню якості занурення [2]. Подальші дослідження передбачають розробку прототипу VR-додатку з модульними параметрами адаптації, його тестування на різних платформах та оцінювання впливу запропонованої концепції на якість і стабільність ігрового досвіду [6].

**Література**

1. Yarossi, M. (2021). Virtual reality as a context for adaptation. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 733076. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.733076>
2. Anglin, J. M., Sugiyama, R., Liew, J., van den Berg, R. J., & Barry, D. N. (2017). Visuomotor adaptation in head-mounted virtual reality. *Scientific Reports*, 7, 45469. <https://doi.org/10.1038/srep45469>
3. Lima, E. S., de Souto, M. C. P., & Santos, L. L. (2022). Adaptive virtual reality horror games based on machine learning and agent-based simulation. *Entertainment Computing*, 43, 100510. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2022.100510>
4. Tsai, H.-Y., Tsai, M.-H., Chiang, T.-H., & Chang, C.-C. (2022). Comparative evaluation of different following mechanisms in VR guided tour: A preliminary study. *Applied Sciences*, 12(19), 9630. <https://doi.org/10.3390/app12199630>
5. Udeozor, C., Chan, P., Russo, A., & Glassey, J. (2023). Game-based assessment framework for virtual reality, augmented reality and digital game-based learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 36. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00405-6>
6. Rossi, C., Varghese, R., & Bastian, A. J. (2025). MovementVR: An open-source tool for the study of motor control and learning in virtual reality. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.21696>

УДК 004.76

**ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОЇ КОМУНІКАЦІЇ В  
РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ АРХІТЕКТУРИ  
DISPATCHER-DEPLOYER-EXECUTOR**

**С. Сурков**<sup>1[0000-0001-9224-7526]</sup>, **Ph.D. О. Мартинюк**<sup>2[0000-0003-1461-2000]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>sergei.srkov@gmail.com, <sup>2</sup>anmartynyuk@ukr.net*

**OPTIMIZATION OF NETWORK COMMUNICATION IN  
DISTRIBUTED SYSTEMS BASED ON THE DISPATCHER-  
DEPLOYER-EXECUTOR ARCHITECTURE**

**S. Surkov , Ph.D. O. Martynyuk**

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

***Анотація.** Розподілені системи є основою сучасної інфраструктури, де швидкість і безпека обміну даними критичні. Традиційні протоколи, як*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*HTTP/1, обмежені head-of-line blocking, що викликає затримки. HTTP/2 покращує це мультиплексуванням, але потребує удосконалень для серверних запитів і безпеки без зайвих витрат. Робота фокусується на оптимізації комунікації та захисту в архітектурі DDE для систем з хмарними виконавцями. Інтегровано TLS для захищених з'єднань, впроваджено зворотній проксі на Deployer для мультиплексування HTTP/2, застосовано SSL-піннінг та випадкові сертифікати на Dispatcher, а також динамічну реєстрацію клієнтів з двофакторною аутентифікацією. Порційна аутентифікація доповнює TLS для ефективності в локальних мережах. Результати застосовні в хмарних технологіях та IoT, з перспективами для HTTP/3.*

***Ключові слова:** розподілені системи, мультиплексування, TLS 1.3, reverse proxy, mutual TLS, двофакторна аутентифікація, оптимізація комунікації.*

**Abstract.** Distributed systems form the backbone of modern infrastructure, where the speed and security of data exchange are critical. Traditional protocols, such as HTTP/1, are limited by head-of-line blocking, causing delays. HTTP/2 improves this through multiplexing but requires enhancements for server requests and security without excessive overhead. This work focuses on optimizing communication and enhancing security in the Dispatcher-Deployer-Executor (DDE) architecture for systems with cloud executors. TLS has been integrated for secure connections, a reverse proxy on the Deployer enables HTTP/2 multiplexing, SSL pinning and randomized certificates are implemented on the Dispatcher, and dynamic client registration with two-factor authentication is applied. Chunking authentication complements TLS for efficiency in local networks. The results are applicable to cloud technologies and IoT, with prospects for HTTP/3 adoption.

**Keywords:** distributed systems, multiplexing, TLS 1.3, reverse proxy, mutual TLS, two-factor authentication, communication optimization.

Розподілені системи є основою сучасної інформаційної інфраструктури, де швидкість обміну даними та їхня безпека відіграють критичну роль [1]. Традиційні протоколи, такі як HTTP/1, попри свою простоту та широке поширення, мають суттєві обмеження, що знижують ефективність у сучасних умовах. Ключовим недоліком є head-of-line blocking, коли запити обробляються послідовно, спричиняючи затримки та неефективне використання ресурсів. Протокол HTTP/2 частково розв'язує цю проблему завдяки мультиплексуванню, дозволяючи передавати кілька потоків одночасно в одному з'єднанні. Водночас, він потребує подальших удосконалень, зокрема для серверно-ініційованих запитів та посилення безпеки без зростання обчислювальних витрат. У сучасних розподілених системах

пріоритетами є мінімізація затримок, забезпечення надійного захисту та гнучкість комунікації [2].

Традиційні протоколи не забезпечують достатньої асинхронності та гнучкого захисту, що призводить до затримок і вразливостей у недовірених мережах. Ціль роботи — оптимізація мережевої комунікації та підвищення рівня безпеки в архітектурі Dispatcher-Deployer-Executor (DDE) для розподілених систем, особливо тих, що інтегрують хмарні виконавці. Для досягнення цієї мети реалізовано такі завдання: інтеграцію TLS [3] для захищених з'єднань; реверсивний проксі на розгортувачі для комунікації з виконавцем; впровадження SSL-піннінгу та рандомних сертифікатів на диспетчері; механізм додавання нових клієнтів.

У DDE диспетчер координує запити, розгортувач (Deployer) розгортає виконавців (Executor) - компонентів, які виконують основну роботу. У цій роботі додано, що Deployer діє як reverse проху для виконавця з метою оптимізації кількості з'єднань у незахищеному каналі, мультиплексує HTTP/2-з'єднання [4] для ефективнішого використання ресурсів і зменшення overhead. Розгортувач готує операції, структуруючи їх і визначаючи порядок, а виконавець обробляє задачі.

Для забезпечення безпеки в недовірених каналах застосовують TLS для шифрування й аутентифікації, а також SSH для віддаленого доступу. TLS, як стандарт IETF, використовується в HTTPS, email та VPN, гарантуючи конфіденційність, цілісність та аутентифікацію. Версія TLS 1.3 скорочує handshake до 1 RTT (зменшення затримки на 50%), з підтримкою 0-RTT, forward secrecy та стійкістю до атак. Апаратна підтримка на MCU (наприклад, ESP32) знижує навантаження на CPU до 90%, що ідеально для IoT у наукових мережах. SSH, своєю чергою, шифрує сесії, запобігаючи перехопленню даних [5].

На диспетчері впроваджено SSL-піннінг та генерацію рандомних клієнтських сертифікатів для mutual TLS, що ускладнює потенційні атаки. SSL-піннінг фіксує відомий сертифікат сервера, уникаючи підміни — це критично для хмар з фіксованими адресами.

У незахищеному середовищі забезпечується динамічна реєстрація нових виконавців (наприклад, на AWS чи Google Cloud) з двофакторною аутентифікацією: диспетчер генерує pairing code; виконавець надає публічний ключ через захищений канал; після введення коду диспетчер верифікує та видає тимчасовий сертифікат,

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

підписаний СА, для mutual TLS; це запобігає імітації вузлів. Сертифікат діє обмежений час (1 місяць) з автоматичним продовженням: клієнт запитує новий, використовуючи попередню аутентифікацію, забезпечуючи безперервну безпеку.

Порційна аутентифікація доповнює TLS: вона забезпечує швидку перевірку в локальних мережах, тоді як TLS додає конфіденційність; серед недоліків - порційна не захищає від прослуховування (вирішено TLS), а TLS має overhead (зменшено порційністю). Порційна аутентифікація перевіряє дані частинами, економлячи ресурси.

Запропонована модифікація органічно поєднує швидкість і безпеку для розподілених систем, що забезпечує широкі перспективи застосування в хмарних технологіях та IoT, сприяючи створенню більш ефективних і захищених мереж.

Використання TLS у сучасних системах не дає великих накладних витрат завдяки його апаратній реалізації на більшості обладнання. Подальші дослідження можуть зосередитися на адаптації цих підходів для HTTP/3, розширюючи горизонти інновацій у розподілених системах

### **Література**

1. Xiang, H., et al. (2024). Optimizing the parallelism of communication and computation in distributed training platform. In *Springer* (pp. 340–359). Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-0834-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-97-0834-5_20)
2. Surkov, S. (2025). Optimization of network communication and security enhancement through “Reverse” REST API and HTTP/2 modification in the Dispatcher-Deployer-Executor architecture [In Ukrainian]. In *Proceedings of the 15th International Scientific Conference “Modern Information Technology.”*
3. Rescorla, E. (2000). HTTP over TLS (IETF RFC 2818, Informational). Internet Engineering Task Force. <http://tools.ietf.org/html/rfc2818>
4. Belshe, M., & Peon, R. (2015). Hypertext transfer protocol version 2 (HTTP/2) (IETF RFC 7540). Internet Engineering Task Force. <https://tools.ietf.org/html/rfc7540>
5. Dumych, S., Krasko, O., Andrushchak, V. B., Pyrih, M., Hnatchuk, Y., & Maksymyuk, T. (2024). End-to-end data flows management in the decentralized 5G/6G mobile networks. *International Journal of Computing*, 23(2), 155–164. <https://doi.org/10.47839/ijc.23.2.3533>

---

---

**SECTION 2. INTELLIGENT SYSTEMS AND DATA ANALYSIS**

UDC 004.932

**IMAGE SEGMENTATION BASED ON COMPLEX BASIS OF TYPE-2 MEMBERSHIP FUNCTIONS SUBSPACE USAGE**

**Dr.Sci. L. Akhmetshina**<sup>1(0000-0002-5802-0907)</sup>, **Ph.D. A. Yegorov**<sup>2(0000-0002-7558-785X)</sup>,  
**A. Fomin**<sup>3(0009-0006-0684-0811)</sup>

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine  
EMAIL: <sup>1</sup>akhmlu1@gmail.com, <sup>2</sup>for\_\_students@ukr.net,  
<sup>3</sup>fominartempost@gmail.com

**СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ  
ПІДПРОСТОРУ КОМПЛЕКСНОГО БАЗИСУ ФУНКЦІЙ  
НАЛЕЖНОСТІ ТИПУ-2**

**Dr.Sci. Л. Ахметшина, Ph.D. А. Єгоров, А. Фомін**

*Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Україна*

**Abstract.** A new method for grayscale image segmentation based on the type-2 fuzzy clustering method (T2FCM) is presented. This method enhances segmentation sensitivity, reliability, and noise immunity. The proposed algorithm is based on the orthogonalization of fuzzy membership functions using singular value decomposition, the formation of a complex space of orthogonal eigenvalues, and the synthesis of a composite resulting image based on these components. Experimental results are provided for medical image.

**Keywords.** Image Segmentation, Type-2 Fuzzy Clustering, complex singular subspaces.

**Анотація.** Представлено новий метод сегментації напівтонових зображень з використанням нечіткої кластеризації типу-2 (T2FCM), який дозволяє підвищити її чутливість, надійність та завадостійкість. Запропонований алгоритм базується на ортогоналізації нечітких функцій належності з використанням розкладання за сингулярними значеннями, формуванні комплексного простору ортогональних власних значень та синтезі композитного результуючого зображення на основі цих компонентів. Наведено експериментальні результати для медичного зображення.

**Ключові слова.** сегментація зображень, нечітка кластеризація типу-2, комплексні сингулярні підпростори.

Digital images, which are the output of various research methods in different fields, often suffer from insufficient quality for reliable analysis. To make these images more suitable for specific applications, improve their

interpretability by humans and so on, appropriate transformations are required [1]. Type-1 fuzzy sets (FST1) have been successfully applied in various image processing applications. But FST1 represents uncertainty in the input data as a single crisp value, which restricts its ability to describe other types of uncertainty and ambiguity. To address these limitations, type-2 fuzzy sets (FST2) have been introduced.

This paper presents a new grayscale image segmentation method based on type-2 fuzzy clustering (T2FCM). The proposed method enhances segmentation sensitivity, reliability, and noise immunity by orthogonalizing fuzzy membership functions using singular value decomposition, constructing a complex space of orthogonal eigenvalues, and synthesizing a composite resulting image based on these components.

The proposed algorithm includes the following steps:

1. Making window transformation (window size 3x3) brightness values of the original greyscale image and forming a 9-dimensional ensemble including the brightness of neighbouring pixels.

2. Performing an orthogonal transformation (SVD) of the expanded original data with subsequent automatic selection of the most significant components ( $I^{svd}$ ) [2] and scaling to the range [0, 1].

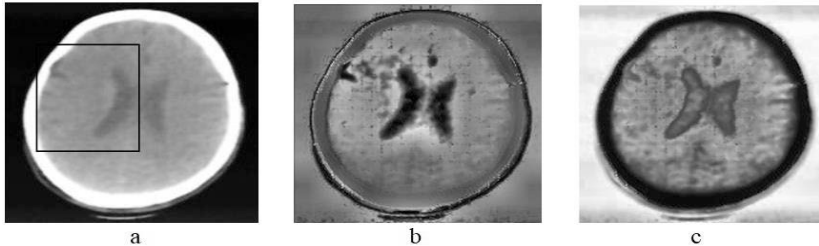
3. Forming matrix  $I^c$  using each pair of  $I^{svd}$  components and complex values and scaling all its components to the range [0, 1], followed by SVD and selecting the most significant components.

4. Merging matrices  $I^{svd}$  and the most significant components of  $I^c$  into  $I^{svd-c}$  and performing its fuzzy clustering by T2FCM method [3] with dynamic compression of the fuzzy membership function. Obtaining matrix  $I^{T2}$  based on  $I^{svd-c}$  and type-2 fuzzy membership function of last step.

5. Applying SVD to  $I^{T2}$ , selecting the most significant components, as described in step 2 and generating output images:  $I^{out}$  and  $I^{out-c}$  based on grayscale image  $I^s$  (formed as a weighted sum of selected significant components).  $I^{out}$  is obtained by applying the adaptive histogram equalization to  $I^s$ ,  $I^{out-c}$  based on  $I^s$  and the first component of  $I^{svd}$  with following adaptive histogram equalization.

This work discusses the application of proposed algorithm for segmentation of various physical nature images. Figure 1b, 1c shows the results of segmentation of computed tomography (CT) scan of the human

brain (Figure 1 a) by the proposed algorithm, where location of the hematoma and its affected region is clearly identified.



**Figure 1.** Segmentation of a brain CT scan: (a) original image; (b)  $I^{out}$ ; (c)  $I^{out\_c}$ .

### References

1. Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9>
2. Akhmetshina, L. G., & Yegorov, A. A. (2019). Segmentaciya slabokonstrastnyh izobrazhenij v ortogonal'nom bazise funkcij prinadlezhnosti nechetkoj klasterizacii [Segmentation of low-contrast images in the orthogonal basis of membership functions of fuzzy clustering]. *Visnyk Kherson's'kogo Natsional'nogo Tekhnichnogo Universytetu*, 2(69, Part 2), 160–165.
3. Akhmetshina, L., & Yegorov, A. (2019). Low-contrast image segmentation by using of the type-2 fuzzy clustering based on the membership function statistical characteristics. In *Intellectual systems of decision making and problems of computational intelligence (ISDMCI): Proceedings of the XV International Scientific Conference* (pp. 689–700). Cham: Springer.

UDC 004.048

### КОНВЕРСР ОБРОБКИ ДЛІА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВИВЧЕННЯ АСТРОНОМІЧНИХ ДАНИХ

**Ю. Нетребін** <sup>1</sup> [0009-0001-8778-3241], **Dr.Sci. В. Саваневич** <sup>2</sup> [0000-0001-8840-8278],  
**Ph.D. С. Хламов** <sup>3</sup> [0000-0001-9434-1081], **Т. Трунова** <sup>4</sup> [0000-0003-2689-2679],

**Ю. Тесленко** <sup>5</sup> [0009-0009-8349-3683]

<sup>1,2,3,4,5</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

EMAIL: <sup>1</sup> yurii.netrebin@nure.ua, <sup>2</sup> vadym.savanevych1@nure.ua,

<sup>3</sup>sergii.khlamov@gmail.com, <sup>4</sup> tetiana.trunova@nure.ua, <sup>5</sup>yuliia.teslenko@nure.ua

## PROCESSING PIPELINE FOR ASTRONOMICAL DATA MINING

Yu. Netrobin, Dr.Sci. V. Savanevych, Ph.D. S. Khlamov, T. Trunova,  
Yu. Teslenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

**Анотація.** Штучний інтелект (ШІ) суттєво покращує обробку астрономічних даних, автоматизуючи виявлення аномалій та керування робочими процесами. У цьому дослідженні представлено гібридний модуль на основі ШІ та правил, інтегрований у програмне забезпечення Lemur проекту Collection Light Technology (CoLiTec), з покращеним моніторингом через систему журналювання PostgreSQL. У порівнянні з традиційними методами, він забезпечив на 65% швидше прийняття рішень і на 50% швидше відновлення після збоїв, демонструючи зростання ефективності, точності та надійності для великомасштабних спостережень.

**Ключові слова:** прийняття рішень, аналіз даних, штучний інтелект, великі дані, обробка даних, конвеєр обробки.

**Abstract.** Artificial intelligence (AI)-based decision-making significantly enhances astronomical data processing by automating anomaly detection and workflow management. This study introduces a hybrid AI and rule-based module integrated into the Lemur software of the Collection Light Technology (CoLiTec) project, improving monitoring via a PostgreSQL logging system. Compared to traditional methods, it achieved a 65% speed increase and 50% faster failure recovery, demonstrating improved efficiency, accuracy, and reliability for large-scale observational studies.

**Keywords:** decision making, data mining, artificial intelligence, big data, data processing, processing pipeline.

The increasing volume of astronomical big data from space and ground-based observatories [1] necessitates innovative automated data mining and decision-making techniques [2]. This led to unprecedented challenges in data mining, classification, and anomaly detection processes.

Traditional approaches rely on rule-based monitoring, which is often inefficient, inflexible, and prone to errors in large-scale operations. Such rule-based monitoring systems struggle with the growing complexity and volume of observational logs, making real-time decision-making and automated anomaly detection essential for maintaining data integrity and efficiency. Artificial intelligence (AI) has emerged as a robust alternative, offering the ability to detect anomalies, classify events, and optimize workflows with minimal human intervention.

This paper introduces an AI-based decision-making system designed to automate log analysis, processing state detection, and error classification within astronomical data pipelines. The system integrates with a PostgreSQL database, providing a flexible and scalable logging mechanism for the astronomical knowledge discovery in databases. The key objectives of research are to improve efficiency and accuracy in processing astronomical data logs, automate anomaly detection with fault tolerance in data pipelines and ensure real-time decision-making for processing state transitions.

The proposed framework is an advanced, AI-powered decision-making system for astronomical data mining [3], designed with a modular and scalable architecture to efficiently handle vast and continuously growing datasets of astronomical big data. By integrating intelligent automation, real-time data processing, and adaptive learning capabilities, it optimizes workflow efficiency, enhances anomaly detection, and ensures robust decision-making across diverse astronomical research applications [4].

The architecture of proposed framework consists of three main components: PostgreSQL database for structured log storage; decision-making module leveraging AI models to assess message logs and update process states; automated workflow control for handling failures, timeouts, and success conditions. The research demonstrated that integrating AI-driven decision-making with a structured logging system enhances the efficiency and reliability of different types of astronomical data processing, like knowledge discovery in databases, data mining, image recognition, machine vision [5], image filtration, object detection, etc. The hybrid rule-based + AI approach demonstrated a 65% improvement in decision-making speed and a 50% reduction in failure recovery time compared to traditional rule-based monitoring.

### **References**

1. Troianskyi, V., et al. (2024). Optical observations of the potentially hazardous asteroid (4660) Nereus at opposition 2021. *Icarus*, 420, Article 116146. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116146>
2. Faaique, M. (2023). Overview of big data analytics in modern astronomy. *International Journal of Mathematics, Statistics, and Computer Science*, 2, 96–113. <https://doi.org/10.59543/ijmscs.v2i.8561>
3. Savanevych, V., et al. (2023). Mathematical methods for an accurate navigation of the robotic telescopes. *Mathematics*, 11(10), Article 2246. <https://doi.org/10.3390/math11102246>

4. Troianskyi, V., et al. (2023). First reported observation of asteroids 2017 AB8, 2017 QX33, and 2017 RV12. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 53, 5–15. <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.2.5>

5. Khlamov, S., et al. (2024). Machine vision for astronomical images using the modern image processing algorithms implemented in the CoLiTec software. *Measurements and Instrumentation for Machine Vision*, 269–310. <https://doi.org/10.1201/9781003343783-12>

UDC 004.514

**ПРОБЛЕМИ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ МОДЕЛЕЙ  
МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОГНОЗІВ У  
РІЗНИХ ПРЕДМЕТНИХ ГАЛУЗЯХ**

**Dr. Sci. Л. Грызун** <sup>[0000-0002-5274-5624]</sup>

*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,  
Україна*

*EMAIL: Lgr2007@ukr.net*

**THE ISSUES OF COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE  
LEARNING MODELS FOR PREDICTIONS BUILDING IN  
VARIOUS SUBJECT DOMAINS**

**Dr.Sci. L.Gryzun**

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine*

**Анотація.** Робота присвячена актуальній темі порівняльного аналізу моделей машинного навчання для прогнозування процесів у різних предметних галузях. Визначено особливості побудови прогнозних моделей у вибраних галузях (охорона здоров'я, метеорологія, фінанси та продажі). Для проведення зазначеного порівняльного аналізу було розроблено веб-додаток для побудови та аналізу прогнозних моделей. Результати прогнозування з використанням традиційних та сучасних моделей у вибраних предметних областях оцінюються за критеріями точності, швидкості та складності.

**Ключові слова:** моделі машинного навчання, прогнозування, веб-додаток, порівняльний аналіз прогнозних моделей, практичні рекомендації.

**Abstract.** The work is devoted to the urgent topic of comparative analysis of the machine learning models for forecasting processes in different subject domains. The features of building predictive models in selected domains (healthcare, meteorology, finance, and sales) are determined. To perform the said comparative analysis, a web application was developed to build and analyze predictive models. The results of

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*forecasting using traditional and modern models in the selected subject domains are evaluated according to criteria of accuracy, speed and complexity.*

**Keywords:** *machine learning models, prediction, web application, comparative analysis of predictive models, practical recommendations.*

In terms of the urgency of the research, the author's review of scientific and practical studies testifies a significant interest of the experts in the issues of comparative analysis of machine learning models. However, most studies provide results of predictive models evaluation in a single specific field or for solving an exact prediction problem [1, 2]. At the same time, there is a need for comparative analysis of models from the standpoint of the specifics of predicting for different subject domains, as each of them has its own features and requirements for forecasting.

On the other hand, nowadays there are a lot of machine learning models with their own advantages and disadvantages. Their comparative analysis can help identify the most efficient models for specific tasks and data types, which facilitates raising the forecasts accuracy and the effectiveness of decision-making in various areas (healthcare, economics, meteorology, business planning, etc.) [1, 2, 3].

Therefore, the purpose of the work is to build and compare machine learning models for forecasting in selected subject domains to evaluate them and choose the most effective solutions for the specific tasks of each domain. To achieve the aim, there were undertaken the number of steps.

An analysis of theoretical and practical scientific studies [3, 4 and others] on the implementation of conventional and modern predictive models for various domains is done to reveal possible consequences of the use of different models, including potential risks. It was made a sort of generalization of the features of selected models (Holt-Winters, SARIMA, LSTM, Random Forest, XGBoost, Prophet, Gaussian process, polynomial regression). Then, based on the analysis of [1-4 and others], four main subject domains were identified with an increased demand for the building of efficient ML models for forecasting: healthcare, meteorology, finance and sales. The features of building predictive models in selected domains are determined.

To perform a comparative analysis of ML models for forecasting processes in selected areas, a web application in Python was developed. The client side was elaborated using the html/css/javascript technology stack, the ChartJS library for building graphs, and Ajax for dynamic data display. A

number of forecasting models are constructed and the results of forecasting using conventional and modern models in various subject areas are analyzed and evaluated according to certain criteria.

Summing up the comparative analysis of the built predictive models according to the criteria of accuracy and speed in different subject domains, we could conclude the following. Regarding the universality of use, the Random Forest and XGBoost models demonstrated stable results in all domains.

Random Forest works efficiently in a wide range of tasks, demonstrating a good balance between accuracy and speed. The XGBoost model has a high ability to adapt to different types of data, providing accurate results in all subject domains. The constructed models and forecast results were also analyzed by the level of complexity of their construction in terms of forecasting based on historical data. Based on the comparative analysis of machine learning predictive models, the practical recommendations have been formulated for the correct choice of a model for specific domain forecasting tasks.

### **References**

1. Molnar, C. (2020). *An introduction to machine learning interpretability*. In *Interpretable machine learning* (Chapter 1). Retrieved from <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>
2. Shakibfar, S., Nyberg, F., Li, H., Zhao, J., Nordeng, H., Sandve, G., Pavlovic, M., Hajiebrahimi, M., Andersen, M., & Sessa, M. (2023). Artificial intelligence-driven prediction of COVID-19-related hospitalization and death: A systematic review. *Frontiers in Public Health*, 11, 1183725. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1183725>
3. Bergmeir, C., Hyndman, R., & Koo, B. (2018). A note on the validity of cross-validation for evaluating autoregressive time series prediction. *Computational Statistics & Data Analysis*, 120, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2017.11.003>
4. Kontopoulou, V., Panagopoulos, A., Kakkos, I., & Matsopoulos, G. (2023). A review of ARIMA vs. machine learning approaches for time series forecasting in data driven networks. *Future Internet*, 15(8), 255. <https://doi.org/10.3390/fi15080255>

UDC 004.8

**ADAPTIVE PERSISTENCE-REGULARIZED AUTOENCODERS  
FOR UNSUPERVISED ANOMALY DETECTION**

**Ph.D. D. Symonov**<sup>1</sup>[0000-0002-6648-4736], **Dr.Sci. O. Palagin**<sup>2</sup>[0000-0003-3223-1391],  
**B. Zaika**<sup>3</sup>[0009-0001-9567-8361], **Y. Symonov**<sup>4</sup>[0009-0008-2581-2001]

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine

EMAIL: <sup>1</sup>denys.symonov@gmail.com, <sup>2</sup>palagin\_a@ukr.net,

<sup>3</sup>zaikabohdan5@gmail.com, <sup>4</sup>e.symonov@gmail.com

**АДАПТИВНІ АВТОЕНКОДЕРИ З ПЕРСИСТЕНТНИМ  
РЕГУЛЯРИЗАТОРОМ ДЛЯ НЕКОНТРОЛЬОВАНОЇ ДЕТЕКЦІЇ  
АНОМАЛІЙ**

**Ph.D. Д. Симонов**<sup>1</sup>[0000-0002-6648-4736], **Dr. Sci. О. Палагін**<sup>2</sup>[0000-0003-3223-1391],  
**Б. Заїка**<sup>3</sup>[0009-0001-9567-8361], **Є. Симонов**<sup>4</sup>[0009-0008-2581-2001]

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Україна

***Анотація.** У роботі представлено метод адаптивних автоенкодерів із персистентним регуляризатором для задач неконтрольованого виявлення аномалій. Запропоновано формалізацію топологічної невідповідності між вхідними, реконструйованими та латентними представленнями на основі стійкої векторизації персистентних діаграм. Адаптивний механізм налаштування ваг регуляризації забезпечує оптимальний компроміс між точністю реконструкції та збереженням глобальної топологічної структури. Експериментальні результати підтверджують ефективність підходу на складних даних.*

***Ключові слова:** автоенкодер, детекція аномалій, топологічний аналіз даних, регуляризація на основі персистенції*

***Abstract.** This paper presents a method of adaptive autoencoders with persistence-based regularization for unsupervised anomaly detection tasks. A formalization of topological discrepancy is proposed, comparing input, reconstructed, and latent representations using stable vectorizations of persistence diagrams. The adaptive regularization weighting mechanism ensures an optimal trade-off between reconstruction accuracy and preservation of global topological structure. Experimental results confirm the effectiveness of the approach on complex data.*

***Keywords:** autoencoder, anomaly detection, topological data analysis, persistence-based regularization*

Modern unsupervised anomaly detection methods predominantly rely on autoencoders (AE) and variational autoencoders (VAE), which provide adequate signal reconstruction yet often disregard complex topological data connectivity. Preserving the multiscale structure, as captured by persistence diagrams, is critical for detecting subtle but significant deviations. The proposed Adaptive Persistence-Regularized Autoencoder (APRA) approach integrates differentiable persistent homology directly into both the latent space and input representations. The adaptive topological regularizer automatically adjusts the weight of the persistence loss, enabling an optimized trade-off between reconstruction accuracy and global shape preservation. Experiments on medical imaging and time-series datasets demonstrate its superiority over classical AE/VAE models lacking a topological component [1].

Let  $x \in \mathbb{R}^d$  denote an input sample and let  $f_\theta: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^m$   $g_\theta: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^m$  define the encoder and decoder of an autoencoder parameterized by  $\theta$ . We compute, for each homology dimension  $k \in \{0, 1, \dots\}$ , the persistence diagram  $D_k(x)$  of a filtration on  $x$  (e.g., cubical complexes for images or Vietoris–Rips complexes for point clouds). Likewise, we obtain  $D_k(\hat{x})$  for the reconstruction  $\hat{x} = g_\theta(f_\theta(x))$ , and  $D_k^{(z)}$  for the latent codes  $\{z_i = f_\theta(x)\}$  within a mini-batch.

To quantify topological discrepancy, we embed each diagram via a stable vectorization  $\Phi$  (e.g., persistence landscapes) and define

$$\Delta_k^{(x)} = \|\Phi(D_k(x)) - \Phi(D_k(\hat{x}))\|_2^2, \quad (1)$$

$$\Delta_k^{(z)} = \|\Phi(D_k^{(z)}) - \Phi(D_k^{\text{ref}})\|_2^2, \quad (2)$$

where  $D_k^{\text{ref}}$  is a reference diagram computed over nominal data.

The complete loss is

$$\mathcal{L}(\theta, \lambda) = L_{\text{rec}}(x, \hat{x}) + \sum_k \left( \lambda_k^{(x)} \Delta_k^{(x)} + \lambda_k^{(z)} \Delta_k^{(z)} \right), \quad (3)$$

with reconstruction loss  $L_{\text{rec}} = \|x - \hat{x}\|^2$  and adaptive weights  $\lambda_k^{(\cdot)}$ .

We update  $\theta$  via gradient descent on  $\mathcal{L}$ . After each epoch, each  $\lambda_k$  is adjusted according to  $\lambda_k \leftarrow \begin{cases} \lambda_k(1 + \rho), \Delta_k > \delta_k, \\ \frac{\lambda_k}{(1 + \rho)}, \Delta_k \leq \delta_k \end{cases}$ , where  $\rho > 0$  controls adaptation speed and  $\delta_k$  is a tolerance threshold. This mechanism ensures a dynamic balance between reconstruction fidelity and preservation of global topological features.

APRA’s computational overhead is dominated by PH: Vietoris–Rips has worst-case  $O(n^3)$ , but Ripser-style sparsification achieves near  $O(n^3)$ . Batch approximation and GPU acceleration further reduce runtime. Diagram embeddings via persistence landscapes cost  $O(mT)$  and sliced-Wasserstein  $O(n \log n)$ , so  $m$  and  $T$  must fit GPU memory. The adaptation rate  $\rho$  is tuned by grid search in  $[0.005, 0.1]$  for stable updates, and per-dimension thresholds  $\delta_k$  are set at the 90–95th percentile of nominal  $\Delta_k$  on validation to control false alarms.

**Table 1.**

Performance metrics comparison

| Method   | AUROC | PR AUC | FPR @ TPR = 0.95 | Mean $\Delta_k^{(x)}$ | Mean $\Delta_k^{(z)}$ |
|----------|-------|--------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Plain AE | 0.85  | 0.60   | 0.30             | –                     | –                     |
| TopoAE   | 0.88  | 0.65   | 0.25             | 0.12                  | –                     |
| APRA     | 0.92  | 0.72   | 0.18             | 0.08                  | 0.05                  |

APRA delivers the highest AUROC and PR AUC while reducing the false-alarm rate at high true-positive thresholds. Moreover, the lower mean topological discrepancies  $\Delta_k^{(x)}$  and  $\Delta_k^{(z)}$  confirm that adaptive persistence regularization better preserves multiscale data structure

### References

1. Ngairangbam, V. S., Rozwoda, B., Sakurai, K., & Spannowsky, M. (2025). Enhancing anomaly detection with topology-aware autoencoders. *arXiv preprint arXiv:2502.10163*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.10163>

UDC 004.8'3:623.746.6:004.272

**МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У СИСТЕМАХ ПРОТИДІЇ  
БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТАМ НА ОСНОВІ  
ПРИСТРОЇВ З ОБМЕЖЕНИМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ  
МОЖЛИВОСТЯМИ**

**Dr.Sci. О. Заріцький** [0000-0002-6116-4426]

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

*EMAIL: olegzaritskyi@gmail.com*

**OBJECT DETECTION MODELS IN COUNTER-UNMANNED  
AIRCRAFT SYSTEMS BASED ON DEVICES WITH LIMITED  
COMPUTING CAPABILITIES**

**Dr.Sci. O. Zaritskyi**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine*

***Анотація.** У дослідженні автор представив результати моделювання з використанням деяких популярних моделей машинного навчання, таких як MobileNetV2 SSD FPN-Lite, FOMO (Faster Objects, More Objects) для пристроїв з обмеженими обчислювальними можливостями. Отриманий результат точності виявлення БПЛА типу Шахед 136 з використанням моделі, перетвореної за допомогою Tensor Flow light зі зменшеною розрядністю ваг ознак, вказує на можливість використання таких моделей в обчислювальних модулях типу Raspberry PI, Arduino тощо на борту БПЛА-перехоплювача.*

***Ключові слова:** C-UAV, UAV, комп'ютерний зір, виявлення об'єктів, контрастні об'єкти*

***Abstract.** In the study, the author presented the results of simulations using some popular machine learning models, such as MobileNetV2 SSD FPN-Lite, FOMO (Faster Objects, More Objects) for devices with limited computing capabilities. The obtained result of the accuracy of detection of Shahed 136 UAVs using a model transformed using Tensor Flow light with reduced bit depth of feature weights indicates the possibility of using such models in computing modules such as Raspberry PI, Arduino, etc. on board the UAV interceptor.*

***Keywords:** C-UAV, UAV, computing vision, object detection, salient objects*

The widespread use of unmanned aerial vehicles (UAVs) of different classes and types in recent armed conflicts has resulted in significant material and human losses for both military units and civilians. The Shahed-type barrage munitions, also known as tactical UAVs of the second class according to NATO classification, pose a particular threat to the country's

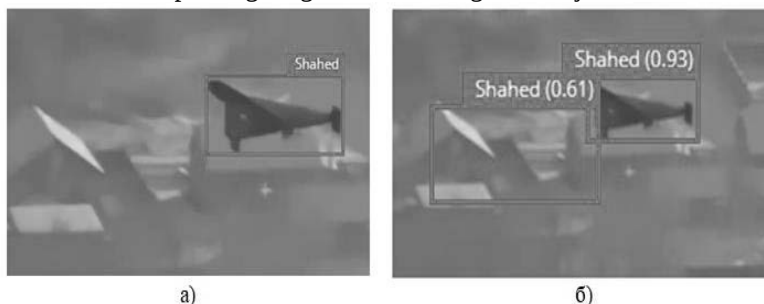
critical infrastructure [1] and civilian people. The purpose of this paper is formalizing the most effective methods of UAV detection by analyzing existing approaches with regard to the real conditions of particular UAV type use from the perspective of using these models on low-power computing devices on board an interceptor UAV.

The analysis of works in the field of C-UAS systems development [2,3] allows us to draw the following conclusion that none of the papers considers the implementation of the interception concept as a logical extension of their research. That is why the author's idea of building a combined C-UAV system using methods of recognizing the intruder UAV, implemented on low-power computing boards on board the interceptor UAV, day and night, is an urgent practical task [3]. The main challenges in presented training models:

1. Poor detection of distant (small) objects that blend into the background (ground, buildings, trees). The performance of FOMO is highly dependent on the resolution of the input image. Very small objects in low-resolution images may be missed.

2. Poor detection of large objects (foreground) when the UAV is almost the same size as the house against which it was shot (the geometry of the house, the triangular roof (similar to the shape of the UAV, etc.) affect the detection). This problem was typical for MobileNetV2 SSD, and the FOMO model solved this problem completely (fig.1).

3. Sensitivity to input quality. Compact models are often more sensitive to noise, poor lighting, or unusual angles of objects.



**Figure 1.** a) Video frame with Shahed-136 above the triangular roof, and b) the probability of detecting a roof instead of a UAV

4. The need for fine-tuning hyperparameters to achieve the optimal balance between speed and accuracy in a specific problem.

Thus, based on the results of the study, it is possible to recommend the use of the two presented models, but with certain limitations, namely: model MobileNetV2 SSD FPN-Lite requires a more powerful board, for example Arduino Nano 33 BLE Sense, Raspberry Pi is better and will be more effective in target tracking tasks; model FOMO is more powerful and faster, can use board Arduino Nano 33 BLE Sense, but has certain limitations regarding the implementation of target tracking.

### **References**

1. Joint Air Power Competence Centre. (2024). *A comprehensive approach to countering unmanned aircraft systems*. Joint Air Power Competence Centre.
2. Zhao, Z.-Q., Zheng, P., Xu, S.-T., & Wu, X. (2019). Object detection with deep learning: A review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(11), 3212–3232. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865>
3. Zaritskyi, O., & Miroshnyk, A. (2024). Machine learning in counter-unmanned aircraft systems. In *Proceedings of Information Technology and Implementation (Satellite) (IT&I-2023)* (pp. 100–103). Ukraine.

UDC 004.93

### **IMAGE COMPRESSION RESEARCH BASED ON CONVOLUTIONAL AUTOENCODER**

**Ph.D. I. Marchenko**<sup>1</sup>[0000-0002-4566-3866], **Ph.D. E. Balalayeva**<sup>2</sup>[0000-0003-1461-4399],

**Ph.D. O. Piatyko**<sup>3</sup>[0000-0002-7731-3051], **Dr.Sci. V. Kukhar**<sup>4</sup>[0000-0002-4863-7233]

<sup>1,2,3</sup> Pryazovskyi State Technical University, Ukraine

<sup>4</sup> Technical University Metinvest Polytechnic, LLC, Ukraine

E-MAIL: <sup>1</sup>irsa665@gmail.com, <sup>2</sup>balalaevaev@gmail.com,

<sup>3</sup>piatyko\_o\_je@pstu.edu, <sup>4</sup>kvv.mariupol@gmail.com

### **ДОСЛІДЖЕННЯ СТИСКАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЗВОРОТКОВОГО АВТОКОДУВАЛЬНИКА**

**Ph.D. I. Марченко**<sup>1</sup>, **Ph.D. О. Балалаєва**<sup>2</sup>, **Ph.D. О. П'ятикоп**<sup>3</sup>, **Ph.D. В. Кухар**<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна

<sup>4</sup>ТОВ «Технічний Університет "Метінвест Політехніка», Україна

**Abstract.** The paper presents the results of the study on image compression algorithms based on neural networks. A comparative analysis of classical compression algorithms, such as JPEG, with new approaches based on neural networks is carried out using the example of an autoencoder. To achieve the best reconstruction quality, a hybrid loss function comprising three components was employed: perceptual loss based on VGG16, SSIM loss, and MSE loss. This study developed an autoencoder model for image compression. The proposed model successfully preserves key structural features of the images, while achieving significantly lower compression ratios when compared to JPEG. The experiments determined the maximum acceptable number of convolutional layers for the model.

**Keywords:** autoencoder, image compression, neural networks, JPEG, compression algorithms.

**Анотація.** У статті представлені результати дослідження алгоритмів стиснення зображень на основі нейронних мереж. На прикладі автокодувальника проведено порівняльний аналіз класичних алгоритмів стиснення, таких як JPEG, з новими підходами, заснованими на нейронних мережах. Для досягнення найкращої якості реконструкції було використано гібридну функцію втрат, що складається з трьох компонентів: перцептивних втрат на основі VGG16, втрат SSIM та втрат MSE. У цьому дослідженні розроблено модель автокодувальника для стиснення зображень. Запропонована модель успішно зберігає ключові структурні особливості зображень, досягаючи при цьому нижчих коефіцієнтів стиснення порівняно з JPEG. Експерименти визначили максимально допустиму кількість згорткових шарів для моделі.

**Ключові слова:** автокодувальник, стиснення зображень, нейронні мережі, JPEG, алгоритми стиснення.

The rapid growth of digital content and information technology necessitates efficient data compression methods. Traditional compression methods often result in visual artifacts and information loss, degrading image quality. Neural networks offer a promising alternative for maintaining higher image quality at similar compression ratios. The goal of this study is to assess the effectiveness of image compression algorithms based on neural networks and compare them with traditional compression methods.

Classical image compression methods have their own strengths and weaknesses. For example, JPEG works well for photographs but can introduce noticeable artefacts when compressed too much, while PNG preserves high image quality but results in larger file sizes. Neural networks can offer a new approach to image compression [1, 2], with their main

advantage being their ability to learn from large datasets, identify patterns and extract the most important information from an image.

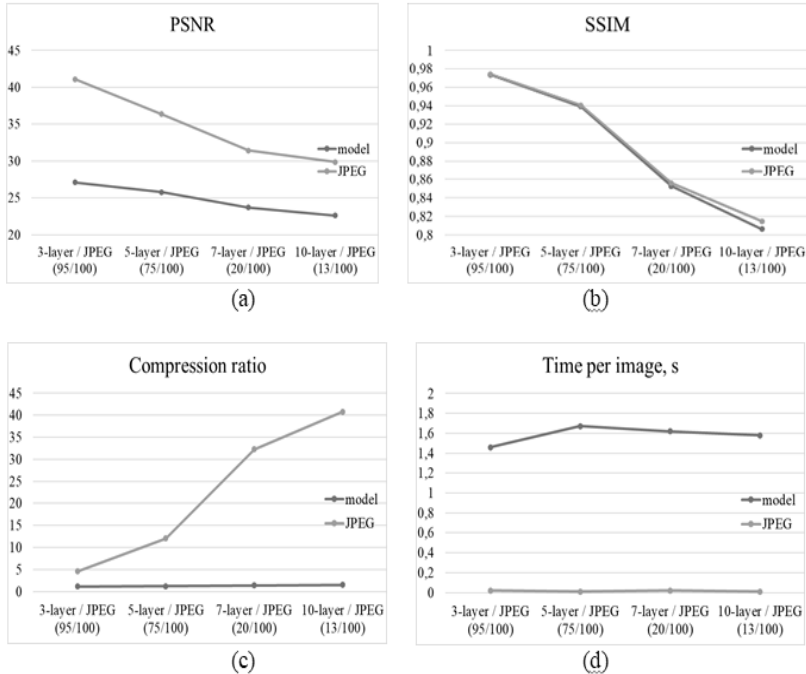
Autoencoders were chosen for further experimentation due to their simplicity and operational features. During the encoding and decoding process, some information is lost, leading to a reduction in the size of the output image. However, if the model is properly trained, this loss of information does not significantly affect the visual perception of the image, which allows the process to be regarded as a form of lossy compression. To train the model to correctly identify image features and achieve optimal reconstruction quality, a hybrid loss function is employed. This function combines three components: perceptual loss based, SSIM loss, and MSE loss. Perceptual loss leverages ( $L_{perc}$ ) intermediate features from the VGG16 neural network, pre-trained on the ImageNet dataset. It measures the similarity between the true images  $y_{true}$  and the predicted images  $y_{pred}$  at the feature map level, rather than at the pixel level. SSIM loss assesses the similarity between two images by considering structural characteristics such as brightness, contrast, and texture [3]. MSE loss measures the mean-square deviation between the pixels of the true and predicted images.

Hybrid loss function is a linear combination of the three above losses (a, b, c are the importance factor coefficients,  $a + b + c = 1$ ):

$$\begin{aligned} L_{hybrid}(y_{true}, y_{pred}) &= a \cdot L_{SSIM}(y_{true}, y_{pred}) + b \cdot L_{perc}(y_{true}, y_{pred}) \\ &+ c \cdot L_{MSE}(y_{true}, y_{pred}). \end{aligned} \quad (1)$$

To conduct the experiment, a modular software was developed in Python, comprising of the following components: graphical user interface; compression module, quality assessment module, which computes the key evaluation metrics, (PSNR and SSIM). To perform the experiments, 4 encoder configurations were developed: incorporating 3, 5, 7 and 10 layers of convolution. The 3-layer model achieved an average SSIM of 0.9738, comparable to JPEG at a 95/100 quality setting. An SSIM near 1 indicates high structural similarity between the compressed and original images. JPEG's average PSNR was 41.11 dB, significantly higher than the autoencoder's 27.09 dB, suggesting greater fidelity for JPEG mathematically, though PSNR doesn't always correlate with visual

perception. The autoencoder's compression ratio (1.11) was significantly lower than JPEG's (4.58).



**Figure 1.** Graphs of the dependence of changes in image recognition results for encoder models with different numbers of layers and the JPEG method with different quality settings: PSNR (a), SSIM (b), Compression ratio (c), Time per image (d)

This indicates the autoencoder effectively encodes and decodes images with minimal information loss, which benefits quality but reduces compression efficiency. Figure 1 shows graphs that demonstrate the dynamics of changes in the parameters for 4 encoder configurations. The study concluded that for 128x128 pixel images, models with more than 5 convolutional layers are not recommended.

In summary, neural networks can reconstruct images with adequate quality, they still fall short of the compression efficiency and computational performance offered by classical methods. The analysis of the experimental data highlighted two main challenges for the neural network-based approach: a low compression ratio and high resource requirements.

### **References**

1. Sadeeq, H. T., Hameed, T. H., Abdi, A., & Nashwan, A. (2021). Image compression using neural networks: A review. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17, 135–153. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i14.26059>
2. Mishra, D., Singh, S. K., & Singh, R. K. (2022). Deep architectures for image compression: A critical review. *Signal Processing*, 191, 108346. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108346>
3. Mudeng, V., Kim, M., & Choe, S. (2022). Prospects of structural similarity index for medical image analysis. *Applied Sciences*, 12(8), 3754. <https://doi.org/10.3390/app12083754>

UDC 004.942:656.61.052

### **AUTOMATION OF SHIP MOVEMENT CONTROL PROCESSES WITH ADDITIONAL WIND-ASSISTED PROPULSION SYSTEM ALONG THE ROUTE**

**Dr.Sci. S. Zinchenko**<sup>1[0000-0001-5012-5029]</sup>, **K.Tovstokoryy**<sup>2[0009-0003-1183-7324]</sup>

*Kherson State Maritime Academy, Ukraine*

*EMAIL: <sup>1</sup>srz56@ukr.ne , <sup>2</sup>Tovstokoryy@yahoo.com*

### **АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ РУХОМ СУДНА З ДОДАТКОВИМИ ВІТРОРУШІЯМИ ПО МАРШРУТУ**

**Dr.Sci. С.Зінченко, К.Товстоکورый**

*Херсонська державна морська академія, Україна*

**Annotation.** A method for automatic optimal control of the movement of a vessel with additional wind turbines along the route has been developed. Optimal controls are found by applying a "greedy" algorithm and a method of conditional optimization of the objective function with equalities and inequalities. Equalities-type constraints provide, when searching for optimal controls, the necessary control forces and moments, and inequalities-type constraints take into account the

permissible control ranges. Optimal controls minimize fuel consumption by using wind energy.

**Keywords:** automatic systems, wind turbines, wind energy, "greedy" algorithms, conditional optimization with constraints, minimization of energy consumption, human factor.

**Анотація.** Розроблено метод автоматичного оптимального керування рухом судна з додатковими вітрорушійми по маршруту. Оптимальні керування знаходяться шляхом застосування «жадібного» алгоритму та методу умовної оптимізації цільової функції з обмеженнями типу рівностей та нерівностей. Обмеження типу рівностей забезпечують, при пошуку оптимальних керувань, необхідні керуючі сили та моменти, а обмеження типу нерівностей враховують допустимі діапазони керувань. Оптимальні керування мінімізують витрати палива, за рахунок використання енергії вітру.

**Ключові слова** автоматичні системи, вітрорушії, енергія вітру, «жадібні» алгоритми, умовна оптимізація з обмеженнями, мінімізація енерговитрат, людський чинник.

The maritime industry faces significant challenges due to increasingly stringent legislative requirements to reduce emissions of harmful substances into the atmosphere and improve the climate. This is facilitated by the automation and optimization of control processes when solving various tasks, in particular, traffic control under external influences [1], optimization of control processes [2, 3], assessment of vessel maneuvering capabilities [4], use of mathematical models of the vessel in control systems [5], etc. Among the wide range of technologies and fuel solutions considered in this context, wind-assisted propulsion systems (WAPS) are one of the most promising, which can reduce fuel consumption by vessels and, as a result, reduce emissions of greenhouse gases and other harmful substances into the atmosphere.

Modern WAPS have a built-in weather vane function to control the performance of the sails in different weather conditions. It is known that the sails create a thrust force that moves the ship along the route, and a drift force that blows the ship off the route. To compensate for the drift force and keep the ship on the route, the control system increases energy consumption. Depending on the direction and strength of the wind, the energy consumption for compensating for the drift force from the sails may exceed the savings from the thrust force of the sails, so the problem of controlling

the sails should be solved together with the problem of controlling the movement of the ship.

The aim of the work is to minimize fuel consumption by a conventional single-screw vessel with additional wind turbines when moving along the route, due to the use of wind energy. The set goal is achieved by using the on-board computer in the control system; carrying out, at each step of the on-board computer, operations of measuring the parameters of the vessel's motion relative to the wind and current, calculating external and control forces and moments, finding optimal controls  $\mathbf{U}^* = (\Theta^*, \delta^*, \gamma_j^*), j = 1..n$ ,

where  $\Theta^*$  is the optimal telegraph deviation,  $\delta^*$  is the optimal rudder deviation,  $\gamma_j^*, j = 1..n$  is the optimal sail angle; using optimal controls in the automation of the power plant, rudder and sails.

Optimal controls are found by solving a conditional optimization problem with constraints of the equalities and inequalities type; The energy consumption function of the Power Plant is used as the objective function, constraints of the type of equalities ensure the creation of forces and moments necessary to maintain a given position or motion, constraints of the type of inequalities ensure the controls deviation  $\mathbf{U}^* = (\Theta^*, \delta^*, \gamma_j^*), j = 1..n$  within permissible intervals.

### References

1. Zinchenko, S. M., Mamenko, P. P., Grosheva, O. O., & Mateichuk, V. M. (2019). Automatic control of the vessel's movement under external conditions. *Науковий вісник ХДМА*, 2(21), 10–15. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015>. Retrieved from <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
2. Зинченко, С. Н., Ляшенко, В. Г., & Грошева, О. А. (2018). Синтез оптимального управления судном с граничными условиями. *Науковий вісник ХДМА*, 1(18). Retrieved from <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>
3. Зинченко, С. Н., Ляшенко, В. Г., & Шалаева, А. А. (2017, September 14–16). Расчет и реализация маневра расхождения с судами-целями в бортовой ЦВМ. In *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика»* (pp. 230–235). Херсон.
4. Зинченко, С. Н., Ляшенко, В. Г., & Шалаева, А. А. (2017, September 14–16). Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации. In *Матеріали IV*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика»* (pp. 236–240). Херсон.

5. Зинченко, С. Н., & Ляшенко, В. Г. (2017). Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления. *Науковий вісник ХДМА*, 2(17), 231–237. Retrieved from <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>

UDC 681.5

**УДОСКОНАЛЕНА ДИНАМІЧНА ПРОГНОЗУЮЧА МОДЕЛЬ  
ПРОДУВКИ КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРА**

**Ph.D. Ю. Маріяш**<sup>[0000-0002-0812-8960]</sup>, **Ph.D. О. Степанець**<sup>[0000-0002-0812-8960]</sup>

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна  
EMAIL: y.mariash@kpi.ua, o.stepanets@kpi.ua*

**ADVANCED DYNAMIC PREDICTIVE MODEL FOR BASIC  
OXYGEN FURNACE PURGING**

**Ph.D. Y. Mariash, Ph.D. O. Stepanets**

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute”, Ukraine*

**Анотація.** У цій роботі було розроблено динамічну модель режиму продувки в процесі кисневої печі, що є ключовим питанням для підвищення енерго- та ресурсо-ефективності сучасного виробництва сталі. У дослідженні аналізується вплив ключових параметрів контролю, а саме висоти фурми над рівнем спокійної ванни та інтенсивності подачі кисню, на результати процесу. Модель описує перехідну динаміку, що пов'язує ці вхідні дані зі швидкістю знеуглецювання та ступенем окислення вуглецю до CO<sub>2</sub> у порожнині конвертера.

**Ключові слова:** прогноуюча модель, керування, модель в просторі станів, кисневий конвертер.

**Abstract.** This paper focuses on the development of a dynamic model for the purging mode in a basic oxygen furnace process, a key issue for enhancing energy and resource efficiency in modern steelmaking. The study analyzes the influence of key control parameters, namely the lance height above the quiescent bath level and the oxygen blast intensity, on the process outputs. The model describes the transient dynamics connecting these inputs to the decarburization rate and the degree of carbon oxidation to CO<sub>2</sub> in the converter cavity.

**Keywords:** prediction model, control, state-space model, basic oxygen furnace.

The basic oxygen steelmaking process is noted for the complexity of its physicochemical phenomena, which proceed at high rates and temperatures. It is characterized by multiple operational modes and the high dimensionality of the problems to be solved. The quality of the final steel is determined by its composition and temperature. The converter can be considered a chemical reactor wherein the oxidation of various elements and the redistribution of impurities and heat between the metal and the slag occur. An investigation was conducted using data from converters with a 160-tonne capacity. Under manual control, the blowing process often deviates from the optimum, and slag formation is disrupted. Consequently, the slag may become either inactive or excessively foamy, leading to slopping and ejections. With manual control, only 45–50% of heats, and sometimes fewer, are successfully tapped on the first attempt [1]. The quest for greater efficiency, quality, and consistency in basic oxygen furnace (BOF) steelmaking has driven a continuous evolution in process control methodologies. From early reliance on operator experience, the industry has progressed through successive generations of predictive models, each aiming to better capture the complexities of the high-temperature, multiphase reactions within the converter.

In the current landscape of metallurgical industry development, pressing tasks include the development of resource-efficient steelmaking processes, the advancement of theoretical and practical aspects of novel energy-saving methods for blowing the steelmaking bath with process gas, and the enhancement of furnace thermal efficiency. One of the key approaches to reducing operational expenditures is the recovery of physical and chemical energy from converter off-gases, specifically through the post-combustion of carbon monoxide (CO) to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Control of the purging necessitates the measurement of the CO<sub>2</sub> mass fraction and the blowing rate. Due to the technological specificities of the process, the CO<sub>2</sub> content is calculated using a mass balance equation for the gases in the blast, ambient air, and the off-gas duct [2].

The mathematical model for the dynamic control of the blowing process, which is based on the distribution of blast oxygen among the molten metal, slag, and converter gas phases, is represented by a system of differential equations. These equations characterize the mass and heat balance within the converter and its off-gas. In the development of this dynamic model, gradients of the control parameters are neglected, under the assumption that

spatial heterogeneity in both chemical composition and temperature is absent within the bath due to intensive mixing. The primary contributors to the process's mass transfer and energy balance are the thermochemical reactions involving the oxidation of carbon and iron from the bath. It is assumed that the converter gas, as a product of the bath's decarburization, consists of CO and CO<sub>2</sub>. In the converter's freeboard, carbon monoxide is partially combusted to form carbon dioxide. This reaction, along with the combustion of iron, leads to a decrease in the oxygen assimilation coefficient by the carbon in the bath and lowers its burnout rate. The transient process for the change in the degree of carbon oxidation to CO<sub>2</sub>, resulting from a change in the oxygen blast intensity is described by the differential equation (1):

$$T_{v_c}^v T_{\gamma_{CO_2}}^{v_c} \frac{d^2 \gamma_{CO_2}(t)}{d^2 t} + (T_{v_c}^v + T_{\gamma_{CO_2}}^{v_c}) \frac{d \gamma_{CO_2}(t)}{dt} + \gamma_{CO_2}(t) = k_{\gamma_{CO_2}}^v v(t), \quad (1)$$

where  $k_{\gamma_{CO_2}}^v = k_{v_c}^v \cdot k_{\gamma_{CO_2}}^{v_c} = \left(0,56 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(-2,25 \cdot 10^{-3} \frac{min}{kg}\right) \cdot 100\% = -0,126 \frac{(\% \cdot min)}{m^3}$ .

The process control object for the oxygen blast intensity of an oxygen converter is comprised of the physical connection between a pneumatic valve and a flow meter. This arrangement represents an oxygen capacitance, which creates resistance to fluid flow. This system, with the pneumatic valve position as its input and the oxygen flow rate as its output, is described by the following first-order differential equation (2):

$$T_v^{u_{O_2}} \frac{dv(t)}{dt} + v(t) = k_v^{u_{O_2}} u_{v_{O_2}}(t), \quad (2)$$

where  $u_{v_{O_2}}$  – is the pneumatic valve position, %;  $k_v^{u_{O_2}} \frac{m^3}{\% \cdot min}$  – is the process gain for pneumatic valve position to blast intensity,  $\frac{m^3}{\% \cdot min}$  .;  $T_v^{u_{O_2}}$  – is the

time constant, s. The process gain is  $k_v = \frac{\Delta v}{\Delta u_{v_{O_2}}} = \frac{600 \frac{m^3}{min}}{100\%} = 6 \frac{m^3}{(min \cdot \%)}$ ,

the time constant is  $T_v^{u_{O_2}} = 1,2$  s.

The technological features of controlling the parameters of the purging mode for BOF process were analyzed, and a state-space model of this process was developed. It was established that one of the main parameters of the purging mode is the blowing intensity, on which the progress of impurity oxidation and slag formation processes depends. However, increasing the blowing intensity reduces iron oxidation and its transfer into the slag, and also decreases lining wear; this is associated with a reduction in both the blowing duration and the contact time of the refractories with the aggressive slag and high-temperature flame. The effect of the lance height above the quiescent bath level was analyzed.

### **References**

1. Barron, M. A., Medina, D. Y., & Hilerio, I. (2014). Numerical simulation of decarburization in a top-blown basic oxygen furnace. *Modeling and Numerical Simulation of Material Science*, 4(3), 94–103. <https://doi.org/10.4236/mnsms.2014.43011>
2. Mariash, Y. I., Stepanets, O. V., & Safonyk, A. P. (2024). Model predictive control for the blowing regime of the steelmaking process. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3790, pp. 331–341). CEUR-WS. <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper28.pdf>

UDC 004.932:528.854

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ПОКИНУТИХ ОРНИХ УГІДЬ ЗА ДАНИМИ SENTINEL-2**

**К. Акименко**<sup>[0009-0008-2615-5015]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. К. Сергієва**<sup>[0000-0001-7345-2209]<sup>1</sup></sup>,  
**Ph.D. Ю. Кавац**<sup>[0000-0002-0180-5957]<sup>2</sup></sup>, **Dr.Sci. О.Ковров**<sup>[0000-0003-3364-119X]<sup>1</sup></sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Україна

<sup>2</sup>Український державний університет науки і технологій, Україна

EMAIL: [akymenko.k.s@nmu.one](mailto:akymenko.k.s@nmu.one), [sergieieva.k.l@nmu.one](mailto:sergieieva.k.l@nmu.one), [yukavats@gmail.com](mailto:yukavats@gmail.com),  
[kovrov.o.s@nmu.one](mailto:kovrov.o.s@nmu.one)

## **INTELLIGENT SYSTEM FOR ABANDONED ARABLE LAND DETECTION FROM SENTINEL-2 IMAGES**

**K. Akymenko<sup>1</sup>, Ph.D. K. Sergieieva<sup>1</sup>, Ph.D. Yu. Kavats<sup>2</sup>, Dr.Sci. O. Kovrov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Ukraine,

<sup>2</sup>Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Abstract.** *An intelligent system for the automated detection of abandoned arable land using Sentinel-2 satellite images has been developed. The system is integrated with Google Earth Engine API and allows classification of agricultural areas as cultivated or abandoned based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series, operating in near real time. Experimental validation was conducted on croplands in the Dnipropetrovsk and Donetsk Oblasts. The proposed system achieves up to 92% accuracy in detecting abandoned arable land, including those under military conflict conditions, when ground-based observations are unavailable.*

**Keywords:** *intelligent system, classification, NDVI, Sentinel-2, monitoring, arable land.*

**Аномація.** *Розроблено інтелектуальну систему автоматизованого виявлення покинутих орних угідь на основі супутникових знімків Sentinel-2. Система інтегрована з Google Earth Engine і дає змогу класифікувати сільськогосподарські ділянки як оброблювані або покинуті за часовими рядами Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) в режимі, близькому до реального часу. Проведено експериментальну валідацію результатів для сільськогосподарських ділянок у Дніпропетровській та Донецькій областях. Запропонована система дозволяє виявляти покинуті орні угіддя з точністю до 92%, у тому числі в умовах воєнного конфлікту, коли наземні спостереження є недоступними.*

**Ключові слова:** *інформаційна система, інформаційна технологія, класифікація, NDVI, Sentinel-2, моніторинг, орні угіддя.*

The problem of abandoned arable land in Ukraine has been exacerbated by full-scale war, logistical disruptions, and economic instability. Many fields remain uncultivated, gradually losing their agricultural potential and becoming overgrown with ruderal vegetation. This poses a threat to food security, the economy, and the environment. Traditional ground-based survey methods are ineffective in war conditions due to limited field access, but satellite monitoring using Sentinel-2 data provides a safe and rapid way to detect abandoned land [1]. Abandoned cropland has characteristic spectral and phenological features that allow it to be reliably identified using satellite data. The main indicators are smoothed NDVI time profiles with no pronounced annual cycle, reduced amplitude of seasonal changes (less than 0.3 compared to about 0.6 for cultivated fields), absence of clear peaks of vegetation and seasonal decline after harvest, as well as increased NDVI values in the inter-vegetation period due to the development of ruderal vegetation [2]. An intelligent system and technology for detecting abandoned arable land has been developed based on the analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series using Sentinel-

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

2 L2A satellite data available via Google Earth Engine platform API (<https://earthengine.google.com>).

The technology compares average annual NDVI values in pre- and post-conflict periods to detect changes in vegetation activity. Pre-processing satellite data involves cloud filtering based on the Scene Classification Layer, calculating the NDVI and aggregating indicators for the vegetation period. Using a threshold approach for classification increases the algorithm's resistance to anomalies caused by combat operations or extreme weather conditions, while also simplifying the interpretation of results [3].

The intelligent system is implemented in Python and uses geospatial data processing libraries (rasterio, NumPy, pandas, folium and Matplotlib, PySide6). It has dual architecture that includes modes for the local analysis of GeoTIFF files and online data processing. One of the system's unique features is the integration of analytical algorithms with interactive cartographic tools. Experimental results show that the accuracy of classifying abandoned land exceeds 92% for typical agricultural landscapes in Ukraine, a finding that has been confirmed by expert validation. The developed system supports decision-making in land management and the restoration of Ukraine's agricultural potential.

### **References**

1. Dai, K., Cheng, C., Kan, S., Li, Y., Liu, K., & Wu, X. (2024). Impact of arable land abandonment on crop production losses in Ukraine during the armed conflict. *Remote Sensing*, 16(22), 4207. <https://doi.org/10.3390/rs16224207>
2. Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 10(5), 641. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050641>
3. Zhu, L., Liu, X., Wu, L., Tang, Y., & Meng, Y. (2019). Long-term monitoring of cropland change near Dongting Lake, China, using the LandTrendr algorithm with Landsat imagery. *Remote Sensing*, 11(10), 1234. <https://doi.org/10.3390/rs11101234>

UDC 004.056: 004.9+629.4

### **INTELLIGENT SYSTEMS AND NETWORKS IN AGRICULTURE**

**Ph.D. T. Kunup**<sup>[0000-0003-0246-0951]</sup>

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

*EMAIL: ttvv@ukr.net*

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Ph.D. Т.Кунуп

Національний університет «Одеська політехніка». Україна

**Анотація.** У статті розглядається використання сучасних технологій, зокрема інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ), для розвитку аграрного сектору шляхом інтеграції в концепцію AIoT (Artificial Intelligence of Things — штучний інтелект речей). Такий підхід сприяє автоматизації виробничих процесів, підвищенню ефективності агровиробництва, оптимізації використання ресурсів і покращенню якості продукції. Застосування AIoT дозволяє уникати стагнації у рослинництві та забезпечує аграріям можливість ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення на основі реальних даних, отриманих у режимі реального часу. У статті проаналізовано потенційні переваги впровадження цих технологій, включно з економічною доцільністю, а також окреслено ключові виклики, зокрема необхідність значних фінансових інвестицій і забезпечення високого рівня кібербезпеки.

**Ключові слова:** Інтернет речей, штучний інтелект, AIoT (Штучний інтелект речей), розумне сільське господарство, машинне навчання, IoT-датчики.

**Abstract.** The article considers the use of modern technologies, in particular the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI), for the development of the agricultural sector through integration into the AIoT (Artificial Intelligence of Things) concept. This approach contributes to the automation of production processes, increasing the efficiency of agricultural production, optimizing resource use and improving product quality. The use of AIoT allows avoiding stagnation in crop production and provides farmers with the opportunity to make informed management decisions based on real data obtained in real time. The article analyzes the potential benefits of implementing these technologies, including economic feasibility, and also outlines key challenges, in particular the need for significant financial investments and ensuring a high level of cybersecurity.

**Keywords:** Internet of Things, Artificial Intelligence, AIoT (Artificial Intelligence of Things), Smart Agriculture, Machine Learning, IoT- sensors.

In the 21st century, agriculture is undergoing rapid digital transformation, opening new opportunities to increase production efficiency, use resources more rationally, and ensure food security. A leading trend in this revolution is the integration of the Internet of Things (IoT) with artificial intelligence (AI) – a combination often termed Artificial Intelligence of Things (AIoT). AIoT enables continuous monitoring of

crops, soil, and climate conditions, while automating data collection, processing, and analysis in real time. By leveraging AIoT, farmers can implement precision agriculture techniques that optimize inputs (water, fertilizers, fuel) and make informed decisions for each plot of land. For instance, AI- and IoT-based solutions can precisely adjust irrigation and fertilizer application based on sensor data, thereby reducing waste and environmental impact while improving overall yield and productivity. This approach not only boosts crop yields but also diminishes the environmental footprint and the influence of the human factor in farming operations.

Despite these advantages, implementing AIoT in agriculture comes with challenges. Significant upfront investments are required for sensors, drones, connectivity, and AI platforms, and integrating these new tools with existing farm infrastructure can be complex. There are also risks related to cybersecurity – connected farm devices and data networks may be vulnerable to attacks – and a need for specialized personnel to manage and interpret the technology. Insufficient legislative and regulatory frameworks can further slow adoption by failing to provide clear standards or protections. In this context, supportive state policies play a crucial role in facilitating the digital transformation of the agricultural sector. Ukraine is a notable case: as a major agricultural producer, it stands to benefit greatly from AIoT, and government initiatives are beginning to focus on accelerating agri-tech innovation. The purpose of this analysis is to examine the potential and effectiveness of implementing AIoT in Ukrainian agriculture, identify the economic, technical, and organizational aspects of this technology, and assess prospects for its further development.

AIoT in agriculture refers to the synergy of IoT devices (sensors, connected equipment, drones, etc.) with AI algorithms and analytics. In practice, this means farm data – from soil moisture and nutrient levels to weather conditions and crop health – is collected by IoT sensors and then processed by AI systems to generate actionable insights. The AIoT framework allows real-time processing of large data volumes and intelligent automation of farm management tasks. For example, machine learning models can analyze sensor data to predict pest outbreaks or irrigation needs, enabling preventive actions. This tight integration of sensing and intelligence transforms raw data into decisions on the farm, thus enhancing precision and timeliness in agricultural operations. Formally, we can represent agricultural productivity as a function of traditional inputs and the contribution of intelligent technologies. One conceptual model is:

$$Y=f^*(I, L, T, AIoT) \quad (1)$$

where  $Y$  - is the crop yield (production volume),

$I$  - represents investments (capital inputs such as equipment and infrastructure),

$L$  - human resources and expertise,

$T$  - traditional technologies,

$AIoT$  - the impact of intelligent digital technologies.

Figure 1 crop yields at a research site in Ukraine (2020–2025) comparing fields using AIoT-based precision farming versus traditional methods. As can be seen from the graph, over 6 years, the implementation of AIoT has increased yields from 3.2 to 4.5 t/h, i.e. 40.6% more compared to the traditional approach (3.6 t/h). Economic model of implementation. The return on investment in AIoT can be estimated using the formula 2:

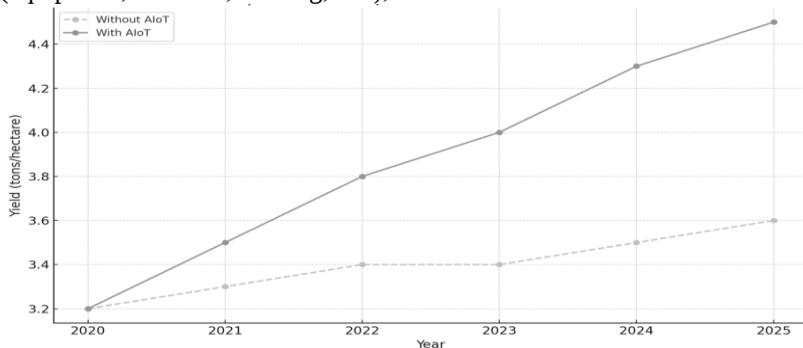
$$ROI=(\frac{(PAIoT-Pbase) \cdot A - CAIoT}{CAIoT}) \times 100\% \quad (2)$$

where  $PAIoT$  - is the crop yield (e.g. in t/ha) achieved using AIoT technologies;

$Pbase$  - is the yield under traditional methods (without AIoT);

$A$  - is the land area (in ha) over which this yield difference is realized;

$CAIoT$  - is the total cost of implementing the AIoT technologies (equipment, software, training, etc.),



**Figure 1.** Comparison of crop yields at the research site in 2020 -2025

ROI - expresses the net benefit of AIoT as a percentage of the costs (%).

Despite the promising results, widespread implementation of AIoT in agriculture faces several challenges that must be addressed to achieve

sustainable adoption: high cost of equipment, the need for specialized personnel, cybersecurity issues, insufficient legislative regulation. At the same time, state programs to support agrotechnology in Ukraine create favorable conditions for overcoming these barriers. As a result of the study, it has been established that Artificial Intelligence of things (AIoT) technologies hold significant potential for transforming Ukraine's agricultural sector. Their implementation contributes to increased crop yields, more efficient use of resources, reduced costs, and a diminished impact of the human factor. An analysis of yield dynamics revealed a clear advantage for farms that have adopted AIoT solutions compared to those that continue using traditional technologies. However, to achieve a sustainable effect, it is necessary to create favorable conditions at the state level, particularly through the development of digital infrastructure in rural areas, the promotion of innovative projects, and the training of specialists in digital technologies for agriculture.

#### **References**

1. Baranovskyi, O. I., & Palii, O. I. (2020). *Digital technologies in agricultural production*. Kyiv: AgroNauka.
2. Sydorenko, L. M. (2021). Internet of Things in the agricultural sector: Opportunities and challenges. *Agrarian Economics*, (4), 45–52.
3. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2022). *Strategy for digital transformation of agriculture*. Kyiv.
4. Kondratiuk, M. S. (2021). Artificial intelligence in agriculture: Applied aspects. *Technologies and Innovations*, (3), 78–85.
5. Shevchenko, Y. V. (2023). AIoT as a driver of sustainable development in the agricultural sector. *Bulletin of NUBiP*, (2), 112–120.

UDC 004.9

### **ПРОСКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВІДСТЕЖЕННЯ МЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ В УНІВЕРСАЛЬНИХ АПТЕЧКАХ**

**Є. Федорченко**<sup>1</sup>[0000-0003-1605-8066], **Dr.Sci. А. Олійник**<sup>2</sup>[0000-0002-6740-6078],  
**К. Панічук**<sup>3</sup>[0009-0009-4340-6688], **Ph.D. Т. Федорончак**<sup>4</sup>[0000-0001-6238-1177]  
<sup>1,2,3,4</sup>Національний університет «Запорізька політехніка», Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>evg.fedorchenko@gmail.com, <sup>2</sup>olejnikaa@gmail.com,  
<sup>3</sup>panichuck.kat@gmail.com, <sup>4</sup>t.fedoronchak@gmail.com

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR TRACKING MEDICAL SUPPLIES IN UNIVERSAL FIRST AID KITS

I. Fedorchenko, Dr.Sci. A. Oliinyk, K. Panychuk, Ph.D. T. Fedoronchak

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Ukraine

**Анотація.** Було розроблено модифіковану модель згорткової нейронної мережі MediPackNet з точністю 92%, яка правильно розпізнала всі 5 тестових зображень лікарських засобів. Вона продемонструвала хороші результати на рівні 6 моделей, побудованих на основі відомих архітектур, а саме: InceptionV3, Xception, ResNet50V2, MobileNetV2, NASNetMobile та DenseNet169. Крім того, були реалізовані методи шифрування даних AES, RSA та їх комбінація. За результатами аналізу встановлено, що найефективнішим для розробленого програмного забезпечення є гібридне шифрування. Створено мобільний застосунок для обліку лікарських засобів універсальної аптечки, забезпечено його стабільну роботу та можливість для подальшого розвитку.

**Ключові слова:** облік, лікарські засоби, аптечка, пакування, розпізнавання, .NET MAUI, Python.

**Abstract.** A modified convolutional neural network model MediPackNet was developed with an accuracy of 92%, which correctly recognized all 5 test images of medicines. It showed good results at the level of 6 models based on already known ones, namely: InceptionV3, Xception, ResNet50V2, MobileNetV2, NASNetMobile and DenseNet169. In addition, AES, RSA data encryption methods and a combination of these algorithms were implemented. Based on the results of the analysis, it was concluded that hybrid encryption is the best for the developed software. A mobile application for the accounting of medicines for a universal first aid kit was created, with stable performance and the possibility for further development.

**Keywords:** accounting, medicines, first aid kit, packaging, recognition, .NET MAUI, Python.

Medicines play an extremely important role in a person's life, helping to maintain health and improve quality of life. However, people often skip taking their medications or overpay for medications they already have at home, but don't remember about them. The World Health Organization has classified medication non-adherence as a major global problem [1]. It is estimated that 20% to 50% of patients do not take their medications properly [1]. The reasons for this are quite diverse, but the most common reasons are unintentional, such as confusion or simple forgetfulness. These problems

can have serious health consequences and increase treatment costs [2]. In this regard, there is a need for a convenient and efficient medication management tool.

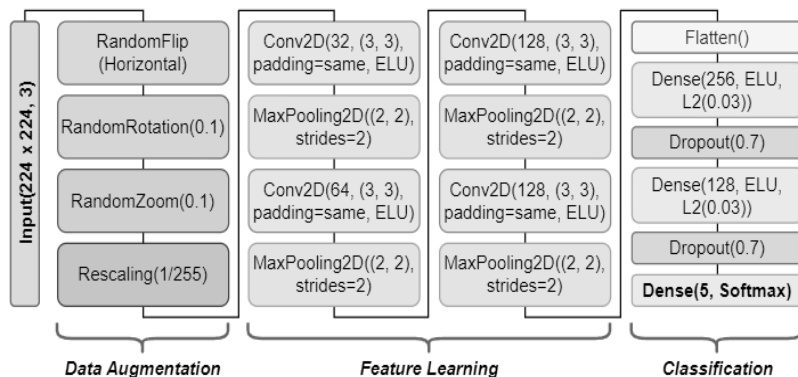
The universal first aid kit medicine accounting software is a relevant solution to solve these problems. It allows you to add, delete, and edit first aid kits' medicines, monitor their expiration dates, and also makes it possible to set up reminders to take medicines. This is especially useful for people who take a lot of medications or have chronic diseases [3].

Using a mobile application for accounting is convenient and affordable, as a mobile phone is usually always with the owner. It also has a significant impact on the environment, as it reduces the amount of hazardous waste associated with improper storage and disposal of expired medicines.

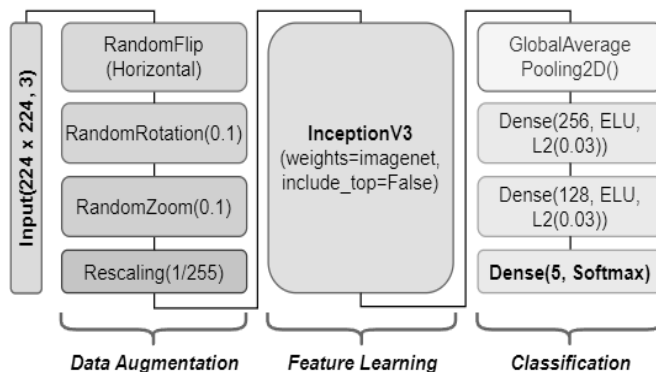
The developed mobile application provides the following functionalities: adding, editing, and deleting information about a medicine; sorting the list of medications; tracking the course of treatment; notifying the user when it is time to take a medicine; allowing the user to take a photo of a medicine, encrypt it, decrypt it, and subsequently recognize it; displaying whether there is a sufficient quantity of the medication available for the treatment course and showing its expiration date, as well as indicating when the expiration date is approaching. For the development of the cross-platform mobile application, C# together with the .NET MAUI framework was chosen, while Python with Flask and TensorFlow was used for the development of the server side of the application.

To implement the function of recognizing medicines from images of their packages in the software, a modified convolutional neural network model MediPackNet and 6 more models based on the already known ones were created, namely: InceptionV3, Xception, ResNet50V2, MobileNetV2, NASNetMobile, and DenseNet169 [4]. The structures of the MediPackNet model and other models, exemplified by the InceptionV3-based model, are shown in Figures 1,2. For the training set, 100 images of 5 medicines packaging (20 images per medicine) were used, and for the test set, 25 images of 5 medicines packaging (5 images per medicine) were used. Table 1 shows the results of model training for 35 epochs. To validate the models, 5 images of packages were used that did not pass through the models during training. The data shows that the created MediPackNet model was successfully trained on the medicines dataset and demonstrated the ability to accurately recognize medicines packages with high reliability. It showed

good results at the level of models based on already known models, so it was used in the server part of the program.



**Figure 1.** Structure of the MediPackNet model



**Figure 2.** Structure of the model with Inception V3

In addition, AES, RSA data encryption methods and a combination of these algorithms were implemented. Based on the results of the analysis, it was concluded that hybrid encryption is the best for the developed software.

**Table 1.**

Comparison of model training results

| Model        | Train.<br>time (s) | Test<br>loss | Test<br>acc.<br>(%) | Size<br>(MB) | Number of<br>correct example<br>classes |
|--------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|-----------------------------------------|
| MediPackNet  | 230.4              | 3.63         | 92                  | 78.3         | 5 з 5                                   |
| InceptionV3  | 157.2              | 1.86         | 100                 | 97.5         | 5 з 5                                   |
| Xception     | 243.8              | 0.55         | 96                  | 90.8         | 4 з 5                                   |
| ResNet50V2   | 213.9              | 1.02         | 96                  | 101          | 5 з 5                                   |
| MobileNetV2  | 103.0              | 0.91         | 100                 | 18.0         | 5 з 5                                   |
| NASNetMobile | 193.4              | 0.83         | 100                 | 39.9         | 5 з 5                                   |
| DenseNet169  | 646.5              | 1.17         | 100                 | 67.7         | 5 з 5                                   |

In the future, it is possible to improve the created software by adding notifications about the need to purchase a medicine because it is about to expire, implementing barcode or serial number scanning, improving the package recognition model, security mechanisms, and expanding the list of medicines for recognition, providing the ability to view instructions, etc.

### References

1. Pérez-Jover, V., et al. (2019). Mobile apps for increasing treatment adherence: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 21(6), e12505. <https://doi.org/10.2196/12505>
2. Why medication dosage monitoring is critical for your health. (2023). Texas Star Pharmacy. <https://www.texasstarpharmacy.com/why-medication-dosage-monitoring-is-critical-for-your-health/>
3. Medication tracking software: Features, benefits and more. (2022). Intellectsoft. <https://www.intellectsoft.net/blog/medication-tracking-software/>
4. Saha, S. (2023). A comprehensive guide to convolutional neural networks — the ELI5 way. Saturn Cloud. <https://saturncloud.io/blog/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way>

УДК 004.932

## СТИСНЕННЯ З ВТРАТАМИ НА ОСНОВІ ВРГ ДЛЯ ШУМНИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

**Б. Коваленко**<sup>[0000-0002-9360-0691]1</sup>, **В. Лукін**<sup>[0000-0002-1443-9685]2</sup>

*Національний аерокосмічний університет, Україна,*

*EMAIL:<sup>1</sup>b.kovalenko@khai,<sup>2</sup>edu v.lukin@khai.edu*

## BPG-BASED LOSSY COMPRESSION OF NOISY COLOR IMAGES

B. Kovalenko, V. Lukin

National Aerospace University, Ukraine

**Анотація.** У цій статті ми показуємо, як вирішити завдання встановлення параметра, що контролює стиснення (ПКС), розумним (адаптивним) способом, щоб досягти оптимального балансу між позитивним ефектом видалення шуму та негативним ефектом забруднення інформації для better portable graphics (BPG) кодера, використовуючи метрику якості під назвою HaarPSI. Ми демонструємо, що для стиснених зображень може існувати оптимальна робоча точка (OPT) відповідно до метрики HaarPSI, де ймовірність існування OOP залежить від інтенсивності шуму та складності зображення.

**Ключові слова:** Шумні дані зображення, стиснення з втратами, візуальна якість, інтелектуальна обробка, BPG, HaarPSI

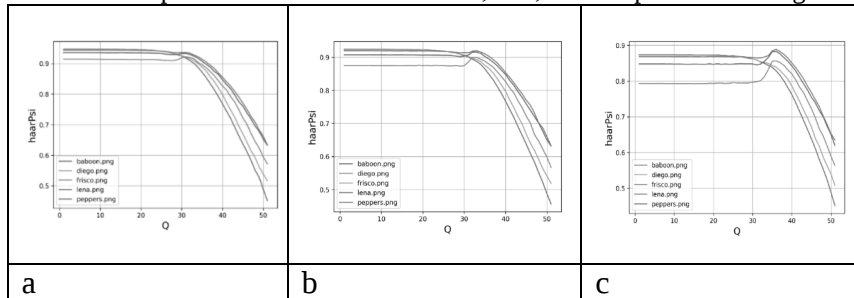
**Abstract.** In this paper, we show how to solve a task of setting parameter that controls compression (PCC) in a smart (adaptive) manner to reach optimum between positive phenomenon of noise removal and negative fact of information contamination for a better portable graphics (BPG) coder, using a quality metrics called HaarPSI. We demonstrate that optimal operation point (OOP) might exist for compressed images according to the metric HaarPSI where probability of OOP existence depends on noise intensity and image complexity.

**Keywords:** Noisy image data, lossy compression, visual quality, intelligent processing, BPG, HaarPSI

**The purpose:** The number of images rapidly increases nowadays. The acquired images have to be processed, stored, transferred. To effectively achieve this, compression has to be applied to decrease the data size. The lossy compression finds more and more applications nowadays. A general tendency in compression of many images is that a larger CR leads to worse quality of compressed images according to metrics. The aforementioned tendency is valid and the task is to find a proper compromise and to provide it in practice. However, it happens quite often that acquired images are noisy.

**The methods:** Thus, in this paper, we analyze performance of the BPG [1] coder for compressing color images corrupted by AWGN using the HaarPSI metric. We assume that the considered test images are corrupted by AWGN with zero mean and variance equal to  $\sigma^2$ .

So, consider the dependencies  $\text{HaarPSI}_{tc}(Q)$  where the index  $tc$  relates to true and compressed. The curves for  $\sigma^2=64, 100, 194$  are presented in Fig. 1.



**Figure 1.** Dependencies of  $\text{HaarPSI}_{tc}$  on  $Q$  for  $\sigma^2=64$  (a), 100 (b), 194 (c) for the mode 4:4:4

One positive feature of the BPG-based compression of color noisy images is that, for all images having OOP, this OOP according to the metric HaarPSI is observed for the same  $Q$ . Moreover, the same effect was earlier observed [2] for the metrics PSNR and PSNR-HVS-M. Furthermore, the earlier obtained formula for finding  $Q_{OOP}=12.9+20\log_{10}(\sigma)$  is valid for the metric HaarPSI considered in this study. This means that, knowing AWGN  $\sigma$  in advance or having its accurate estimate, one can easily determine the potential  $Q_{OOP}$ . One more important moment in automation of lossy compression of noisy images is prediction of OOP existence since, if OOP exists, we recommend compressing this image in OOP whilst, if OOP does not exist, we propose to compress the image using  $Q=Q_{OOP}-3$ . Our studies in [2] have shown that OOP existence can be predicted in advance for PSNR and visual quality metric PSNR-HVS-M. We compared the results for the metrics PSNR-HVS-M and HaarPSI and the conclusion is that, if OOP exists according to PSNR-HVS-M, it also exists for HaarPSI with a very high probability. Then, it is possible to apply the prediction procedure designed for PSNR-HVS-M to predict OOP existence for HaarPSI. Therefore, the automatic smart procedure of lossy compression is the following: 1) estimate AWGN variance if needed; 2) calculate  $Q_{OOP}$ ; 3) predict OOP existence for this  $Q_{OOP}$ ; 4) apply compression using  $Q_{OOP}$  if, according to prediction, OOP exists or employ  $Q=Q_{OOP}-3$ , otherwise.

**The main results:** We have demonstrated that OOP is possible according to the visual attention metric HaarPSI for noisy color and grayscale images compressed by the BPG coder.

### References

1. Bellard.org. (2018). *BPG image format*. <https://bellard.org/bpg/>
2. Kovalenko, B., Lukin, V., & Vozel, B. (2023). BPG-based lossy compression of three-channel noisy images with prediction of optimal operation existence and its parameters. *Remote Sensing*, 15(6), 1669. <https://doi.org/10.3390/rs15061669>

UDC 004.8: 621.355.4

### МЕТОД ЕМБЕДДИНГУ ДЛЯ АНАЛИЗУ СТАНУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Dr.Sci. В. Слюсар<sup>1</sup>[0000-0002-2912-3149], С. Почернін<sup>2</sup>[0000-0002-4804-3259],

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України, Україна

EMAIL: <sup>1</sup>swadim@ukr.net, <sup>2</sup>sergiomrc28@gmail.com

### EMBEDDING METHOD FOR BATTERY STATE ANALYSIS

Dr.Sci. V. Slyusar, S. Pochernin

Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the  
Armed Forces of Ukraine, Ukraine

**Abstract.** This paper presents an embedding-based approach for assessing the state of lithium-ion batteries in a wide range of technical systems, with a particular focus on unmanned platforms. The proposed method introduces an integral battery health vector that combines state of charge, state of health, remaining useful life, and diagnostic features into a multidimensional embedding space. The approach enables clustering, anomaly detection, and short-term forecasting of battery degradation. As a novel extension, the application of the Fast Fourier Transform to temporal analysis of embedding trajectories is proposed, allowing spectral classification and subsequent noise filtering. Application within a multi-agent energy management system for UAVs and UGVs illustrates the practical feasibility of this method.

**Keywords:** lithium-ion battery, embedding vector, state of charge, state of health, remaining useful life, fast fourier transform, multi-agent system.

**Анотація.** У роботі запропоновано підхід на основі ембеддингу для оцінки стану літій-іонних акумуляторів у технічних системах, зокрема безпілотних платформах. Інтегральний вектор, що поєднує показники працездатного стану та діагностичні ознаки, проектується в ембеддинговий простір для класифікації, виявлення аномалій і прогнозування деградації. Застосування швидкого перетворення Фур'є забезпечує спектральну класифікацію та фільтрацію шумів. Приклад застосування у мультиагентній системі

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*енергетичного менеджменту для БпЛА та НРК підтверджує практичну придатність підходу.*

**Ключові слова:** літій-іонний акумулятор, ембеддинговий вектор, показники працездатного стану, швидке перетворення Фур'є, мультиагентна система

Energy autonomy of unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned ground vehicles (UGVs) critically depends on reliable battery state assessment. Traditional methods, relying on isolated parameters such as State of Charge (SoC) or internal resistance, are insufficient for comprehensive forecasting and real-time decision-making under dynamic conditions [1]. To overcome these limitations, we propose an integral health vector that unifies key diagnostic indicators with internal resistance, temperature, and impedance features. This vector is projected into an embedding space, where the relative position of each state allows for clustering, anomaly detection, and trend analysis [2]. The embedding representation shifts battery diagnostics from isolated thresholds to a multidimensional geometric interpretation. Each vector point corresponds to a unique technical condition, while distances quantify the similarity of operational states. The method also supports the definition of criticality measures such as the Critical Distance Metric, which enables early identification of transitions toward failure [3]. This compact yet information-rich form serves as an integral index of battery health and facilitates robust decision-making.

To enhance this framework, the application of the Fast Fourier Transform (FFT) to temporal trajectories of the embedding vector is used. This technique separates long-term degradation trends from short-term fluctuations caused by noise or impulsive loads. The resulting spectral signatures enable more robust clustering and classification, while filtering high-frequency noise improves the stability of embedding trajectories. Thus, FFT strengthens both anomaly detection and forecasting. Within a multi-agent energy management system, the embedding representation serves as the core diagnostic layer. Sensor agents collect telemetry, embedder agents project the state vector, classifier agents detect normal or critical states, predictor agents forecast trajectories, and decision agents adjust mission strategies such as rerouting or drone replacement [4]. Operating on embedding vectors rather than raw values makes the system scalable and adaptive. Compared with threshold-based diagnostics, the embedding

approach improves interpretability, enables adaptive retraining, and supports real-time use on lightweight edge devices [5]. The integration of FFT extends these benefits, adding spectral indicators that enhance resilience to noise and provide early-warning capabilities. The embedding vector thus functions as a compact, integral index of battery health. Combined with FFT analysis, it supports clustering, anomaly detection, and degradation prediction. This makes the approach suitable for unmanned systems where reliable energy management and adaptive allocation are essential. Future work should expand datasets under realistic conditions and integrate embedding diagnostics with digital twins for dynamic mission-level support.

### **References**

1. Saha, B., & Goebel, K. (2009). *Battery data set*. NASA Ames Prognostics Data Repository.
2. Li, W., Rentemeister, M., Badedo, J., Jöst, D., Schulte, D., & Sauer, D. U. (2020). Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation. *Journal of Energy Storage*, 30, 101557. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101557>
3. Zhang, X., Jiang, J., Zhang, C., & others. (2021). Remaining useful life prediction of lithium-ion batteries based on neural network embedding space. *IEEE Access*, 9, 72147–72156. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079844>
4. Slyusar, V., Kozlov, V., Pochernin, S., & Nalapko, I. (2025). Conceptual foundations of the swarm employment of unmanned aerial vehicles as intelligent means of electronic warfare. *Technology Audit and Production Reserves*, 3/2(83), 71–80. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.329989>
5. Zhao, J., Zhu, Y., Zhang, B., Liu, M., Wang, J., Liu, C., & Hao, X. (2023). Review of state estimation and remaining useful life prediction methods for lithium-ion batteries. *Sustainability*, 15(6), 5014. <https://doi.org/10.3390/su15065014>

УДК 004.9

## **ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ В САЕ - СИСТЕМІ**

**Dr.Sci. О. Тарасов** <sup>1</sup> [0000-0002-0493-1529], **Ph.D. Л. Васильєва** <sup>2</sup> [0000-0002-9277-1560],  
**Ph.D. О. Алтухов** <sup>1</sup> [0000-0002-6310-3272]

<sup>1</sup>Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

<sup>2</sup>Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана,  
Україна

EMAIL: alexandrtar50@gmail.com

## USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK TO INCREASE MODELING EFFICIENCY IN CAE SYSTEM

Dr.Sci. O. Tarasov<sup>1</sup>, Ph.D. L. Vasylieva<sup>2</sup>,  
Ph.D. O. Altukhov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Donbas State Engineering Academy, Ukraine

<sup>2</sup>Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine

**Анотація.** У роботі досліджується використання згорткових нейронних мереж для прогнозування параметрів заготовки під час пластичної деформації на основі даних CAE-моделювання. Запропонований підхід дозволяє суттєво скоротити час розрахунків, замінюючи довготривалий аналіз моделюванням коротких часових рядів. Ефективність рішення підтверджено точністю до 98% та пришвидшенням оптимізації процесів обробки тиском.

**Ключові слова:** CAE, метод скінченних елементів, штучна нейронна мережа, прогнозування, напружено-деформований стан.

**Abstract.** The paper investigates the use of convolutional neural networks to predict workpiece parameters during plastic deformation based on CAE modeling data. The proposed approach significantly reduces the calculation time, replacing long-term analysis with short-term time series modeling. The solution's effectiveness is confirmed by accuracy up to 98% and acceleration of optimization of pressure processing processes.

**Keywords:** CAE, finite element method, artificial neural network, forecasting, stress-strain state.

Використання систем автоматизованого інженерного аналізу і моделювання (CAE) у багатьох випадках замінило фізичні методи дослідження завдяки застосуванню методу скінченних елементів (МСЕ) [1, 2, 3]. Але розрахунки з використанням МСЕ потребують значного часу для отримання необхідного рішення [2]. Дослідники розглядають різні підходи до використання штучних нейронних мереж (ШНМ). Так, в [4] підкреслюється, що згорткова нейронна мережа (ЗНМ) ефективно справляється з багатовимірними задачами.

Тому в даному дослідженні вирішується задача прогнозування зміни значень параметрів заготовки під час пластичної деформації за допомогою штучних нейронних мереж на основі моделі, створеної для використання в CAE - системі.

Розроблена штучна нейронна мережа поєднує два етапи виконання. Спочатку аналізується навчальний часовий ряд  $(x_t, y_t)$ , отриманий при

моделюванні в САЕ-системі. На основі аналізу цього ряду ми використовуємо ІНМ для оцінки того, як змінюються параметри системи з часом. На другому етапі ми застосовуємо побудовану мережу для прямого прогнозування та оцінки її точності. Водночас, для зменшення витрат на виконання аналізу розрахункових даних у системі САЕ, цей програмний модуль об'єднує задані етапи в єдиний алгоритм виконання. Він навчає мережу на існуючих даних і переходить до прогнозування заданої кількості кроків моделювання у часі, обчислюючи деформацію в заданих точках заготовки. Слід одразу зазначити, що чим більший період часу для прогнозування, тим більше вхідних кроків потрібно мережі для підтримки точності результату.

Розроблений програмний модуль [3] використовує архітектуру згорткової нейронної мережі. Вхідні дані – це пакет багатовимірних часових рядів  $X \in \{T, F\}$ , де  $T = 3$  – кількість часових кроків, а  $F = 5$  – кількість параметрів на кожному часовому кроці. Специфіка навчання включає: початкове навчання з 400 епохами, що досягає точності до 98% приблизно за 3 хвилини; оптимізоване навчання з 60–100 епохами, що скорочує час навчання приблизно до 1 хвилини з точністю 89–98%; рання зупинка базується на мінімумі середньоквадратичного відхилення (RMSE), щоб уникнути перенавчання.

Для перевірки швидкості розробленого програмного пакету та прогнозованих результатів точності розробляли модель процесу обробки заготовки, вказавши властивості матеріалу та схему впливу. Після цього отримували з САЕ-системи дані часткового аналізу для реалізації прогнозування змін стану заготовки на їх основі. Для дослідження точності отриманої моделі використовували прогноз змін значень у точках заготовки з попередньо розрахованими даними та визначали похибку отриманого результату.

В результаті моделювання було виявлено, що цикл часткового аналізу та формування прогнозу значно коротші, ніж час повного аналізу напружено-деформованого стану у САЕ-системі. Програмний пакет та САЕ-система суттєво пришвидшують перевірку багатьох варіантів процесу обробки металів тиском під час його оптимізації.

### **Література**

1. Tarasov, A. F., Altukhov, A. V., Gribkov, E. P., & Abdulov, A. R. (2019). Development and FEM modeling of a new severe plastic deformation process

according to the reverse shear scheme. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2019, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/8563830>

2. Tarasov, O. F., Altukhov, O. V., & Vasylieva, L. V. (2024, December). Development of the modeling system core for severe plastic deformation processes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1415(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012072>

3. Tarasov, O., Vasylieva, L., Altukhov, O., Pavlenko, D., & Tkach, D. (2023). Development of integrated CAD/CAE systems based on parameterization of the simulated process. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 679–691). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36201-9\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36201-9_56)

4. Saha, I., Gupta, A., & Graham-Brady, L. (2024, February). Prediction of local elasto-plastic stress and strain fields in a two-phase composite microstructure using a deep convolutional neural network. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 421, 116816. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2024.116816>

УДК 004.8

## **МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ ЯК ІНДИКАТОРІВ ЦИФРОВОЇ ВТОМИ**

**Р. Віт** <sup>[0009-0009-6958-4730]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. О. Мазурець** <sup>[0000-0002-8900-0650]<sup>2</sup></sup>

*Хмельницький національний університет, Україна*

EMAIL: <sup>1</sup>vit.roman.vit@gmail.com, <sup>2</sup>exe.chong@gmail.com

## **METHOD FOR DETECTING COMMUNICATION OBJECTS AS INDICATORS OF DIGITAL FATIGUE**

**R. Vit, Ph.D. O. Mazurets**

*Khmelnitskyi National University, Ukraine*

**Анотація:** У роботі представлено метод виявлення комунікаційних об'єктів як індикаторів цифрової втоми. Запропонований підхід поєднує виділення іменованих сутностей та ключових слів із цифрових текстів, що дозволяє визначати не лише тематичні акценти, але й суб'єктів, які можуть спричиняти перевантаження. Метод забезпечує комплексне формування цільових об'єктів для подальшого аналізу проявів цифрового вигорання у комунікаційному середовищі.

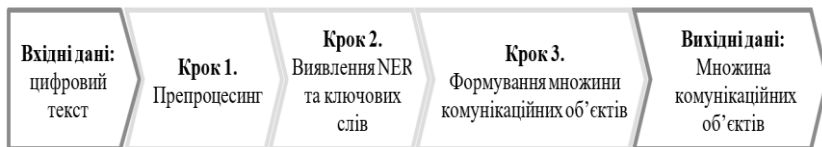
**Ключові слова:** цифрова втома, цифрове вигорання, NLP, комунікаційні об'єкти, NER

**Abstract:** The thesis presents a method for identifying communication objects as indicators of digital fatigue. The proposed approach combines the extraction of named entities and keywords from digital texts, which allows identifying not only

*thematic accents, but also subjects that can cause overload. The method provides a comprehensive formation of target objects for further analysis of manifestations of digital burnout in the communication environment.*

**Keywords:** *digital fatigue, digital burnout, NLP, communication objects, NER*

Цифрова втома є зростаючою проблемою сучасного інформаційного суспільства, що виникає внаслідок інтенсивного використання цифрових технологій та комунікаційних платформ [1]. Її прояви пов'язані не лише з кількістю інформації, але й зі специфікою взаємодій між користувачами. Тому важливим завданням стає виявлення комунікаційних об'єктів, які можуть виступати індикаторами перевантаження та цифрового вигорання. Запропонований метод (рис. 1) дозволяє комплексно аналізувати цифрові тексти, виокремлювати ключові об'єкти взаємодії та використовувати їх як маркери стану цифрової втоми.



**Рисунок 1.** Кроки методу виявлення комунікаційних об'єктів як індикаторів цифрової втоми

Запропонована схема ілюструє метод формування множини комунікаційних об'єктів із цифрового тексту. Вхідними даними є цифровий текст, який на першому кроці проходить попередню обробку, що включає лематизацію та видалення стоп-слів [2].

Далі на кроці 2 здійснюється пошук іменованих сутностей за допомогою бібліотеки Stanza та виявлення ключових слів кількома незалежними підходами (TF-IDF, TF, YAKE!, дисперсна оцінка). Таке поєднання забезпечує комплексність аналізу та зменшує залежність від обмежень окремого підходу. Методи TF та TF-IDF ефективні для виявлення часто вживаних і водночас інформативних термінів. Алгоритм YAKE! дозволяє автоматично знаходити ключові фрази без попередніх знань про предметну область. Застосування дисперсної оцінки робить можливим виокремлення слів із високою варіативністю, що є ознакою їхньої значущості у контексті. У поєднанні з пошуком

NER ці методи формують більш збалансовану та репрезентативну множину комунікаційних об'єктів. На кроці 3 відбувається інтеграція результатів: комунікаційні об'єкти визначаються як об'єднана множина ключових слів, знайдених різними методами, без повторів, та множини іменованих сутностей, згрупованих шляхом лематизації. Таким чином формується вихідна множина комунікаційних об'єктів, що може бути використана як індикатор цифрової втоми.

Отже, сформована множина комунікаційних об'єктів може бути використана не лише як індикатор цифрової втоми, але й як елемент додаткової поясненості результатів аналізу. Її застосування дозволяє простежити, які саме комунікаційні елементи відіграють ключову роль у виникненні перевантаження, а також підвищує інтерпретованість моделей, що використовуються для дослідження цифрового вигорання. Це створює підґрунтя для більш глибокого розуміння механізмів цифрової взаємодії та підвищує довіру до автоматизованих аналітичних систем.

#### **Література**

1. Supriyadi, T., Sulistiasih, S., Rahmi, K. H., Fahrudin, A., & Pramono, B. (2025). The impact of digital fatigue on employee productivity and well-being: A scoping literature review. *Environment and Social Psychology*, 10(2). <https://doi.org/10.59429/esp.v10i2.3420>
2. Slobodzian, V., Molchanova, M., Kovalchuk, O., Sobko, O., Mazurets, O., Barmak, O., & Krak, I. (2022). An approach based on the visualization model for the Ukrainian web content classification. In *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 400–405). IEEE. <https://doi.org/10.1109/acit54803.2022.9913162>

UDC 004.85

### **SYNTHESIS OF A 3-LAYER NEURAL NETWORK CLASSIFIER WITH THE BITHRESHOLD FIRST HIDDEN LAYER**

**Ph.D. V. Kotsovsky** <sup>[0000-0002-7045-7933]<sup>1</sup></sup>, **T. Lisovska** <sup>[0009-0002-3620-7719]<sup>2</sup></sup>,  
**V. Sabadosh** <sup>[0009-0006-9933-444X]<sup>3</sup></sup>

*Uzhhorod National University, Ukraine*

*EMAIL:*<sup>1</sup>[vladyslav.kotsovsky@uzhnu.edu.ua](mailto:vladyslav.kotsovsky@uzhnu.edu.ua), <sup>2</sup>[t.lisovska@uzhnu.edu.ua](mailto:t.lisovska@uzhnu.edu.ua),

<sup>3</sup>[volodymyr.sabadosh@uzhnu.edu.ua](mailto:volodymyr.sabadosh@uzhnu.edu.ua)

**СИНТЕЗ 3-ШАРОВОГО НЕЙПРОМЕРЕЖЕВОГО  
КЛАСИФІКАТОРА З ПЕРШИМ ПРИХОВАНИМ ШАРОМ З  
БІТОВИМ ПОРОГОМ**

**Ph.D.B. Коцовський, Т. Лісовська, В. Сабадош**

*Ужгородський національний університет, Україна*

**Abstract.** A novel hybrid 3-layer neural network model is proposed whose first hidden layer consists of bithreshold neurons, and the second hidden layer employs the softmax activation function. This model is intended to solve multiclass classification tasks. A supervised synthesis algorithm is designed for this neural network architecture. It consists of two stages. The performance of the proposed model is compared with that of several popular machine learning classifiers on a real-world dataset. Simulation results on “optical recognition of handwritten digits” benchmark demonstrate that the developed neural network model is suitable for multiclass classification tasks.

**Keywords:** Bithreshold neural unit, classification, machine learning.

**Анотація.** Пропонується нова гібридна 3-шарова нейронна мережа, перший прихований шар якої складається з біпорогових нейронів, а другий прихований шар використовує активаційну функцію softmax. Ця модель призначена для вирішення завдань багатокласової класифікації. Для цієї архітектури нейронної мережі розроблено алгоритм керованого синтезу. Він складається з двох етапів. Ефективність запропонованої моделі порівнюється з ефективністю декількох популярних класифікаторів машинного навчання на реальних даних. Результати моделювання на тестовому наборі даних «оптичне розпізнавання рукописних цифр» демонструють, що розроблена нейронна мережа підходить для завдань багатокласової класифікації.

**Ключові слова:** біпороговий нейронний блок, класифікація, машинне навчання.

Multithreshold approach was developed for the binary classification of multidimensional patterns [1, 2]. Binary valued bithreshold neurons [3] as well as their multithreshold generalizations [4] are capable to increase the recognition ability of a neural network [5] by the proper use of additional thresholds [3, 4, 5]. Moreover, the application of multithreshold neural networks in pattern classification may significantly reduce the network complexity [5].

It should be noted that all known approaches to the learning or synthesis multithreshold multilayer neural models have relied on offline or batch learning modes. The *objective of the present research* is the design of the model of bithreshold neural network (NN) suitable for the online learning.

The key feature of the proposed classifier model is its hidden layer consisting of binary-valued bithreshold neurons. Let us consider a model of such a neuron. It is a binary-valued computational unit [3] with a *weight vector*  $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n) \in \mathbf{R}^n$  and two thresholds  $t_1, t_2$  ( $t_1 < t_2$ ), whose single bipolar output  $y$  is obtained by applying the following activation function

$$f_{t_1, t_2}(s) = \begin{cases} +1, & \text{if } t_1 \leq s < t_2, \\ -1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

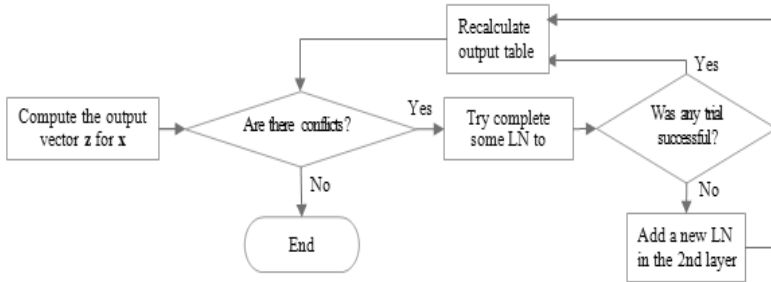
to the weighted sum  $\mathbf{w} \cdot \mathbf{x} = w_1 x_1 + \dots + w_n x_n$ .

Consider a neural-like multilayer feed-forward model of 3-layer classifier. The first hidden layer (i.e., the first network layer after its input layer, which is not taken into account) must consist of neurons that provide the desired separation of training patterns. This layer contains bipolar-valued bithreshold nodes as well as single-threshold ones. Let  $N$  be the number of these nodes. Then, the first layer performs a mapping from  $\mathbf{R}^n$  to  $\{-1, 1\}^N$ .

The second hidden layer contains  $M$  nodes and serves as a bridge between the bithreshold and the output layers. It is constructed using the output table that is associated with the first hidden layer and can be considered as an  $M \times N$  bipolar matrix  $V$  consisting of unique rows  $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_M$ , where  $M$  is a number of rows each of which is an  $N$ -dimensional bipolar vector containing outputs of all first-layer neurons. It is evident that  $M \leq \min\{m, 2^N\}$ .

The (third) output layer of classifier traditionally contains as many nodes as the number of distinct classes. It uses the linear neural units without biases and activation functions. The last layer weight matrix  $U = (u_{ki})$ , ( $k = 1, \dots, K, i = 1, \dots, M$ ) is predefined as follows:  $u_{ki} = 1$  if  $i \in I_k$ , otherwise,  $u_{ki} = 0$ . The synthesis algorithm consists of two stages. The first stage is most important and consists in the separation of the representatives of every class. During this stage, the current input pattern  $\mathbf{x}_i$  ( $i = 2, \dots, m$ ) must be separated from the patterns that belong to other classes and have already been processed during the synthesis procedure. The conceptual scheme of this process is illustrated in Figure 1.

The process begins by computing the output vector  $\mathbf{z}_i$ , which consists of the outputs of all neurons that have already been included in the first layer. If no conflict occurs (i.e.,  $\mathbf{z}_i \neq \mathbf{z}_j$  for all  $j$  such that  $1 \leq j < i$  and  $y_j \neq y_i$ ), then no changes are required. Otherwise, an additional action is necessary to resolve conflicts for some patterns  $\mathbf{x}_i$  and  $\mathbf{x}_j$  such that  $\mathbf{z}_i = \mathbf{z}_j$  and  $y_j \neq y_i$ .



**Figure 1.** Flowchart of the main operation of the first stage of the synthesis

First, the synthesis system attempts to resolve conflict between  $i$ th and  $j$ th patterns without inserting new nodes in the first layer. It checks whether there exists a single-threshold neural unit  $\text{LN}(\mathbf{w}, t)$  that can be extended to a  $\text{BN}(\mathbf{w}, t_1, t_2)$  with some new threshold  $t_1$  and  $t_2$ , in such way that  $f_{t_1, t_2}(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i) \neq f_{t_1, t_2}(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_j)$  and the replacement of  $\text{LN}(\mathbf{w}, t)$  with  $\text{BN}(\mathbf{w}, t_1, t_2)$  does not cause any conflict among already separated patterns  $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{i-1}$ . If it is impossible, then the algorithm proceeds by adding a new single-threshold neuron  $\text{LN}(\mathbf{w}, t)$  in the layer, where  $\mathbf{w} = 2(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)$ ,  $t = \|\mathbf{x}_i\|^2 - \|\mathbf{x}_j\|^2$ .

The second stage of the synthesis algorithm aims to simplify the first layer of the network by eliminating redundant neurons and duplicate rows in the output matrix  $V$ . This stage results in an  $N \times n$  real matrix  $W$ —weight matrix of the first network layer, as well as in  $M \times N$  bipolar matrix  $V$ —weight matrix of the second network layer. The binary  $K \times M$  weight matrix  $U$  of the output layer is defined in the previous page.

**References**

1. Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
2. Jiang, N., Yang, Y. X., Ma, X. M., & Zhang, Z. Z. (2007). Using three layer neural network to compute multi-valued functions. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Neural Networks* (ISNN 2007), Part III (LNCS, Vol. 4493, pp. 1–8). Nanjing, China: Springer.
3. Kotsovsky, V., & Batyuk, A. (2022). Feed-forward neural network classifiers with bithreshold-like activations. In *Proceedings of the IEEE 17th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2022)* (pp. 9–12). Lviv, Ukraine: IEEE.
4. Kotsovsky, V. (2024). Learning of multi-valued multithreshold neural units. *CEUR Workshop Proceedings*, 3688, 39–49.
5. Kotsovsky, V., & Batyuk, A. (2023). Multithreshold neural units and networks. In *Proceedings of the IEEE 18th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2023)* (pp. 1–5). Lviv, Ukraine: IEEE.

УДК 004.043:691:389.6

**DATA COLLECTION FOR THE STORAGE SYSTEM OF  
MODIFIED SOLUTIONS OPERATIONAL PROPERTIES**  
**Ph.D. S. Grishin<sup>1</sup>[0000-0002-1933-9552], Dr.Sci. E. Shinkevich<sup>2</sup>[0000-0002-2842-1785]**

<sup>1</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine

<sup>2</sup> Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

EMAIL: grishin\_si@ukr.net, elena\_shinkevich@ukr.net

**ЗБІР ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДИФІКОВАНИХ  
РОЗЧИН**

**Ph.D. С. Гришин<sup>1</sup>, Dr.Sci. О. Шинкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет «Одеська політехніка», Україна

<sup>2</sup> Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна

**Abstract.** The feasibility of using the Data Lakehouse solution for integrating data on the properties of fine-grained multifunctional concrete compositions is substantiated.

**Keywords:** Data Warehouse, Data Lake, unstructured data.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Анотація.** Обґрунтовано доцільність використання рішення *Data Lakehouse* для інтеграції даних щодо властивостей складів дрібнозернистих бетонів поліфункціонального призначення.

**Ключові слова:** *Data Warehouse, Data Lake, неструктуровані дані.*

Integration of the results of experimental and statistical studies of the properties of mixtures and concretes with various plasticizers in the classic Data Warehouse allows us to solve the problem of analyzing the visualization of 12-dimensional dependencies using a group of one-, two- and three-dimensional representations of information [1]. Providing information on existing compositions and multifunctional modifiers expands the field of choice by assessing the competitiveness of the composition.

However, the ability of a researcher to obtain the full experimental data that the system is designed for is usually limited by the volume of his own results. External results are commercial or intellectual property and are published in aggregate form.

The experience of developing Big Data storage facilities can help solve the problem of collecting information on experimental studies. As is known, one of the main 5 V-signs of Big Data is Variety, i.e. the presence of different types of data, in this case unstructured text and graphic.

A Data Lake storage containing various types of data enables researchers to use primary data obtained from publications to evaluate their own results and train models. But the most convenient solution for analytics is a hybrid solution (Lakehouse), which is a combination of Data Lake (raw data) and Data Warehouse (structured data) in a single platform for BI and machine learning. This solution seems appropriate for expanding the decision support system for selecting compositions of modified solutions.

In our opinion, the practical tasks of expanding the system's functions are:

- data search in information sources;
- loading information into the system using the ELT pattern;
- transformation of textual information into structured information;
- graphic information storage;
- assembly and visualization of patterns of group graphic information for multifactorial analysis.

### **References**

1. Grishin, S., Shinkevich, E., & Surkov, A. (2023, September 21–23). Delivering results of analysis of operational properties of modified solutions to

decision makers. In *Proceedings of the XI International Conference "Information Control Systems & Technologies"* (pp. 63–65). Odessa, Ukraine: NU "OMA".

UDC 004.932

**IMAGE MATCHING METHOD FOR AUTONOMOUS  
NAVIGATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**  
**Dr.Sci. L. Akhmetshina<sup>1</sup>(0000-0002-5802-0907), A. Nesterenko<sup>2</sup>(0000-0002-0620-3963)**

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine  
EMAIL: <sup>1</sup>akhmlu1@gmail.com, <sup>2</sup>an.nestere@gmail.com

**МЕТОД СПІВСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ  
НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Dr.Sci. Л. Ахметшина, А. Нестеренко**

*Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Україна*

**Abstract.** A new method for comparing images of the earth's surface is presented, aiming to enable autonomous determination of geographic coordinates and navigation of an aerial vehicle. This method is based on a modified convolutional neural network. These networks are able to detect multi-level complex features in images, which allows finding and comparing significant similarities between images, ignoring the viewing angle, distance, color correction, etc. The proposed method relies on using a reference set of photographic data and comparing a test image with it. The reference set and the test image are compressed into representative feature vectors, which allows achieving high speed of comparison process.

**Keywords.** digital image, convolutional neural network, aerial image matching

**Анотація.** Представлено новий метод співставлення зображень поверхні землі з метою визначення географічних координат та забезпечення автономної навігації літальних апаратів. Метод базується на модифікованій згорткової нейронної мережі. Ці мережі здатні виявляти багаторівневі складні ознаки на зображеннях, що дозволяє знаходити та порівнювати суттєві подібності між зображеннями, ігноруючи кут обзору, дистанцію, корекцію кольорів та ін. Запропонований метод полягає у використанні референтного набору фотографічних даних і порівнянні тестового зображення із ним. Референтний набір та тестове зображення стискаються у репрезентативні вектори ознак, що дозволяє досягти великої швидкості процесу співставлення.

**Ключові слова.** цифрове зображення, згорткова нейрона мережа, співставлення повітряних фотознімків

An efficient solution to the problem of matching images of the earth's surface obtained using an aircraft camera and/or satellite photography could provide the possibility of autonomous geolocation. The problem of navigation based solely on comparison of optical data is a complex task, which has not been solved yet. This report discusses a new method for matching in-flight aircraft images with an existing dataset using a convolutional neural network based on the ResNet architecture [1], in conjunction with an additional method for detecting anomalous objects. The presented approach allows assembling a features array for the reference images and estimate their proximity to the in-flight image. This enables finding and comparing essential features between images, while ignoring the angle of view, distance, color correction, etc. Anomaly detection process is based on the convolutional autoencoder described in [2].

The method includes following steps:

1. Development of a convolutional neural network based on the ResNet50 architecture, in which the fully connected classification layers were replaced with a 1x256 embedding layer, its output being the compressed feature vector;

2. The fine-tuning of this neural network with training dataset that contains various aerial images using the Triplet Loss function [3]. Random rotations and zooming were applied to these images for the purpose of achieving invariance with respect to such differences;

3. Assembling of a reference dataset containing satellite images of a certain geographical region, where each image contains its exact coordinates. These images are then processed by the neural network described above. A feature vector is formed for each of the images;

4. The test images are analyzed by an autoencoder [2], those containing anomalous objects of interest are then processed by the proposed neural network. Each of the resulting vectors is compared to the reference vectors array using mean square difference. The minimal distance between two vectors indicates a geographic match.

As an experiment (Figure 1), the neural network was fine-tuned using 2500 training images and tested using 1600 reference and 250 test images. Of the 250 test images, 28 were correctly recognized as containing potential objects of interest. Of these, 24 were successfully matched with their corresponding reference images.



**Figure 1.** Examples of the method's operation: (a) test image, (b) correctly found matching image ( $S = 0.886$ ), (c) mismatched image ( $S = 0.506$ )

#### References

1. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 770–778.
2. Akhmetshina, L., & Nesterenko, A. (2024). Analysis of aerial images using a convolutional autoencoder. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, (3), 117–124.
3. Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 815–823.

УДК 004.8

#### ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ПСИХОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ СОЦІАЛЬНО-НЕБЕЗПЕЧНОЇ ПОВЕДІНКИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ОНЛАЙН-КОМУНІКАЦІЙ ЗАСОБАМИ NLP

О. Овчарук<sup>[0009-0008-3815-0035]</sup><sup>1</sup>, Ph.D. О.Мазурець<sup>[0000-0002-8900-0650]</sup><sup>2</sup>

Хмельницький національний університет, Україна  
EMAIL:<sup>1</sup>off4aruk@gmail.com, <sup>2</sup>exe.chong@gmail.com

#### HYBRID APPROACH TO DETECT PSYCHOLOGICAL FACTORS OF SOCIALLY DANGEROUS BEHAVIOR BASED ON ONLINE COMMUNICATION ANALYSIS USING NLP

О. Ovcharuk, Ph.D. O.Mazurets  
Khmelnytskyi National University, Ukraine

**Анотація:** У роботі пропонується гібридний підхід до виявлення соціально-небезпечної поведінки в онлайн-комунікації на основі NLP та психолінгвістичного аналізу текстів. Пропонується інтеграція моделей емоційного та поведінкового профілю користувача з лексико-синтаксичними та семантичними ознаками, що дозволить формувати ризиковий індекс поведінки. Підхід дозволить забезпечити ранню ідентифікацію потенційно небезпечних патернів у цифрових комунікаціях, що може застосовуватись у сфері кібербезпеки, освітніх середовищах та для підтримки психологічного моніторингу.

**Ключові слова:** соціально-небезпечна поведінка, онлайн-комунікація, NLP

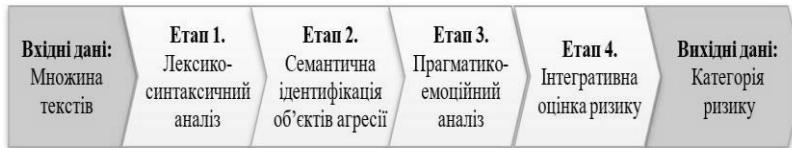
**Abstract:** The thesis proposes a hybrid approach to detecting socially dangerous behavior in online communication based on NLP and psycholinguistic text analysis. The integration of models of the user's emotional and behavioral profile with lexical-syntactic and semantic features is proposed, which will allow the formation of a risk index of behavior. The approach will allow for early identification of potentially dangerous patterns in digital communications, which can be used in the field of cybersecurity, educational environments and to support psychological monitoring.

**Keywords:** antisocial behavior, online communication, NLP

У сучасних умовах цифровізації суспільства значна частина комунікації переміщується в онлайн-простір, що зумовлює появу нових форм соціальної взаємодії, зокрема таких, які можуть нести потенційну небезпеку для суспільства. Соціально небезпечна поведінка в онлайн-дискурсі проявляється не лише через психоемоційний стан індивіда, а й через його комунікативні наміри, вербальні дії та стратегії впливу. Використання методів обробки природної мови у поєднанні з психолінгвістичним аналізом відкриває можливості для комплексного вивчення агресивних, загрозливих чи насильницьких висловлювань у цифровій комунікації [1]. Розробка гібридних моделей, що інтегрують семантичні, прагматичні та дискурсивні параметри, є актуальним завданням, спрямованим на раннє попередження потенційно небезпечних соціальних дій [2]. Схема підходу наведена на рис. 1.

У запропонованому підході ідентифікація соціально небезпечної поведінки здійснюється шляхом багаторівневого аналізу користувацьких текстів. На першому етапі проводиться лексико-синтаксичний розбір, спрямований на виявлення загрозливих висловлювань та імперативних конструкцій. Далі здійснюється семантична ідентифікація об'єктів агресії, що дозволяє визначити

цільові групи або інституції, проти яких спрямовані комунікативні акти.



**Рисунок 1.** Етапи підходу до виявлення соціально-небезпечної поведінки

Наступний етап передбачає прагматико-емоційний аналіз, орієнтований на оцінку інтенсивності вираження емоцій та ступеня ескалації вербальної агресії [3]. Завершальним компонентом є інтегративна оцінка ризику, що поєднує результати попередніх рівнів у єдиний індекс і дає змогу класифікувати текст за категоріями ризику. Таким чином, забезпечується перехід від аналізу формальних мовних ознак до комплексної інтерпретації комунікативних намірів, що дозволяє прогнозувати потенційно небезпечну поведінку.

Отже, інтегративна оцінка ризику дозволяє не лише виявляти потенційно агресивні висловлювання, а й прогнозувати рівень їхньої соціальної небезпеки. Практичне застосування такої моделі можливе у сфері моніторингу соціальних мереж, автоматизованих системах модерації контенту, у діяльності правоохоронних органів, освітніх і медіаінституцій, а також у психолінгвістичній діагностиці.

### **Література**

1. Krak, I., Ovcharuk, O., Mazurets, O., Molchanova, M., Sobko, O., Tyschenko, O., & Barmak, O. (2025). Method for post-traumatic stress disorder manifestation analyzing in text content. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3976, pp. 206–218). <https://ceur-ws.org/Vol-3976/paper15.pdf>
2. Krak, I., Sobko, O., Molchanova, M., Tymofiiiev, I., Mazurets, O., & Barmak, O. (2024). Method for neural network cyberbullying detection in text content with visual analytic. In *CS&SE@SW* (pp. 298–309). <https://ceur-ws.org/Vol-3917/paper57.pdf>
3. Inamdar, S., Chapekar, R., Gite, S., & Pradhan, B. (2023). Machine learning driven mental stress detection on Reddit posts using natural language processing. *Human-Centric Intelligent Systems*, 3(1), 80–91. <https://doi.org/10.1007/s44230-023-00020-8>

UDC 620.1

**ПІДХІД НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ  
МУЛЬТИФІЗИЧНОГО МОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ  
ДИНАМІЧНИХ ЧАСТИН МАШИН**

**В. Гаркуша**<sup>1[0000-0001-5980-4802]</sup>, **Dr.Sci. Г. Мартиненко**<sup>2[0000-0001-5309-3608]</sup>

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут», Україна*

EMAIL: <sup>1</sup>ladyslav.Harkusha@infiz.khpi.edu.ua, <sup>2</sup>Gennadii.Martynenko@khpi.edu.ua

**AI-DRIVEN APPROACH WORKFLOW FOR MULTI-PHYSICS  
MODAL ANALYSIS OF DYNAMIC MACHINES PARTS**

**V. Harkusha, Dr.Sci. G. Martynenko**

*National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute, Ukraine*

***Анотація.** Метод скінченних елементів (FEM) дозволяє проводити точні інженерні симуляції, але залишається обчислювально інтенсивним, особливо для мультифізичних задач. Інтеграція технологій штучного інтелекту (AI), таких як сурогатні моделі та фізично-інформовані нейронні мережі (PINN), прискорює аналіз, зберігаючи точність. Фреймворк AI-FEM на базі Python/TensorFlow у системах CAD/CAM, таких як ANSYS, може ефективно прогнозувати поведінку конструкцій, скорочуючи час обчислень і підвищуючи масштабованість для складних інженерних завдань.*

***Ключові слова:** мульти-фізичний аналіз, робочий процес на основі штучного інтелекту, PINN, прикладна механіка, модальний аналіз, динамічний аналіз.*

***Abstract.** Finite Element Method (FEM) enables accurate engineering simulations but remains computationally intensive, especially for multi-physics problems. Integrating Artificial Intelligence (AI) techniques such as surrogate models and Physics-Informed Neural Networks (PINNs) accelerates analysis while maintaining accuracy. A Python/TensorFlow-based AI-FEM framework within CAD/CAM systems like ANSYS can predict structural behavior efficiently, reducing computation time and enhancing scalability for complex engineering tasks*

***Keywords:** multi-physics analysis, AI-driven workflow, PINN, applied mechanics, modal analysis, dynamic analysis.*

Nowadays each engineering project hard to imagine run without calculations based on already classic Finite Element method. FEM provides approach to detect near-real values of physics parameters in structural

element and its materials based on elements meshed web with acceptable accuracy in CAD/CAN tools which provides way to create elements mesh net. However, FEM approach usage requires expensive computer or complex computation station with huge amount of computation resources which even today might have limits and blockers to solve specific tasks. Moreover, it still takes time to calculate shape and material properties of engineering construction.

Tasks may have increased solving time when had tried to check not only specific construction or its parts but also its interaction with existed environment because engineering structures rarely exist isolated. For such examples related thermo-dynamic analysis like thermal expansion in electronics or piezo-electric effects in sensors. For such analysis useful follow multi-physics approach. Multi-physics workflow capable of solving coupled partial differential equations that provide a more precise representation of real-world phenomena. Also, for related to multi-physics tasks are dynamic modal analysis. Although, every multi-physics analysis will have additional calculation time because of requirement to have near real-world environment values shown in equations.

As alternative way to accelerate mentioned before tasks is to use artificial intelligent approach or data-driven workflow which will create not only solving environment for structure calculation but also will create a solution which will learn specific domain-related features. Specifically, integration with AI models like surrogate models, physics informed neural networks (PINN) which in pair with FEM might predict model transient evolution of the melt pool large thermal gradients described in study [1]. Suggested model predicted temperature with 7% error and tracked melt pool size less 1% deviation and faster calculation process in compare with common FEM approach. Thus, synergy of AI-enhancement modules with CAD/CAN systems which provides FEM mesh net for calculations may increase calculation speed of dynamic analysis which take amount of time according to its complexity where needed to predict construction natural frequency, frequency fluctuations, structure impact to other parts or machines related to it. As perspective solution to create AI module for such CAD/CAN systems like ANSYS created with programming Python language. As a core of AI part selected TensorFlow [2] framework with linear regression and in combine with PINN networks which has good limits according to laws of physics. As input information AI module anticipates structure parameters like material properties and structure definitions. As

output depends on task returns for example total deformation value of dynamic mechanism. Solution will give a hand for engineers to create better structures at model developing time without iteration of solving which takes most of time to analyse each. Other challenge comes is approach complexities because for creation architecture for AI-FEM integration necessity to need following components: multi-physics FEM solver, AI-powered modules, physical systems and emulated data. Suggested architecture provides full-ended pipeline to rapidly predicted values like structure total deformation or joints probes of complex structures. Also proposed modular approach provides good scalability across domains and gives tuning possibility regarding specific tasks.

### **References**

1. Yeh, H. P., Bayat, M., Arzani, A., & Hattel, J. H. (2024). Accelerated process parameters selection of polymer-based selective laser sintering via hybrid physics-informed neural network and finite element surrogate modelling. *Applied Mathematical Modelling*, 130, 693–712.
2. Géron, A. (2019). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems* (2nd ed.). Farnham, UK: O'Reilly UK Ltd.

УДК (043)004.94

## **КОМПЛЕКСНА НЕЙПРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ CNN&LSTM ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ СОНЛИВОСТІ ЛЮДИНИ ЗА ЇЇ ОБЛИЧЧЯМ**

**Ph.D. A. Ніколенко**<sup>1</sup>[0000-0002-9849-1797], **Dr.Sci. O. Арсірій**<sup>2</sup>[0000-0001-8130-9613],  
**Dr.Sci. C. Антошук**<sup>3</sup> [0000-0002-9346-145X], **Ph.D. O. Бабілуंगा**<sup>4</sup> [0000-0001-6431-3557]  
<sup>1,2,3,4</sup> Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: anatolyn@ukr.net<sup>1</sup>, e.arsiriy@gmail.com<sup>2</sup>, asgonpu@gmail.com<sup>3</sup>,  
babilunga.onpu@gmail.com<sup>4</sup>

## **A COMPLEX CNN&LSTM NEURAL NETWORK MODEL FOR DETERMINING A PERSON'S DROWSINESS STATE BY THEIR FACE**

**Ph.D. A. Nikolenko, Dr.Sci. O. Arsirii, Dr.Sci. S. Antoshchuk,**  
**Ph.D. O. Babilunga**  
*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

***Анотація.** Проаналізовано проблему визначення сонливості людини у системах допомоги водієві та системах комп'ютерного зору, що пов'язані з промисловою безпекою. Запропоновано архітектуру комплексної моделі CNN&LSTM для визначення стану сонливості людини за кадрами обличчя з використанням показників, розрахованих за допомогою MediaPipe Face Mesh. Дослідження CNN&LSTM показали підвищення точності визначення сонливості людини на 3%.*

***Ключові слова:** системи комп'ютерного зору, системи допомоги водієві, CNN, LSTM, стан сонливості, MediaPipe Face Mesh, бінарна класифікація.*

***Abstract.** The problem of determining human drowsiness in driver assistance systems and computer vision systems related to industrial safety is analysed. The architecture of a complex CNN&LSTM model is proposed to determine the state of human drowsiness from facial frames using indicators calculated using MediaPipe Face Mesh. CNN&LSTM studies have shown an increase in the accuracy of determining human drowsiness on 3%.*

***Keywords:** computer vision systems, advanced driver assistance systems, CNN, LSTM, drowsiness state, MediaPipe Face Mesh, binary classification.*

Розпізнавання стану сонливості людини за зображеннями обличчя є актуальним у системах комп'ютерного зору, що пов'язані з безпекою на транспорті та з промисловою безпекою у таких сферах як металургія, хімічна промисловість, енергетика, тощо, коли втомлена людина є джерелом підвищеного ризику. Основними недоліками таких систем є досить низька точність розпізнавання стану сонливості за кадрами та відеопослідовностями з обличчям людини, складність та незручність використання додаткових датчиків та перевантаження інтерфейсів систем зайвою інформацією [1]. Аналіз наукових джерел показав, що точність розпізнавання стану сонливості людини у сучасних системах комп'ютерного зору залежить від якості моделей нейронних мереж та алгоритмів машинного навчання, які є основними складовими таких систем. Встановлено, що поєднання згорткових нейронних мереж (англ. Convolutional Neural Network, CNN) з іншими типами нейронних мереж дозволяє покращити результати розпізнавання [2]. Поєднання переваг CNN для розпізнавання закритих очей в одному кадрі зображення обличчя з моделлю довгої короткочасної пам'яті (англ. Long Short-Term Memory, LSTM) дозволяє виявити процес повільного закриття очей протягом кількох кадрів у відеопослідовності та підвищити точність вирішення задачі бінарної класифікації стану

сонливості. Тому метою роботи є розробка комплексної нейронної мережевої моделі CNN&LSTM для підвищення точності визначення стану сонливості людини за зображеннями обличчя та відеопослідовностями з додаванням показників, розрахованих MediaPipe Face Mesh. Для досягнення зазначеної мети запропоновано архітектуру комплексної моделі нейронної мережі CNN&LSTM, яка поєднає багатопланову CNN – для аналізу контексту зображень обличчя та LSTM – для аналізу послідовних даних про стан сонливості людини у часі. Підвищення точності визначення стану сонливості людини відбувається за рахунок запропонованого підходу коли за відеопослідовностями після обробки CNN додатково на вход LSTM передаються значення показників, що розраховані за 3D-моделлю поверхні обличчя, створеної на основі регресійного аналізу [3] з використанням відкритої бібліотеки комп'ютерного зору та машинного навчання від Google MediaPipe. Таким чином, при використанні запропонованої комплексної моделі розглядаються два потоки вхідних даних, а саме: потік зображень кожного кадру відеопослідовності (224×224×3, масштабовані RGB-зображення) та потік показників, що оновлюються кожні 10 кадрів – EAR, MAR, PUC, MOE – розрахованих за допомогою MediaPipe Face Mesh [4]. Нейромережева модель CNN&LSTM реалізована мовою Python за допомогою Keras/TensorFlow у середовищі Google Colab.

Проведено комп'ютерний експеримент з використанням набору даних Drowsiness Detection Dataset version 1 [5] для порівняння точності розпізнавання сонливості людини з використанням комплексної моделі CNN&LSTM та іншими аналогічними моделями. Показано, що результати використання комплексної моделі CNN&LSTM покращили точність розпізнавання стану сонливості людини на 3%.

### **Література**

1. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. (2024). *Driver assistance technologies: Drowsy driving*. <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving>
2. Mienye, I. D., Swart, T. G., Obaido, G., Jordan, M., & Ilono, P. (2024). *Deep convolutional neural networks: A comprehensive review*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202408.1288.v1>

3. Sukno, F., Waddington, J., & Whelan, P. (2012). 3D facial landmark localization using combinatorial search and shape regression. In A. Fusiello, V. Murino, & R. Cucchiara (Eds.), *Computer vision – ECCV 2012. Workshops and demonstrations* (Lecture Notes in Computer Science, vol. 7583, pp. 171–180). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33863-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33863-2_4)

4. Google. (2025). *MediaPipe solutions guide*. <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide>

5. Patil, P. V. (2020). *Drowsiness detection dataset*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/prasadvpatil/mrl-dataset>

УДК 621.382

**ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ ПРИ  
ВІДБРАКУВАННІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ЗАВАДОСТІЙКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ**  
Д. Кошутіна<sup>1</sup>[0009-0004-1326-8775], Dr.Sci. Г. Щербаківа<sup>2</sup>[0000-0003-0475-3854]

<sup>1</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>d.v.koshutina@op.edu.ua, <sup>2</sup>galina.sherbakova@op.edu.ua

**DETERMINATION OF FAILURE RATE DURING REJECTION OF  
ELECTRONIC PRODUCTS USING FAULT-RESISTANT  
CLUSTERIZATION**

**D. Koshutina, Dr.Sci. G. Shcherbakova**  
National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine

**Анотація.** Розроблено метод визначення інтенсивності відмов  $\lambda$  для експоненційного розподілу оцінки надійності при виборі компонентів для електронної апаратури шляхом відбраковування та описано етапи цього методу. Метод випробування на прикладі відбракування резисторів за рівнем шуму. Підвищення заводостійкості та достовірності процедури відбраковування досягається за рахунок застосування адаптивної кластеризації з використанням вейвлет перетворення. Цей результат дозволяє рекомендувати розроблений метод при відборі виробів електронної техніки, призначених для апаратури відповідального призначення.

**Ключові слова:** Електронні компоненти, параметри надійності, адаптивна кластеризація, вейвлет-перетворення, заводостійкість, експоненціальний розподіл, малі дані, зашумлені дані.

**Abstract.** A method for determining the failure rate  $\lambda$  for the exponential distribution of reliability assessment when selecting components for electronic equipment by rejection is developed and the stages of this method are described. The

*method is tested on the example of rejection of resistors by noise level. Increasing the noise immunity and reliability of the rejection procedure is achieved by applying adaptive clustering using wavelet transform. This result allows us to recommend the developed method for the selection of electronic products intended for critical equipment.*

**Keywords:** *Electronic Components, Reliability Parameters, Adaptive Clustering, Wavelet Transform, Noise Immunity, Exponential Distribution, Small Data, Noisy Data.*

При виробництві виробів електронної техніки (BET) часто необхідно відібрати для апаратури важливого призначення більш надійні BET, для чого необхідно вибрати модель оцінки надійності та оцінити її параметри. Найчастіше оцінюють надійність BET та пристроїв на їх основі за допомогою експоненційного розподілу з одним параметром – інтенсивністю відмов  $\lambda$ . При цьому припущення про сталість  $\lambda$  у часі підвищує похибку прогнозів надійності порівняно з двопараметричними розподілами. Тому за допомогою експоненційного розподілу рекомендується проводити відносну оцінку надійності на етапі ескізного проектування, коли необхідно оцінити надійність різних варіантів, і на підставі аналізу вибрати елементну базу [1]. Для виявлення та видалення BET з дійсними та потенційними відмовами з готової партії до постачання споживачеві проводять відбракувальні випробування під час вихідного контролю. Для оцінки відповідності відібраних BET вимогам споживача параметри їх надійності оцінюються, як правило, у процесі прискорених цензурованих випробувань. Тривалість таких випробувань значно менша за реальну довговічність BET; у зв'язку з високою надійністю BET вони проводяться для малої частини вибірки і тому супроводжуються значною похибкою через високу дисперсію оцінки, яка ще й збільшується за рахунок наявності шуму в даних про надійність (об'єктивних і суб'єктивних помилок при їх зборі та обліку). За таких досліджень, наприклад, у процесі прискорених випробувань інтегральних схем (IC) на довговічність виявлено, що  $\lambda$  має бімодальний характер (перший пік характеризує відмови аномальних IC, а другий – відмови основної частини вибірки); при цьому середній час безвідмовної роботи для цих груп IC може відрізнитись на чотири порядки. У подібній ситуації для підвищення завадостійкості і зниження похибки оцінки параметрів надійності при відбракуванні

потенційно ненадійних ВЕТ необхідно підвищити завадостійкість і підвищити достовірність поділу партії ВЕТ на дві групи. Стан ВЕТ при контролі та відбракуванні описується значенням їх параметрів, які змінюються від об'єкта до об'єкта, а в процесі випробувань – і в часі. Коли ці параметри залежні між собою, що притаманно для багатьох ВЕТ, при поділі ВЕТ застосовують автоматизований підхід, який реалізують за допомогою відомого методу розпізнавання образів – статистичної класифікації. Така класифікація складається з двох етапів – кластеризації та класифікації. Методи кластеризації використовуються для розбиття на кластери ВЕТ, а методи статистичної класифікації - для прийняття рішення при оцінці параметрів надійності. У процесі кластеризації при відбракуванні серед випробуваних ВЕТ потрібно виділити дві компактні підгрупи (кластери) із загальними властивостями та різним ступенем монотонності залежності контрольованих параметрів від напрацювання на відмову. Оцінити швидкість зміни параметрів ВЕТ кластера можливо, застосовуючи адаптивний підхід, коли початкові параметри центрів кластерів визначаються з аналізу попереднього часу. ВЕТ поділяють на кластери за ознакою компактності параметрів за допомогою оптимізації функціоналу якості. Метод оптимізації вибирають з урахуванням властивостей цього функціоналу якості, який може бути явно не відомий, може мати поверхню багатоекстремальну, зашумлену, оскільки відбракування може проводитися за малими вибірками. Методи кластеризації, засновані на градієнтному пошуку, у цих умовах не забезпечують достатньої завадостійкості. Для зниження впливу цих недоліків пропонується застосувати метод кластеризації з використанням вейвлет-перетворення (ВП), що дозволяє проводити кластеризацію з низькою похибкою при високому рівні перешкод у даних та малих обсягах вибірок [2].

Метою роботи є розробка методу визначення параметрів надійності партії ВЕТ для підвищення завадостійкості та достовірності відбракування за допомогою адаптивної кластеризації з ВП та процедури реалізації цього методу.

Завдання полягає в наступному. Нехай є  $N$  об'єктів (ВЕТ), кожен з яких характеризується набором з  $k$  параметрів. Вектор  $x_j(t) = (x_j^1(t), x_j^2(t), \dots, x_j^k(t))$  характеризує стан об'єкта  $j$  в момент часу  $t$ . Це означає, що взаємне розташування точок в просторі

параметрів відображає реальну класифікацію (групування за параметрами) досліджуваних об'єктів. Для виявлення цієї структури використовується метод кластеризації з ВП [1]. З його допомогою при відбракуванні в момент часу  $t_1$  проводиться поділ даних на 2 кластери. Далі кожної з двох груп оцінюється інтенсивність відмов [1]. Пропонований метод випробуваний для партії резисторів, призначених для апаратури відповідального призначення [1, 2].

В якості параметрів, на відміну від роботи [2] використано рівень шуму. Дані першого контролю (через 24 години роботи у навантаженому режимі) розділені за допомогою адаптивної кластеризації на 2 кластери, що включили: перший – групи з 1 по 8, другий – 9 групу за рівнем шуму [2]. Розраховані значення інтенсивності відмов склали відповідно  $\lambda_1 = 0,37 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  - при відсутності відбракування,  $\lambda_2 = 0,21 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  - для резисторів першого кластера і  $\lambda_3 = 0,2 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$  для резисторів другого кластера.

Розроблено метод визначення інтенсивності відмов  $\lambda$  для експоненційного розподілу оцінки надійності при відбракуванні ВЕТ та процедура реалізації цього методу. Метод випробуваний на прикладі відбракування резисторів за рівнем шуму. Підвищення завадостійкості та достовірності процедури відбракування досягається за рахунок застосування у цьому методі ітеративного методу адаптивної кластеризації з використанням вейвлет перетворення. Цей результат дозволяє рекомендувати розроблений метод при відборі виробів електроніки для апаратури відповідального призначення.

### **Література**

1. Strelnikov, V., & Strelnikov, P. (2022). Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. *Mathematical Machines and Systems*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10238-022-00904-7>
2. Shcherbakova, G., Antoshchuk, S., Koshutina, D., Sakhno, K., & Kondratiev, S. (2024). Adaptive clustering for distribution parameter estimation in technical diagnostics. In *Proceedings of the International Conference on Applied Innovation in IT*, 12(1), 123–127. <https://doi.org/10.25673/115650>

UDC 004.896

## ЕФЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ТЕКСТУ З ВИКОРИСТАННЯМ TF-IDF ТА ML.NET У КОРПОРАТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Д. Цибань<sup>1</sup>[0009-0001-2661-9034], Ph.D. І. Кобилін<sup>2</sup>[0000-0002-4552-9616],  
Ph.D. О. Кобилін<sup>3</sup>[0000-0003-0834-0475]

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>dmytro.tsyban@nure.ua, <sup>2</sup>ilya.kobylin@nure.ua, <sup>3</sup>oleg.kobylin@nure.ua

## EFFECTIVE TEXT ANALYSIS USING TF-IDF AND ML.NET IN ENTERPRISE ENVIRONMENTS

D. Tsyban, Ph.D. I. Kobylin, Ph.D. O. Kobylin  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

**Анотація** У цій статті ми досліджуємо реалізацію алгоритму TF-IDF (частота термінів – обернена частота документів) для текстового аналізу в екосистемі Microsoft .NET з використанням ML.NET. Експоненціальне зростання текстових даних вимагає ефективних аналітичних методів, а TF-IDF служить базовим методом для кількісної оцінки важливості слів. Ми виділяємо переваги ML.NET для корпоративних середовищ, представляючи його як надійну альтернативу рішенням на основі Python.

**Ключові слова.** TF-IDF, аналіз тексту, ML.NET, обробка природної мови, екосистема .NET, машинне навчання, порівняння продуктивності.

**Abstract.** In this paper, we explore the implementation of the Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) algorithm for text analytics within the Microsoft .NET ecosystem using ML.NET. The exponential growth of textual data necessitates effective analytical methods, and TF-IDF serves as a foundational technique for quantifying word importance. We highlight the advantages of ML.NET for enterprise environments, presenting it as a robust alternative to Python-based solutions.

**Keywords.** TF-IDF, Text Analysis, ML.NET, Natural Language Processing, .NET Ecosystem, Machine Learning, Performance Comparison.

In this modern age, with text data growing at an exponential rate, we urgently need effective ways to organize and analyze it. Things like customer feedback, social media posts, and technical documents contain valuable insights, and pulling them out is crucial for making smart decisions. One of the most important techniques for this is Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) – it quantifies a word's importance

within a document, serving as a foundation for information retrieval and classification.

While Python dominates the field of natural language processing, the Microsoft .NET ecosystem offers significant benefits for businesses, especially in terms of integration and performance. This paper shows how ML.NET, a machine learning framework for .NET developers, lets you implement TF-IDF and other text analysis algorithms. We prove that ML.NET is a real alternative to Python-based solutions, allowing organizations to tap into the power of text analytics without having to change their existing technology stack.

Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) is a statistical measure extensively utilized in natural language processing (NLP) and information retrieval for determining the relative importance of terms within a document in comparison to a larger document corpus. Unlike basic word frequency methods, which may disproportionately highlight frequently occurring terms, TF-IDF incorporates criteria that adjust the weighting of terms, emphasizing their utility in distinguishing between documents within the corpus.

The TF-IDF method operates by combining two key components: Term Frequency (TF) and Inverse Document Frequency (IDF). Term Frequency quantifies how often a specific word appears in a document, while Inverse Document Frequency measures the word's significance across the entire corpus by reducing the weight of terms that appear frequently in multiple documents. The product of these two metrics results in a score that effectively identifies terms that are both locally significant within a document and globally distinctive across the corpus.

$$TF(t, d) = \frac{N_t}{\sum_{w \in d} N_w}, \quad (1)$$

where  $N_t$  is the number of times the term appears in a document;  $N_w$  is the number of all words (terms) in a document.

$$IDF(t, D) = \log\left(\frac{D}{Nd_t}\right), \quad (2)$$

where  $D$  is a corpus, the number of documents;  $Nd_t$  is the number of documents in the corpus contain the term.

$$TFIDF(t, d, D) = TF(t, d) \times IDF(t, D) \quad (3)$$

Limitations of IDF Alone:

IDF does not take into account the frequency of a term within an individual document;

a term may be uncommon in the corpus (resulting in a high IDF) but still hold little relevance in a particular document due to its low occurrence (low TF).

Implementing TF-IDF in the .NET and Python ecosystems offers distinct approaches tailored to each environment. In .NET, developers typically leverage ML.NET, which uses a pipeline-based approach for text processing. The built-in `FeaturizeText` transformer handles the entire process, from data preparation to creating TF-IDF vectors, without requiring manual calculations.

This level of abstraction simplifies the workflow and ensures a type-safe, integrated solution ideal for large-scale enterprise applications. However, this convenience comes with a trade-off: it gives you less direct control over the finer details of the TF-IDF computation.

Python, on the other hand, relies heavily on the scikit-learn library and its `TfidfVectorizer` class. This approach is highly flexible, allowing developers to fine-tune various hyperparameters like n-gram ranges and smoothing techniques, which is perfect for research and experimentation.

While it offers more hands-on control, deploying Python-based models in a production environment often requires additional steps, such as integrating with frameworks like Flask or FastAPI to serve the models as APIs. In short, ML.NET prioritizes seamless integration and ease of use for enterprise contexts, while scikit-learn in Python is all about flexibility and control for data science and research (Table 1).

Individually, TF and IDF have inherent limitations, which are mentioned in details below. However, when combined in the TF-IDF calculation, these components balance local and global importance, effectively highlighting the most meaningful terms. Limitations of TF Alone:

TF does not reflect the overall significance of a term across the entire corpus;

frequently occurring words, such as "the", "and", "a / an" etc., may receive high TF scores, yet they do not effectively differentiate documents.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

**Table 1.**

Key Differences and Considerations: ML.NET vs. Scikit-learn

| Aspect                                          | .NET (ML.NET)                                        | Python (Scikit-learn)                                            |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Abstraction vs. Control                         | High-level automation with minimal manual processing | Fine-grained control over tokenization and feature extraction    |
| Performance                                     | Compiled execution for better speed in production    | Interpreted, making it more suitable for experimentation         |
| Deployment                                      | Seamlessly integrates into enterprise solutions      | Requires additional frameworks for model serving                 |
| Customization                                   | Limited control over TF-IDF computation              | Extensive parameter tuning and NLP preprocessing options         |
| Supported Algorithms Count<br>Installation Time | ~30-40                                               | ~80-100 (classification, regression, clustering, etc.)           |
| Model Training Speed                            | ~5-15 sec (via NuGet package manager)                | ~0.4 sec on a benchmark dataset                                  |
| Documentation Volume                            | ~0.3 sec on a comparable dataset                     | ~500 pages of comprehensive online documentation and discussions |
| GPU/Hardware Acceleration                       | Offers limited in-built GPU acceleration (~20%)      | Relies on external projects (0%)                                 |

UDC 004.891

**ХМАРНА СИСТЕМА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ  
ВИЯВЛЕННЯ ШАХРАЙСТВА**

**В. Носов**<sup>1[0009-0003-5841-8995]</sup>, **Ph.D. К. Островська**<sup>2[0000-0002-9375-4121]</sup>

*Український державний університет науки і технологій, Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>valex.nosov@gmail.com, <sup>2</sup>kuostrovskaya@gmail.com*

## CLOUD-BASED MACHINE LEARNING SYSTEM FOR FRAUD DETECTION

V. Nosov, Ph.D. K. Ostrovska

Ukrainian State University of Science and Technologies, Ukraine

**Анотація.** У роботі представлено архітектуру багаторівневої хмарної системи в AWS для виявлення шахрайських транзакцій у режимі реального часу. Конвеєр інтегрує автокодувальники та IP Insights для виявлення аномалій, а також LightGBM для підсумкової класифікації за рівнями ризику. Транзакція розглядається як ключова аналітична сутність. Запропонований підхід спрямований на зменшення кількості хибнопозитивних результатів, забезпечення масштабованості та низької затримки, що робить його ефективним рішенням для e-commerce і фінансових сервісів.

**Ключові слова:** LightGBM, автокодувальники, IP Insights, AWS SageMaker AI, e-commerce

**Abstract.** The work presents the architecture of a multi-layer serverless system in AWS for real-time transaction fraud detection. The pipeline integrates autoencoders and IP Insights for anomaly identification, as well as LightGBM for final risk-level classification. The transaction is considered the key analytical entity. The proposed approach is aimed at reducing false positives, ensuring scalability and low latency, making it an effective solution for e-commerce and financial services.

**Keywords:** LightGBM, autoencoders, IP Insights, AWS SageMaker AI, e-commerce

Стрімке зростання обсягів безготівкових платежів зумовлює підвищення ризиків у сфері фінансової безпеки. Більшість шахрайських випадків припадає на онлайн-транзакції, що підтверджується статистикою Європейського центрального банку [1] та Національного банку України [2]. Традиційні антифрод-рішення на основі правил і порогових механізмів дедалі складніше підтримувати ефективними, оскільки вони потребують постійного оновлення та вразливі до нових автоматизованих атак. Це актуалізує необхідність застосування методів машинного навчання у сучасних системах виявлення шахрайства.

У роботі змодельовано архітектуру хмарної безсерверної системи, побудованої на AWS. Її основу становить конвеєр, що поєднує автокодувальники для виявлення прихованих закономірностей у даних транзакцій, IP Insights для аналізу поведінкових зв'язків користувачів

із відповідними мережевими адресами та алгоритм LightGBM для остаточної класифікації за рівнями ризику.

Подібний підхід активно розглядається в сучасних дослідженнях [3], де поєднання методів виявлення аномалій і градієнтного бустингу демонструє високу ефективність у зменшенні хибнопозитивних результатів. Таким чином, система інтегрує контрольовані та неконтрольовані методи навчання, формуючи гібридний підхід до оцінювання ризику.

Транзакція розглядається як ключова аналітична сутність, що містить, зокрема, геолокацію, параметри пристрою та браузера, а також дані торговця. У запропонованій архітектурі для навчання й розгортання моделей використовується AWS SageMaker; обробку запитів у реальному часі забезпечує AWS Lambda; історичні дані зберігаються в Amazon S3; моніторинг здійснюється через Amazon CloudWatch.

Запропонована архітектура орієнтована на масштабованість і гнучкість. Серед її переваг здатність адаптуватися до змінюваних патернів шахрайства, підвищена точність класифікації завдяки поєднанню методів та низька затримка ухвалення рішень.

Таким чином, у роботі окреслено архітектурну концепцію багаторівневої системи машинного навчання для виявлення шахрайства, яка завдяки інфраструктурі AWS забезпечує продуктивність, масштабованість і практичну придатність для фінансової сфери. Подальші дослідження передбачають підготовку наборів даних, налаштування гіперпараметрів і моделей та проведення порівняльного аналізу з альтернативними підходами, зокрема бустинговими моделями.

### **Література**

1. European Central Bank. (2024). *Report on payment fraud*. European Banking Authority. [https://www.ecb.europa.eu/press/intro/publications/pdf/ecb.Ebaecb202408\\_en.pdf](https://www.ecb.europa.eu/press/intro/publications/pdf/ecb.Ebaecb202408_en.pdf)
2. National Bank of Ukraine. (2025, August 20). *Кількість випадків шахрайства з картками знизилася, збитки за ними – зросли*. <https://bank.gov.ua/ua/news/all/killist-vipadkiv-shahraystva-z-kartkami-znizilasya-zbitki-za-nimi--zrosli>
3. Grover, P., et al. (2022). *Fraud dataset benchmark and applications*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.14417>

УДК 004.8

**ПОЯСНЕНИЙ ПІДХІД НА ОСНОВІ ТРАНСФЕРНОГО  
НАВЧАННЯ VISION TRANSFORMERS ДО ВИЯВЛЕННЯ  
КУРІННЯ У ПУБЛІЧНИХ ПРОСТОРАХ**

**I. Кок**<sup>[0009-0000-1716-2207]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. О. Мазурець**<sup>[0000-0002-8900-0650]<sup>2</sup></sup>,  
**Ph.D. М. Молчанова**<sup>[0000-0001-9810-936X]<sup>3</sup></sup>

*Хмельницький національний університет, Україна*  
*EMAIL:*<sup>1</sup>*kokigorek03@gmail.com,* <sup>2</sup>*exe.chong@gmail.com,*  
*<sup>3</sup>m.o.molchanova@gmail.com*

**EXPLAINABLE APPROACH TO SMOKING DETECTION IN  
PUBLIC SPACES USING VISION TRANSFORMERS WITH  
TRANSFER LEARNING**

**I. Кок, Ph.D. O.Mazurets, Ph.D. M. Molchanova**  
*Khmelnitskyi National University, Ukraine*

**Анотація:** У статті представлено пояснений підхід до виявлення куріння у публічних просторах на основі трансферного навчання з використанням *Vision Transformers*. Метод передбачає часткову заморозку параметрів, аугментацію даних та візуалізацію Grad-CAM для підвищення точності й інтерпретованості. Експерименти на збалансованому датасеті з 1120 зображень показали точність 0.98, що перевищує існуючі моделі. Результати підтверджують надійність, прозорість і практичну придатність розробленого рішення.

**Ключові слова:** куріння у публічних місцях, *Vision Transformers*, Grad-CAM

**Abstract:** This paper presents an explainable approach to smoking detection in public spaces using transfer learning with *Vision Transformers*. The method employs partial parameter freezing, data augmentation, and Grad-CAM visualization to enhance both accuracy and interpretability. Experiments on a balanced dataset of 1,120 images demonstrate 0.98 accuracy, outperforming existing models. Results confirm the model's robustness, transparency, and applicability for real-world automated monitoring systems.

**Keywords:** smoking in public places, *Vision Transformers*, Grad-CAM

Тютюнопаління у публічних місцях є серйозною загрозою для здоров'я населення та потребує ефективного контролю. Забезпечення належного нагляду за дотриманням заборон на куріння є складним

завданням через обмеженість людських ресурсів. У цьому контексті особливої актуальності набувають автоматизовані системи комп'ютерного зору, здатні підвищити ефективність моніторингу й зменшити навантаження на персонал [1].

Метою проведеного дослідження є підвищення точності виявлення актив куріння шляхом використання трансферного навчання на основі архітектури Vision Transformers. Запропонований підхід має кілька ключових особливостей: застосовано часткову заморозку параметрів моделі, коли оптимізації підлягають лише ваги фінального класифікатора що дозволяє уникнути перенавчання та знизити обчислювальні витрати; інтегровано механізм Grad-CAM, який формує теплові карти й забезпечує поясненість рішень моделі, що підвищує довіру користувачів до результатів.

Методологія базується на поетапній обробці зображень: вхідні зразки розбиваються на патчі, які перетворюються у вектори та подаються до ViT-класифікатора. Вихідними даними є клас («Smoker» або «Non-Smoker»), числова оцінка й теплова карта, що відображає просторові області уваги моделі.

Експериментальна перевірка проводилася на збалансованому датасеті із 1120 зображень, що містив по 560 зразків для кожного класу.

Особливістю набору є висока візуальна схожість між класами, що ускладнює завдання класифікації. Реалізація була виконана у середовищі Python із використанням TensorFlow/Keras на платформі Google Colab. Результати експериментів підтвердили ефективність запропонованого підходу.

Досягнута точність класифікації становила Accuracy = 0.98, що перевищує показники аналогічних рішень: InceptionResNetV2 (0.969) [2] та YOLOv5-small (precision 0.935, recall 0.891) [3]. Аналіз теплових карт довів, що модель зосереджується на релевантних зонах, зокрема на обличчі, роті та цигарці, що засвідчує її поясненість і семантичну узгодженість прийнятих рішень.

Таким чином, розроблений метод забезпечує не лише високу точність, але й інтерпретованість результатів, що робить його придатним для застосування в реальних умовах автоматизованого контролю дотримання заборони на куріння у публічних просторах.

**Література**

1. Mazurets, O., Sobko, O., Dydo, R., Zalutska, O., & Molchanova, M. (2025). Augmented reality audiostream creation using CNN: Boosting inclusion and safety for visually impaired people. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 4004, pp. 347–361). <https://ceur-ws.org/Vol-4004/paper26.pdf>
2. Khan, A., Khan, S., Hassan, B., & Zheng, Z. (2022). CNN-based smoker classification and detection in smart city application. *Sensors*, 22(3), 892. <https://doi.org/10.3390/s22030892>
3. Li, Y., Zhou, H., Feng, J., Li, X., Xu, X., Hou, P., & Hu, X. (2024). An improved smoking behavior detection algorithm via incorporating an interference information filtering network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 136, 109050. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109050>

УДК 69:628.4:681.5:004

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ  
ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ  
ВІДХОДІВ ВІД ПОШКОДЖЕНИХ ІНФРАСТРУКТУРНИХ  
ОБ'ЄКТІВ**

**Dr.Sci. O. Arciriy<sup>1</sup> [0000-0001-8130-9613], Ph.D. O. Іванов<sup>2</sup> [0000-0002-8620-974X],  
К. Бєляєв<sup>3</sup> [0009-0001-7135-3562], М. Сініна<sup>4</sup> [0009-0002-8158-0897]**

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: e.arsiriy@gmail.com<sup>1</sup>, lesha.ivanoff@gmail.com<sup>2</sup>,*

*kirillbelyaev2921@gmail.com<sup>3</sup>, nsinina31@gmail.com<sup>4</sup>*

**INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGY FOR  
INVENTORY AND UTILIZATION OF CONSTRUCTION AND  
DEMOLITION WASTE FROM DAMAGED INFRASTRUCTURE  
FACILITIES**

**Dr.Sci. O. Arsirii, Ph.D. O. Ivanov, K. Bieliaiev, M. Sinina**  
*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У цьому дослідженні розглядається можливість підвищення ефективності інвентаризації та використання будівельних і демонтажних відходів під час відбудови пошкодженої інфраструктури, зокрема об'єктів, зруйнованих війною. Це досягається шляхом розробки інтелектуальної інформаційної технології (ІІТ), яка може бути реалізована як геоінформаційна система, що дозволяє ідентифікувати об'єкти інфраструктури.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*Інтелектуальний компонент ІІТ базується на використанні великих мовних моделей (LLMs) для аналізу зображень місць утворення відходів.*

**Ключові слова:** *будівельні та демонтажні відходи, LLMs, інтелектуальна інформаційна технологія, геоінформаційна система, штучний інтелект, реконструкція.*

**Abstract.** *This study examines the potential for enhancing the efficiency of inventory management and utilization of construction and demolition waste during the reconstruction of damaged infrastructure, including objects destroyed by war. This is achieved through the development of an intelligent information technology (ІІТ), which can be implemented as a geoinformation system, enabling the identification of infrastructure objects. The intelligent component of the ІІТ is based on the use of LLM to analyze images of waste generation sites.*

**Keywords:** *Construction and demolition waste, LLMs, intelligent information technology, geoinformation system, artificial intelligence, reconstruction.*

**Вступ.** У поточній геополітичній ситуації в Україні великомасштабна відбудова пошкоджених об'єктів інфраструктури, зокрема зруйнованих війною, має життєво важливе значення. Це, безсумнівно, вимагає високих витрат вітчизняних та інвестиційних первинних ресурсів. Під впливом цих чинників розробка інтелектуальної інформаційної технології (ІІТ) інвентаризації та утилізації будівельних та демонтажних відходів (БДВ) є надзвичайно важливою для підвищення ефективності використання відходів як вторинних ресурсів шляхом зменшення транспортних та інвестиційних витрат для обробки первинних ресурсів.

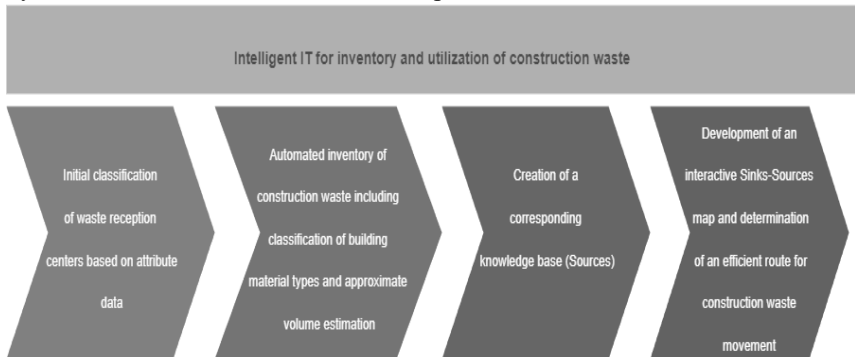
**Основна частина.** Автоматизований метод інвентаризації БДВ, заснований на порівняльному аналізі зображень об'єкта до і після руйнування з використанням LLM, складається з наступних етапів [1]:

- етап 1 – отримання зображень об'єкта інфраструктури до та після пошкодження/руйнування;
- етап 2 – аналіз зображень для класифікації БДВ (бетон, скло тощо);
- етап 3 – оцінка обсягу БДВ;
- етап 4 – застосування LLM як мультиінструменту для генерації звітів.

Таким чином, можна виділити наступні завдання, які можуть бути вирішені ІІТ для інвентаризації БДВ [1]:

- первинна класифікація центрів прийому відходів на основі атрибутивних даних, а також отримання їх геопросторових даних та створення відповідної бази знань для центрів прийому відходів (Sinks);
- автоматизована інвентаризація будівельних відходів на основі порівняльного аналізу зображень об'єктів інфраструктури до та після руйнування, включаючи класифікацію типів будівельних матеріалів та приблизну оцінку обсягу;
- створення відповідної бази знань для пошкоджених об'єктів інфраструктури (Sources) на основі атрибутивних та геопросторових даних;
- розробка інтерактивної карти «Sinks–Sources» та визначення ефективного маршруту переміщення будівельних відходів з метою створення вторинних ресурсів з БДВ.

Загальна концептуальна схема ІТ для аналізу та управління будівельними відходами показана на рис. 1 [1].



**Рисунок 1.** Концептуальна схема ІТ для інвентаризації та утилізації БДВ

Була спроектована та розроблена ГІС-версія для комплексного аналізу та інвентаризації БДВ, що розглянута у [2].

**Висновки.** Серед переваг цього дослідження – використання передових технологій, які дозволяють провести попередню, хоч і приблизну, оцінку типів та обсягів відходів від зруйнованого об'єкта інфраструктури. Запропонований метод, що базується на порівняльному аналізі зображень «до» і «після» з використанням LLM для візуальної інтерпретації, демонструє значний потенціал для

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

швидкої та ефективної класифікації матеріалів та оцінки обсягів відходів.

**Література**

1. Arsirii, O., Ivanov, O., Bielaiev, K., & Cudecka-Purina, N. (2025, in press). Intelligent information technology for inventory and utilization of construction and demolition waste from damaged infrastructure facilities. In L. David, Y. Kondratenko, V. Vychuzhanin, H. Yin, & N. Rudnichenko (Eds.), *Proceedings of the 13th International Conference "Information Control Systems & Technologies"*. CEUR. <https://ceur-ws.org/>
2. Arsirii, O. O., Cudecka-Purina, N., Ivanov, O. V., & Bielaiev, K. O. (2025). The intelligent information technology for construction waste analysis and management. *Herald of Advanced Information Technology*, 8(1), 87–99. <https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.6>

UDC 004.8:81'373:81'38

**ВИМІРЮВАННЯ ТЕКСТОВОЇ НАДЛИШКОВСТІ,  
ЛЕКСИЧНОГО БАГАТСТВА: БАГАТОМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД  
ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕКСТУ**

**Д. Цибань**<sup>1[0009-0001-2661-9034]</sup>, **Ph.D. І. Кобылін**<sup>2[0000-0002-4552-9616]</sup>,  
**Ph.D. О. Кобылін**<sup>3[0000-0003-0834-0475]</sup>

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*  
EMAIL: <sup>1</sup>dmytro.tsyban@nure.ua, <sup>2</sup>ilya.kobylin@nure.ua, <sup>3</sup>oleg.kobylin@nure.ua

**MEASURING TEXTUAL REDUNDANCY, LEXICAL RICHNESS: A  
MULTI-METRIC APPROACH TO TEXT EVALUATION**

**D. Tsyban, Ph.D. I. Kobylin, Ph.D. O. Kobylin**  
*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*

**Анотація** У цій статті представлено багатометричний підхід до оцінки якості тексту в епоху експоненціального зростання даних. Ми зосереджуємося на кількісній оцінці трьох ключових аспектів: текстової надлишковості, лексичної насиченості та правдивості. Використовуючи коефіцієнт водянистості, співвідношення типів і токенів та показник фактичної точності, наша структура надає комплексний метод оцінки лінгвістичних характеристик та інформаційної надійності в різних наборах даних.

**Ключові слова.** Аналіз тексту, оцінка тексту, надлишковість, коефіцієнт водності, лексичне багатство, лексична різноманітність, співвідношення типів і лексем

**Abstract.** *This paper presents a multi-metric approach to evaluating text quality in the age of exponential data growth. We focus on quantifying three key aspects: textual redundancy, lexical richness, and veracity. By using the Wateriness Coefficient, the Type-Token Ratio, and the Factual Accuracy Score, our framework provides a comprehensive method for assessing linguistic characteristics and informational reliability in various datasets.*

**Keywords.** *Text Analysis, Text Evaluation, Redundancy, Wateriness Coefficient, Lexical Richness, Lexical Diversity, Type-Token Ratio.*

The modern era of data generation has led to an exponential surge in textual information, from customer feedback and social media posts to technical documents, creating a pressing need for effective analytical methods. Extracting meaningful insights from this overwhelming volume of unstructured data is essential for informed decision-making. Simple word counting is no longer sufficient; a more nuanced approach is required to evaluate text holistically, considering its lexical richness, informational integrity, and rhetorical qualities. This paper proposes a multi-metric framework for comprehensive text evaluation, utilizing a variety of quantitative measures. We examine how the Wateriness Coefficient quantifies redundancy, the Type-Token Ratio and other lexical diversity indices measure vocabulary richness, and the Factual Accuracy Score assesses informational integrity. Additionally, we consider the Manipulation Score for detecting emotionally charged language and the Coherence Score for analyzing logical flow. By integrating these diverse metrics, we demonstrate how this comprehensive methodology can be applied across various domains, from digital communications to scientific analysis. This research aims to address key challenges in contemporary text analysis, highlighting the importance of a multifaceted approach to text quality assessment within existing analytical pipelines. The quantitative assessment of text is a key part of computational linguistics. A useful metric for this is the wateriness coefficient, also known as the stop word ratio. This measure specifically quantifies the redundancy in a text by calculating the proportion of common, low-meaning words (like "the" or "a") relative to the total word count. A high coefficient can signal diluted content or excessive wordiness, while a very low one might point to an overly terse style. Understanding this metric is valuable for everything from search engine optimization to academic writing analysis.

The calculation of the wateriness coefficient is based on a straightforward ratio. It requires defining a specific list of stop words, which are common words deemed irrelevant for particular analytical purposes (e.g., "the," "a," "is," "and"). The coefficient is then computed by dividing the count of such stop words found within a text by the total number of words in that text. This value is often expressed as a percentage for ease of interpretation.

The formula for the Wateriness Coefficient (WC) is formally defined as:

$$WC = \frac{N_{sw}}{N_w} \times 100\% \quad (1)$$

where:  $N_{sw}$  is the number of stop words, the count of words presents in the text that are also included in a predefined stop word list;

$N_w$  is the total count of all tokens (words) in the text.

It is crucial to recognize that the resulting coefficient is directly dependent on the specific stop word list employed. Different languages require distinct lists, and even within a single language, the composition of a stop word list can vary based on the analytical goal. For instance, a list used for general text analysis might differ from one tailored for domain-specific corpora where certain typically "stop" words might carry specialized meaning.

**Table 1.**

A general overview of how the wateriness coefficient might be interpreted across different ranges

| <b>Wateriness Coefficient Range</b> | <b>Potential Interpretation</b>                                          | <b>Implications</b>                                                                                              |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Below 30%                           | <u>Very low redundancy, potentially overly concise or terse</u>          | <u>Might lack grammatical flow; could be difficult to read; domain-specific (e.g., technical specifications)</u> |
| 30% - 50%                           | <u>Moderate redundancy, balanced use of functional and content words</u> | <u>Often found in well-structured informative or academic texts</u>                                              |
| 50% - 70%                           | <u>High redundancy, significant proportion of functional words</u>       | <u>Potentially verbose; could indicate diluted content or filler</u>                                             |
| Above 70%                           | <u>Excessively high redundancy</u>                                       | <u>Strongly suggests diluted informational value; potential for artificial length</u>                            |

Lexical diversity is a critical characteristic of text, providing insights into the richness and variety of vocabulary used within a document. In computational linguistics and textual analysis, the Type-Token Ratio (TTR) is one of the most fundamental and widely used metrics for quantifying this aspect of language. The TTR captures the relationship between the number of unique words (types) and the total number of words (tokens) in a given text. A word "token" is an instance of a word in the text, while a word "type" is a unique vocabulary item, irrespective of its frequency of occurrence. By quantifying this ratio, the TTR offers a measure of how repetitively vocabulary is used. A higher TTR generally indicates greater lexical diversity, suggesting a broader vocabulary and potentially more varied expression.

The calculation of the Type-Token Ratio is conceptually simple. It involves counting the total number of word tokens in a text and the number of unique word types. The ratio is then derived by dividing the number of types by the number of tokens. This result is typically presented as a decimal or multiplied by 100 to be expressed as a percentage.

The mathematical formula for the Type-Token Ratio (TTR) is:

$$TTR = \frac{V}{N} \quad (2)$$

where:  $V$  represents the number of unique word types in the text;

$N$  represents the total number of word tokens in the text.

For illustrative purposes, consider the brief sentence: "The cat sat on the mat". In this example, the tokens are "The", "cat", "sat", "on", "the", "mat", giving  $N = 6$ . The unique types are "The", "cat", "sat", "on", "mat", giving  $V = 5$ . Applying the formula, the TTR is  $5/6$ , or 83.3%. This simple calculation highlights how the ratio captures the proportion of unique words relative to the text's total length.

UDC 004.8

**МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ  
ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ**

**Ph.D. О. Потієнко** <sup>1</sup>[0000-0002-0952-2281](mailto:0000-0002-0952-2281), **Ph.D. С. Косенко** <sup>2</sup>[0000-0002-7082-5644](mailto:0000-0002-7082-5644)

*Національний університет "Одеська політехніка"*

*EMAIL: <sup>1</sup>[frumle@ukr.net](mailto:frumle@ukr.net); <sup>2</sup>[skosenko218@gmail.com](mailto:skosenko218@gmail.com)*

## MACHINE LEARNING-ASSISTED PARAMETER ESTIMATION IN OPTIMIZATION PROBLEMS

Ph.D. O. Potiienko, Ph.D. S. Kosenko

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** В роботі досліджується застосування методів машинного навчання, зокрема підходу символічної регресії, для процедури підгонки теоретичних моделей до експериментальних даних у фізиці високих енергій. У цій галузі дифракційні процеси описуються феноменологічними, нелінійними моделями з невідомими параметрами у багатовимірних просторах. Символьна регресія дозволяє отримати функціональні апроксимації процесів, що дає змогу отримати компактні та інтерпретовані аналітичні вирази, які можуть бути використані для оцінки початкових значень параметрів для пришвидшення та стабілізації класичних методів підгонки. З іншого боку, за умови нестачі експериментальних даних, цей метод також може бути застосовано в якості генератора псевдоданих для подальшого уточнення моделей.

**Ключові слова:** символічна регресія, оптимізація параметрів, мінімізація функцій, дифракційне розсіювання.

**Abstract.** In this thesis, we explore the application of machine learning approach of symbolic regression to facilitate the fitting procedure of theoretical models to experimental data in high-energy physics. In this field, the diffractive scattering processes are modeled phenomenologically using the non-linear models involving unknown parameters in high-dimensional spaces. Whereas, symbolic regression can reveal functional approximations of the process, offering compact and interpretable analytic expressions that can be used to obtain initial parameter estimates, thus accelerating and stabilizing classical fitting procedures. On the other hand, it can be used as a pseudo-data generator for further refinement in the absent of sufficient experimental data.

**Keywords:** symbolic regression, parameter optimization, function minimization, diffractive scattering.

Theoretical models in the natural sciences often contain unknown parameters that must be estimated from fits to experimental data. The non-linearity of a model, its high-dimensional parameter space, and the limited availability of data can make the fitting task particularly challenging. The result of fit may require multiple steps and depend on decisions about which parameters are fixed, which are varied, and how they are initialized at each

iteration. An interesting and illustrative example is the study of diffractive scattering processes in high-energy physics.

These processes are not well theoretically described from first principles and involve phenomenological models fitted to the experimental data. This standard tool for this task is the ROOT framework [1], developed at CERN, which includes the numerical minimization library MINUIT. This is powerful but rather low-level approach that often requires custom fitting strategy in non-trivial cases and manual initialization of the model parameters to be fitted, which itself can be a very challenging task. In this work, we explore how machine learning methods can be applied to develop alternative and potentially more efficient approaches to model fitting.

A particularly promising approach to this task is *symbolic regression* [2, 3], which aims to discover analytical expressions that best describe the underlying data. Unlike traditional neural networks, symbolic regression does not assume a fixed model structure, but searches over a space of mathematical expressions to find compact and interpretable formulas that fit the data. This approach is especially appealing in the context of phenomenological modeling, where the true functional form of the underlying process is not known from first principles as mentioned above. It can complement hand-crafted model components, potentially leading to new insights or simpler functional forms that retain physical meaning. Once such an expression is identified, it can be compared with the known model structure, so we can identify how the fitted coefficients relate to the parameters of our original model. This can be done analytically or numerically. Thus, the SR coefficients can serve as initial guesses for the corresponding parameters in the original model. This is much better than random or arbitrary initialization and can significantly improve the convergence of classical fitting methods by starting the minimization closer to the global optimum. Indeed, the expression obtained using symbolic regression may approximate the overall behavior and be structurally different from the original model, so the direct coefficient mapping is complicated. However, this intermediate model can still be used as a pseudo-data generator. Fitting the model to the SR-predicted values (rather than the raw data) with random parameter initialization can help identify reasonable parameter regions. After that, the parameters can be refined in the real fit to the true experimental data.

This can be especially useful for the case of low-mass diffraction at high energies due to the lack of experimental data in this kinematical region [4].

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

The preliminary implementation of the described approach has been applied by authors for the low-mass diffraction at high energies to calculate single diffraction differential cross-sections in proton-proton collisions at center of mass energy 2 – 8 GeV [4, 5].

**References**

1. Canal, P. (2025). *root-project/root: v6-36-04*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16944732>
2. Schmidt, M., & Lipson, H. (2009). Distilling free-form natural laws from experimental data. *Science*, 324, 81–85. <https://doi.org/10.1126/science.1165893>
3. Udrescu, S.-M., & Tegmark, M. (2019). *AI Feynman: A physics-inspired method for symbolic regression*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.11481>
4. Chudak, N., Potiienko, O., Zhuravel, D., & Riabov, D. (2025). Simulation of single diffraction dissociation in resonance region at LHC energies. *Ukrainian Journal of Physics*, 70(5), 287. <https://doi.org/10.15407/ujpe70.5.287>
5. Chudak, N., Potiienko, O., Zhuravel, D., & Parisi, A. (2024). Investigation of single proton dissociation. *Ukrainian Journal of Physics*, 69(11), 828. <https://doi.org/10.15407/ujpe69.11.828>

УДК 004.8

**ОГЛЯД ТЕХНІК ВЕРИФІКАЦІЇ ФАКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ  
МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

**Ph.D. O. Turuta**<sup>1</sup>[0000-0002-0970-8617], **Ph.D. I. Afanasieva**<sup>2</sup>[0000-0003-4061-0332],  
**К. Онищенко**<sup>3</sup>[0000-0002-7746-4570], **Д. Суворов**<sup>4</sup>[0009-0008-0083-1978]

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

EMAIL:<sup>1</sup>oleksii.turuta@nure.ua,<sup>2</sup>iryna.afanasieva@nure.ua,

<sup>3</sup>kostiantyn.onyshchenko@nure.ua,<sup>4</sup>daniil.suvorov@nure.ua

**OVERVIEW OF FACT VERIFICATION TECHNIQUES USING  
MACHINE LEARNING METHODS**

**Ph.D. O. Turuta, I. Ph.D. Afanasieva, K. Onyshchenko, D. Suvorov**  
*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*

***Анотація.** Ця робота надає узагальнений огляд методів верифікації фактів із використанням підходів машинного навчання та обробки природної мови. Проаналізовано класичні алгоритми (SVM, Naïve Bayes), сучасні глибокі моделі (LSTM, CNN, GRU), а також архітектури на базі трансформерів та гібридні методи. Власні експерименти на наборі даних FACTors підтвердили*

ефективність моделей на базі трансформерів, які продемонстрували найкращі результати (F1-score до 0.83). Отримані результати демонструють перспективність використання моделей на базі трансформерів і гібридних підходів для створення надійних систем верифікації фактів.

**Ключові слова:** верифікація фактів, машинне навчання, обробка природної мови, трансформери, глибоке навчання.

**Abstract.** This study provides an overview of fact verification techniques based on machine learning and natural language processing. It analyzes classical algorithms (SVM, Naïve Bayes), deep learning methods (LSTM, CNN, GRU), as well as transformer-based and hybrid architectures. Own experiments on the FACTors dataset confirmed the superiority of transformer models, which achieved the best performance (F1-score up to 0.83). The findings show that transformer and hybrid methods are the most promising approaches for building reliable fact-checking systems.

**Keywords:** fact verification, machine learning, natural language processing, transformers, deep learning.

**Introduction.** The modern world is highly sensitive to the reliability of information. In the digital era, misinformation and fake news spread faster than ever before, primarily through social media and online platforms. Automated fact verification has thus become a crucial research area, bridging the fields of natural language processing (NLP) and machine learning. The primary challenge is to develop robust models capable of distinguishing true information from manipulated or false claims [1].

**Research Object and Subject.** The object of this research is the process of automated fact verification in natural language texts. The subject is the set of machine learning methods and models used for fact verification, along with the datasets and experimental frameworks supporting their application.

**Research Methods.** The research reviewed recent studies in the field of automated fact verification. Approaches covered included:

- classical machine learning algorithms: Support Vector Machines (SVM), Naïve Bayes, Decision Trees, Logistic Regression;
- deep learning architectures: CNN, RNN, LSTM, BiGRU;
- transformer-based models: BERT, RoBERTa, XLNet, mBERT;
- hybrid approaches: combinations of transformers with CNN, optimization algorithms, or graph-based models.

To validate these approaches under equal conditions, experiments were conducted on the FACTors dataset, which contains over 118,000 claims annotated by international fact-checking organizations.

**Methods Review.** Classical methods remain relevant for smaller datasets and resource-limited environments [2].

Deep learning models such as CNN and BiGRU provided moderate improvements but did not surpass transformers [3]. Transformer architectures showed superior performance due to their ability to model contextual dependencies [4]. In our experiments, BERT achieved an F1-score of 0.83, outperforming all other methods. Hybrid systems integrating BERT with CNN or feature optimization techniques showed strong results in domain-specific datasets, highlighting their adaptability [5].

**Experiments and Results.** The experiments compared Multinomial Naïve Bayes, SVM-RBF, BiGRU, CNN, and BERT using consistent preprocessing and evaluation metric (F1-score). Results are summarized as: Naïve Bayes – 0.798, SVM – 0.799, BiGRU – 0.779, CNN – 0.778, BERT – 0.827.

These results confirm that transformer-based models significantly outperform classical and convolutional/recurrent architectures under the same conditions.

**Conclusions.** This research provides a comprehensive synthesis of fact verification techniques using machine learning. The main findings are: classical methods (SVM, Naïve Bayes) are strong baselines and remain suitable for resource-constrained scenarios; deep learning approaches improve performance but require larger datasets and more computation; transformer-based architectures (BERT and derivatives) achieve state-of-the-art results, offering the most accurate and adaptable solutions; the future of fact verification lies in hybrid, multilingual, multimodal, and explainable AI systems. Overall, transformer models, especially when combined with hybrid techniques, provide the most promising foundation for developing scalable and trustworthy fact-checking systems.

## **References**

1. Rastogi, S., & Bansal, D. (2022). A review on fake news detection 3T's: Typology, time of detection, taxonomies. *International Journal of Information Security*. <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00625-3>

2. Arowolo, M. O., Misra, S., & Ogundokun, R. O. (2023). A machine learning technique for detection of social media fake news. *International Journal of Semantic Web and Information Systems*, 19(1), 1–25. <https://doi.org/10.4018/ijswis.326120>
3. Almandouh, M. E., Alrahmawy, M. F., Eisa, M., Elhoseny, M., & Tolba, A. S. (2024). Ensemble based high performance deep learning models for fake news detection. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76286-0>
4. Kaliyar, R. K., Goswami, A., & Narang, P. (2021). FakeBERT: Fake news detection in social media with a BERT-based deep learning approach. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10183-2>
5. Ni, S., Li, J., & Kao, H.-Y. (2021). MVAN: Multi-view attention networks for fake news detection on social media. *IEEE Access*, 9, 106907–106917. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3100245>

UDC 004.89:004.415.2:681.5.015.5

## **INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM WITH LSTM-BASED FORECASTING ON A MICROSERVICE ARCHITECTURE**

**Dr. Sci. N. Axak**<sup>1[0000-0001-8372-8432]</sup>, **Ph.D. M. Kushnaryov**<sup>2[0000-0002-3772-3195]</sup>,  
**Y. Shelikhov**<sup>3[0009-0009-8970-6571]</sup>

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*  
EMAIL: <sup>1</sup>nataliia.axak@nure.ua, <sup>2</sup>maksym.kushnarov@nure.ua,  
<sup>3</sup>yurii.shelikhov@nure.ua

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ІЗ LSTM-ПРОГНОЗУВАННЯМ НА МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ**

**Dr. Sci. H. Aksak, Ph.D. M. Кушнар'ов, Ю. Шеліхов**  
*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

**Анотація.** У роботі представлено мікросервісну систему адаптивного керування мікрокліматом із аналітичним модулем на основі LSTM-моделі. Система забезпечує збір, обробку та прогнозування сенсорних даних (температура, вологість, CO<sub>2</sub>) у реальному часі, формуючи проактивні керувальні дії. Реалізація базується на Docker, MQTT, RabbitMQ, Prometheus і Python. Отримані результати демонструють високу точність прогнозів і ефективність керування середовищем у «розумних» приміщеннях..

**Ключові слова:** мікросервісна архітектура, IoT, LSTM, хмарні обчислення, аналітика, сенсорні дані, машинне навчання,

**Abstract.** *This paper presents a microservice-based adaptive microclimate control system with an analytical module powered by an LSTM model. The system collects, processes, and forecasts sensor data (temperature, humidity, CO<sub>2</sub>) in real time to enable proactive control actions. It is implemented using Docker, MQTT, RabbitMQ, Prometheus, and Python. Experimental results demonstrate high forecasting accuracy and effective environment management in smart spaces.*

**Keywords:** *microservice architecture, IoT, LSTM, cloud computing, analytics, sensor data, machine learning*

Адаптивне керування мікрокліматом є важливою складовою комфорту, енергоефективності та стабільної роботи обладнання. Недоліки централізованих систем (негнучкість, низька масштабованість) зумовлюють перехід до інтелектуальних рішень на основі мікросервісів, IoT та машинного навчання. Такі системи аналізують дані сенсорів і в реальному часі регулюють параметри середовища, забезпечуючи надійність, модульність і економію ресурсів. Управління мікрокліматом у замкнених просторах є критичним для агросектору, медицини, складів, офісів і навчальних закладів. Основна мета — підтримання стабільних параметрів середовища (температури, вологості, CO<sub>2</sub> тощо) для збереження продукції, комфорту та ефективності технологічних процесів. Традиційні централізовані системи не забезпечують достатньої гнучкості й адаптації до змін. Розвиток IoT, edge-обчислень, AI і хмарних технологій відкриває можливості створення розподілених інтелектуальних рішень. Мікросервісна архітектура дозволяє ділити систему на автономні компоненти: сенсорний збір, аналіз, управління, прогнозування. Такі системи є ключовим елементом цифрової трансформації в «розумному» середовищі, сприяючи сталому розвитку й енергоощадності.

Запропонована мікросервісна система адаптивного керування мікрокліматом складається з автономних сервісів, кожен з яких виконує окрему функцію: збір даних, аналітика, управління пристроями, збереження, моніторинг. Комунікація між компонентами здійснюється через REST, MQTT, RabbitMQ, з безпечним доступом через API Gateway (Ocelot, JWT). Sensor Ingestion Service приймає дані від сенсорів (температура, вологість, CO<sub>2</sub>, освітлення), передає їх до Analytics Service, який виконує обробку, аномалії та прогнозування (наприклад, LSTM). Actuator Control Service формує команди для пристроїв (вентиляція, освітлення тощо). Дані зберігаються у

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

PostgreSQL та time-series БД. Система оркеструється Docker/Kubernetes, моніторинг реалізовано через Prometheus і Grafana.

Функціональними вимогами є автоматизоване керування мікрокліматом у реальному часі з мінімальною затримкою. Нефункціональними є надійність, масштабованість, відмовостійкість, безпека, зручність взаємодії через API/інтерфейс. Система підтримує сценарії, де рішення приймаються автоматично (напр., вентиляція вмикається при перевищенні порогу CO<sub>2</sub>), з можливістю перегляду стану через клієнтський застосунок. Аналітичний модуль у системі адаптивного керування мікрокліматом відіграє ключову роль, забезпечуючи прийняття інтелектуальних рішень на основі як поточних сенсорних даних, так і історичних трендів. Він відповідає за попередню обробку показників температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub> та освітленості, які надходять у вигляді потоків MQTT-повідомлень. На цьому етапі відбувається фільтрація шумів, інтерполяція та згладжування значень, що гарантує цілісність і достовірність інформації. Після очищення дані агрегуються у вигляді середніх або граничних значень на певних часових інтервалах, що дозволяє виявляти відхилення від нормального стану середовища.

На основі цих даних система автоматично визначає аномальні ситуації, наприклад перевищення рівня вологості чи CO<sub>2</sub>, що може свідчити про несправність вентиляції або підвищену кількість людей у приміщенні. Для проактивного реагування використовується модель прогнозування на базі LSTM - типу рекурентної нейромережі, яка ефективно працює з часовими рядами. Вона здатна передбачити зміну параметрів заздалегідь, наприклад, очікуване підвищення температури через 30 хвилин, що дозволяє системі своєчасно активувати вентиляцію або скоригувати рівень освітлення.

LSTM-модель отримує на вхід нормалізовані послідовності сенсорних даних за останні 30 хвилин і повертає прогноз на наступні 1–60 хвилин. Навчання здійснюється за допомогою бібліотек Keras, NumPy та Pandas у середовищі Python. Архітектура мережі містить один або кілька LSTM-шарів, шар Dropout для запобігання перенавчанню та фінальний вихідний шар, який генерує прогноз для температури й вологості. Модель може працювати як у режимі одномоментного прогнозу, так і багатетапного передбачення.

За результатами експериментів, точність прогнозу є високою: середня абсолютна похибка (MAE) для температури становить 0.21°C,

а для вологості — лише 0.56%. Значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  для температури досягає 0.90, а для вологості - 0.94, що свідчить про якісне відображення змін середовища.

LSTM-модель не лише реагує на поточні умови, а й дозволяє системі передбачити й запобігти їх погіршенню. Завдяки цьому керування стає більш гнучким, енергоефективним і точним. Система завчасно активує відповідні пристрої - обігрівачі, вентилятори, зволожувачі або жалюзі - залежно від очікуваних змін, а також оцінює ефективність своїх рішень для подальшого вдосконалення моделей прогнозування.

Висновки. Запропонована мікросервісна система адаптивного керування мікрокліматом забезпечує ефективну, масштабовану та надійну роботу в умовах динамічного середовища. Завдяки використанню автономних сервісів та технологій IoT, система здійснює автоматизований контроль температури, вологості,  $\text{CO}_2$  та освітленості. Аналітичний модуль на основі LSTM-моделі забезпечує точне прогнозування змін параметрів на горизонті до 60 хвилин. Проведені експерименти засвідчили високу точність моделі ( $\text{MAE} < 0.6$ ,  $R^2 > 0.9$ ), що дає змогу системі завчасно реагувати на потенційні відхилення та формувати проактивні керувальні дії. Отримані результати підтверджують перспективність запропонованого рішення для впровадження в агропромислових, медичних та комерційних об'єктах із підвищеними вимогами до якості мікроклімату.

УДК 004.738.5

## **ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КЕРУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ**

**Ph.D. Н. Шибасва**<sup>1[0000-0002-7869-9953]</sup>, **Д. Шибасв**<sup>2[0000-0002-3260-5843]</sup>

<sup>1</sup>*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

<sup>2</sup>*Коледж «Сервер», Україна*

EMAIL: <sup>1</sup>*n.o.shybaieva@op.edu.ua*, <sup>2</sup>*shybaiev.ds@server.odessa.ua*

## **IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN COMPUTER NETWORK MANAGEMENT**

**Ph.D. N. Shybaieva<sup>1</sup>, D. Shybaiev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

<sup>2</sup>*Server College, Ukraine*

***Анотація.** У статті розглянуто сучасні підходи до застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) у сфері комп'ютерних мереж. Окрема увага приділяється системам інтелектуального керування мережею (AIOps) та використанню машинного навчання для передбачення і запобігання відмовам у мережевій інфраструктурі.*

***Ключові слова:** оптимізація трафіку, маршрутизація, машинне навчання.*

***Abstract.** The article explores modern approaches to the application of artificial intelligence (AI) technologies in the field of computer networks. Particular attention is paid to AIOps systems and the use of machine learning to predict and prevent failures in network infrastructure.*

***Keywords:** traffic optimization, routing, machine learning.*

Зростання складності комп'ютерних мереж зумовлене кількома факторами: розширенням кількості підключених пристроїв, зростанням обсягу передаваних даних, а також підвищеними вимогами до швидкодії, надійності та безпеки. Ці фактори створюють проблему масштабування та керованості мереж, адже традиційні методи адміністрування та моніторингу перестають ефективно справлятися із динамічними змінами в мережі. Особливо це відчутно у великих корпоративних мережах, хмарних сервісах, а також у сферах Інтернету речей (IoT) і мобільних мережах. У зв'язку з цим, традиційне ручне управління операторами мережі стає складним і не завжди оперативним, а проміжна обробка даних і контроль на різних рівнях мережі створюють додаткове навантаження на інфраструктуру, що може призводити до затримок і втрат даних. Для вирішення цих проблем активно впроваджуються технології штучного інтелекту (ШІ), які дозволяють автоматизувати процеси управління мережею та знижувати навантаження на операторів, одночасно підвищуючи точність і швидкість прийняття рішень. Одним із ключових напрямів застосування ШІ є оптимізація маршрутизації — процес вибору найкращого шляху передачі даних. Традиційні протоколи маршрутизації (OSPF, BGP, RIP) базуються на фіксованих правилах і не завжди швидко реагують на змінні умови, такі як перевантаження каналів або відмови вузлів, що знижує ефективність мережі.

Для подолання цих обмежень застосовуються алгоритми машинного навчання (ML), зокрема підкріплювального навчання

(reinforcement learning) та глибинного навчання (deep learning). Вони дозволяють створювати самонавчальні маршрутизатори, які:

прогнозують зміни трафіку на основі історичних даних і оперативно змінюють маршрути, щоб запобігти перевантаженням;

оцінюють якість маршрутів за багатьма метриками (затримка, пропускна здатність, втрата пакетів) і обирають оптимальні шляхи;

адаптуються до нових умов без участі оператора, враховуючи поточні і можливі майбутні сценарії;

працюють у децентралізованих мережах (IoT, ad-hoc), де централізоване управління неможливе або небажане.

На практиці такі рішення вже впроваджують провідні виробники обладнання: Cisco DNA Center, Juniper Mist AI, Huawei iMaster NCE та інші. Вони демонструють високу ефективність і масштабованість, а завдяки розвитку edge computing ШІ-процеси виконуються ближче до джерела даних, що знижує затримки й підвищує швидкість реакції.

Висновки. Інтеграція ШІ в комп'ютерні мережі є ключовою складовою для підвищення безпеки, оптимізації ресурсів та забезпечення безперервності роботи. Подальший розвиток технологій вимагатиме підвищення кваліфікації фахівців і оновлення стандартів управління мережею, а також поглибленої інтеграції машинного навчання для розширеного аналізу та прогнозування мережевих процесів.

UDC 004.932.72

## **OBJECT DETECTION NETWORK ARCHITECTURE FOR MULTICHANNEL IMAGES**

**Ph.D. N. Volkova**<sup>1</sup>[0000-0003-3175-2179], **M. Shvandt**<sup>2</sup>[ 0000-0002-4580-3961]

*Odesa National Polytechnic University, Ukraine*

*EMAIL: <sup>1</sup>volkova.n.p.@op.edu.ua, <sup>2</sup>maxim.shvandt@gmail.com*

## **АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

**Ph.D. Н. Волкова, М. Швандт**

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

***Анотація.** У цій роботі запропоновано архітектуру нейронної мережі для детектування об'єктів із їх додатковим сегментуванням. Запропонована архітектура базується і використовує переваги архітектури Mask R-CNN але,*

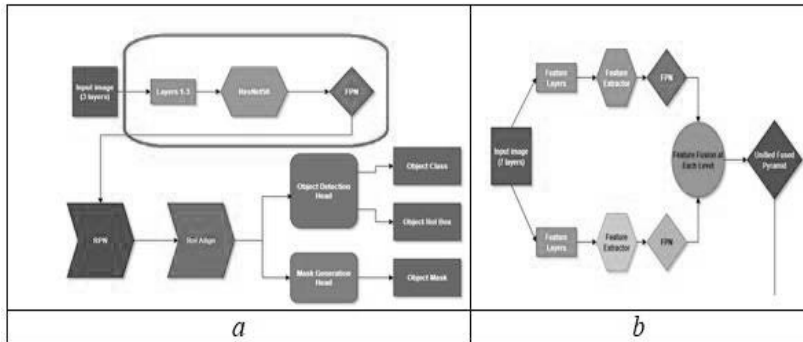
*водночас, розширена для роботи із зображеннями, що мають декілька шарів ознак. Дана архітектура може бути використана у різних системах детектування і трекінгу, від системи трекінгу поведінки риб до детектування інших об'єктів, коли можливо отримувати візуальну інформацію з кількох типів джерел.*

**Ключові слова:** *архітектура, нейронна мережа, обробка зображення, обробка відео, трекінг об'єктів, детектування об'єктів, сегментація зображення.*

**Abstract.** *In this paper, a neural network architecture for object detection with additional segmentation is proposed. The suggested architecture is based on and uses the advantages of the Mask R-CNN architecture, but, at the same time, is extended to work with images containing multiple feature layers. This architecture can be used in various detection and tracking systems, from fish behavior tracking systems to other object detection, when it is possible to obtain visual information from several types of sources.*

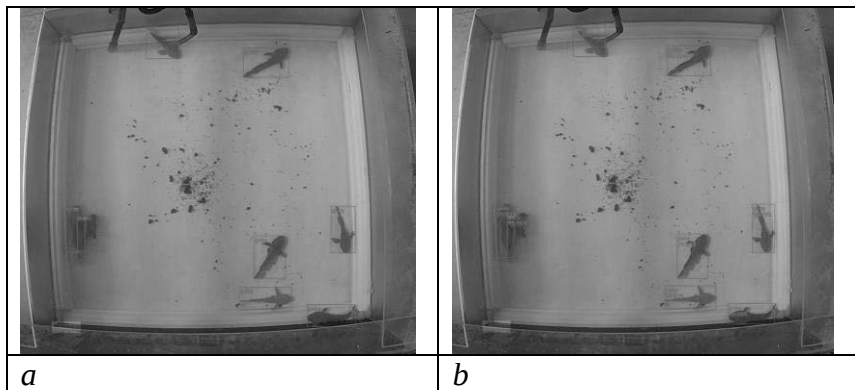
**Keywords:** *architecture, neural network, image processing, video processing, object tracking, object detection, image segmentation.*

The use of computer vision technology has long been one of the most widely used automation tools in various processes. An example of such use is the detection and tracking of objects for their further analysis and study. Such objects can belong to various areas of life - from the animal world [1] to the military and transport industries [2]. During the detection process, it is often necessary to distinguish between objects in the frame that overlap each other. To solve this problem, a number of methods have been created, in particular those based on neural networks, which, in addition to detection, also perform object segmentation [3, 4]. One of the approaches to detection with segmentation generation is the Mask R-CNN architecture [3, 4]. This architecture (Fig. 1.a) is intended for simultaneous detection and segmentation of detected objects. Usually, most of the common methods are aimed to work with standard image sizes. In our study, there is a necessity to track the movements and position of fish (goby) in an aquarium [6]. As an experiment, the network was applied to the available test data (Fig. 2). In addition, during image processing [7] there is a need to use additional layers of features, for example, such as image difference and the result of histogram correction.



**Figure 1.** Mask R-CNN: *a* – basic architecture; *b* – modification of the architecture module (highlighted by a red outline in *a*)

These features are formed at the previous stages of image processing and detection attempts. Therefore, based on this, a proposal arises to expand and simplify the basic architecture. Figure 1.b shows the proposed modification of the architecture module.



**Figure 2.** Result from Mask R-CNN: *a* – manual labeling, *b* – detection

The proposed modification of the module (Fig. 1.b.) consists in dividing the feature extraction process into several parallel processes, as well as in

reducing the extraction pipeline since the input image layers already represent certain features. Thus, it is proposed to reduce computational costs by avoiding additional formation of features. Further, after construction of feature pyramids (FPN), it is proposed to merge them to form a unified pyramid (Unified FPN) in order to make greater use of the provided input features (layers) of the image.

Thus, owing to the proposed modification of the Mask R-CNN architecture module, the proposed algorithm can be applied to images that can be obtained not only from a single source (a conventional camera), but also from additional sensors, such as a thermal or IR camera. This allows using the obtained image features with maximum benefit and reducing the computational costs during their extraction. Further research will be aimed at adapting the proposed approach, increasing the accuracy of segmentation, and developing a tracking algorithm using this modified architecture.

### **References**

1. Jain, V. (2020). Introduction to semantic image segmentation. *Medium*. <https://medium.com/analytics-vidhya/introduction-to-semantic-image-segmentation-856cda5e5de8>
2. Spampinato, C., Palazzo, S., Boom, B., Van Ossenbruggen, J., & Kavasidis, I. (2014). Understanding fish behavior during typhoon events in real-life underwater environments. *Department of Electrical, Electronics and Computer Engineering, University of Catania*, 37 p.
3. Mwit, D., & Li, K. (Yi). (2025). Image segmentation: Architectures, losses, datasets, and frameworks. *Neptune Blog*. <https://neptune.ai/blog/image-segmentation>
4. Ramesh, C. S., & Kumar, V. V. (2020). A review on instance segmentation using Mask R-CNN. In *Proceedings of the International Conference on Systems, Energy & Environment (ICSEE 2021)*. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=3794272> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3794272>
5. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1703.06870>
6. Shvandt, M., & Moroz, V. (2022). Overview of the detection and tracking methods of the lab animals. *System Research & Information Technologies*, 1, 124–148. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.1.10>
7. Volkova, N., & Shvandt, M. (2024). Image preprocessing algorithm for object detection & tracking. In *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2024)*, September 23–25, 194–198.

УДК 004.8

## ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ ДАНИХ У ТЕНЗОРНИХ МЕРЕЖАХ

Ph.D. В. Синеглазов<sup>1</sup>[0000-0002-3297-9060], П. Чинник<sup>2</sup>[0009-0002-6787-5429]

<sup>1</sup>Київський авіаційний інститут, Україна,

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
Україна

EMAIL:<sup>1</sup>svm@kai.edu.ua, <sup>2</sup>chynnyk@vivaldi.net

## RE-UPLOADING DATA IN TENSOR NETWORKS

Ph.D. V. Sineglazov<sup>1</sup>, P. Chynnyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyiv Aviation Institute, Ukraine,

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine “Igor SIKORSKY Kyiv Polytechnic  
Institute”, Ukraine

**Анотація.** У роботі досліджено застосування методу перезавантаження даних (re-uploading) у тензорних мережах для подолання проблеми barren plateaus у квантовому машинному навчанні. Запропоновано архітектури квантових тензорних мереж із багатошаровим завантаженням даних. Проведені експерименти на наборах даних iris та wine показали, що використання повторного завантаження суттєво знижує функцію втрат і підвищує точність класифікації. Отримані результати підтверджують ефективність методу для покращення продуктивності квантових моделей.

**Ключові слова:** машинне навчання, квантові обчислення, тензорні мережі, перезавантаження даних, barren plateaus.

**Abstract.** The study investigates the application of the data re-uploading technique in tensor networks to address the barren plateau problem in quantum machine learning. We propose tensor network architectures with multiple layers of data embedding. Experiments on the iris and wine datasets demonstrated that repeated re-uploading significantly reduces loss and improves classification accuracy. The results confirm the effectiveness of this method for enhancing the performance of quantum models.

**Keywords:** machine learning, quantum computing, tensor networks, re-uploading, barren plateaus.

**Вступ.** Однією з ключових проблем квантового машинного навчання є явище barren plateaus, що призводить до експоненційного затухання градієнтів у варіаційних квантових схемах [1]. Це ускладнює навчання моделей і знижує їх ефективність. Одним із перспективних підходів для зменшення цієї проблеми є повторне завантаження даних

у квантові схеми [3]. У даній роботі запропоновано використати цей підхід у поєднанні з тензорними мережами, які добре зарекомендували себе для моделювання квантових систем і обробки даних [4].

**Методологія.** Робота передбачає кілька етапів:

1. Вбудовування даних - класичні дані перетворювалися у квантовий простір за допомогою кутового кодування (RX, RZ-гейти);
2. Побудова моделі — обрано тензорні мережі типу TTN, що включають елементи обертання (RY) та заплутування (CNOT);
3. Навчання - застосовано алгоритм диференційної еволюції [5], що краще пристосований до складних оптимізаційних задач у квантових схемах;
4. Оцінювання - результати перевірялися на тестових вибірках із розподілом даних 70/30. Метод перезавантаження передбачав багаторазове введення класичних даних у різних шарах тензорної мережі, що дозволяло збільшити виразність моделі та зменшити ризик потрапляння у barren plateau.

**Експерименти та результати.** Набір даних iris. Моделі з трьома шарами повторного завантаження досягли ідеальних результатів (точність 100% на тренувальній і тестовій вибірках), тоді як одношарова модель мала втрати ~0.28. Набір даних wine. Використання повторного завантаження покращило точність із 43% до 69% на тестовій вибірці. Хоча спостерігалось перенавчання, показники точності, повноти та precision істотно зросли. Таким чином, багатшарове завантаження даних довело ефективність для покращення якості квантових моделей на основі тензорних мереж.

**Висновки.** Запропонований підхід демонструє значне підвищення продуктивності квантових моделей і може бути використаний для подолання обмежень barren plateaus. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію архітектури тензорних мереж і вивчення масштабованості методу для складніших задач.

#### **Література**

1. McClean, J., Boixo, S., Smelyanskiy, V., Babbush, R., & Neven, H. (2018). Barren plateaus in quantum neural network training landscapes. *Nature Communications*, 9, 4812. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07090-4>
2. Larocca, M., Thanasilp, S., Wang, S., Sharma, K., Biamonte, J., Coles, P. J., et al. (2024). A review of barren plateaus in variational quantum computing. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2405.00781>

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

3. Pérez-Salinas, A., Cervera-Lierta, A., Gil-Fuster, E., & Latorre, J. I. (2020). Data re-uploading for a universal quantum classifier. *Quantum*, 4, 226. <https://doi.org/10.22331/q-2020-02-06-226>

4. Araujo, A., Madhok, V., & Datta, A. (2022). Practical overview of image classification with tensor-network quantum circuits. *Machine Learning: Science and Technology*, 3(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/2632-2153/ac41bb>

5. Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341–359. <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>

УДК 004.85:930

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПОШУКУ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ  
ПРО ВИДАТНИХ УКРАЇНЦІВ**

**Д. Шибасьв<sup>1[0000-0002-3260-5843]</sup>, Д. Ковальов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Коледж «Сервер», Україна

<sup>2</sup>Межрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL: shybaiev.ds@server.odessa.ua

**INTELLECTUAL SYSTEM FOR SEARCHING AND ANALYZING  
DATA ABOUT PROMINENT UKRAINIANS**

**D. Shybaiev<sup>1,2</sup>, D. Kovalev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Server College, Ukraine

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

**Анотація.** У тезах представлено концепцію алгоритмічної системи для пошуку, класифікації та візуалізації даних про малодосліджених українських діячів. Рішення передбачає використання морфолого-семантичного аналізу, когнітивного вилучення знань і регресійного моделювання для інтеграції історичних джерел та виявлення зв'язків між персоналіями, подіями і локаціями.

**Ключові слова:** Алгоритмічний пошук, семантичний аналіз, когнітивна обробка, візуалізація даних, цифрова гуманітаристика.

**Abstract.** The abstracts present the concept of an algorithmic system for searching, classifying and visualizing data about little-studied Ukrainian figures. The solution involves the use of morphological-semantic analysis, cognitive knowledge extraction and regression modeling to integrate historical sources and identify connections between personalities, events and locations.

**Keywords:** Algorithmic search, semantic analysis, cognitive processing, data visualization, digital humanities.

У сучасному інформаційному просторі значною проблемою залишається систематизація, осмислення та доступ до історично значущої, але розпорошеної інформації про видатних українців, які справили суттєвий вплив на розвиток національної ідентичності, науки, культури та державності. Попри наявність численних джерел, значна частина інформації має неструктурований характер або зберігається у форматах, непридатних для прямої обробки. Складність пошуку та аналізу таких даних посилюється ще й тим, що значущі постаті часто фігурують у джерелах лише фрагментарно, із варіативністю імен, мовним забарвленням, відсутністю метаданих та контекстної прив'язки. Це створює потребу у побудові алгоритмічної основи, яка б забезпечила можливість комплексного аналізу, інтелектуального пошуку, міжформатної агрегації та регресійної інтерпретації подібної інформації. Передбачуваний підхід орієнтований на розробку комбінованого алгоритму різноструктурового пошуку, який би дозволив здійснювати напівавтоматизовану обробку великого обсягу гетерогенних даних, вилучення релевантної інформації про культурну спадщину, персоналії та події з історичним значенням, що мають підтверджений або потенційний вплив на сучасність [1]. Особливий акцент у реалізації алгоритму передбачається зробити на фігурах, внесок яких ще не отримав належної уваги у публічному, освітньому та науковому середовищі. Система повинна не лише збирати та класифікувати інформацію, але й здійснювати її осмислення через виявлення логічних, причинно-наслідкових та часових зв'язків. На першому етапі розробки планується формування структури системи, архітектура якої включатиме модулі пошуку, семантичного аналізу, класифікації, регресійного моделювання та візуалізації. Базовим підходом у побудові пошукового алгоритму стане концепція багаторівневої агрегації, що передбачає обробку джерел з різним рівнем структурованості – від повнотекстових історичних документів, архівів, публіцистики та бібліографій до сучасних цифрових репозитаріїв, баз наукових публікацій, каталогів музеїв, оцифрованих матеріалів медіа та метаданих культурних подій. Джерела, які розглядаються як вхідні потоки, включатимуть як сучасні інтернет-ресурси, так і офлайнні цифрові архіви, що підлягатимуть конвертації та попередній обробці [2]. Ключовим аспектом алгоритму стане модуль морфолого-семантичного нормалізатора, який здійснюватиме

стандартизацію пошукових векторів відповідно до історичних, мовних та контекстуальних особливостей – наприклад, варіації написання імен, транслітерації, використання псевдонімів або регіональних назв. Планується залучення лексичних онтологій та історичних тезаурусів, що дозволить підвищити точність відповідності при обробці запитів користувачів. У рамках цієї частини буде реалізовано фільтрацію за критеріями релевантності, частоти згадувань у часових інтервалах, зв'язків з іншими постатями та відповідності визначеним тематичним напрямом [3]. З метою підвищення аналітичної цінності системи та зручності її використання для дослідників, педагогів та представників культурної сфери, буде реалізовано інтерфейс візуалізації результатів. Центральним елементом стане інтерактивна карта взаємозв'язків, що дозволить у реальному часі переглядати сформовані інформаційні зв'язки між особистостями, періодами та локаціями, фільтрувати результати за тематичними категоріями, масштабувати часові рамки впливу, а також ідентифікувати маловідомі, але значущі культурно-наукові зв'язки. Такий підхід дозволить не лише здійснювати пошук, а й відкривати нові патерни взаємодії у сфері культурної спадщини, що раніше не були очевидними. Запропонований підхід до створення системи різноструктурового пошуку, обробки та аналізу інформації є інноваційним рішенням у галузі цифрової гуманітаристики та інформаційних технологій. У фокусі даного дослідження – створення універсального алгоритмічного інструменту, здатного інтегрувати розрізнену інформацію про історичну, наукову та культурну спадщину України в єдиний контекстуалізований простір.

Розробка подібної системи має потенціал трансформувати підходи до вивчення минулого, підсилити механізми культурної пам'яті, активізувати наукову діяльність у галузі дослідження національної ідентичності та дати поштовх до формування відкритого цифрового середовища для інтеграції історичних знань у сучасні освітні практики.

### **Література**

1. Bondarenko, Yu. O. (2021). *Metody intelektual'noho analizu danykh u humanitarnykh doslidzhenniakh: Navchal'nyy posibnyk*. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv.

2. Zhukova, O. V. (2022). Alhorytmy semantychnoho analizu tekstovyykh danykh u mizhdystsypynarnykh doslidzhenniakh. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*, 90(4), 65–79. <https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.4931>

3. Baranov, A., & Tkachenko, V. (2023). Hybrid model for information retrieval in cultural heritage systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 3475, 112–123. <https://ceur-ws.org/Vol-3475/>

УДК 004.874

## **ГРАФОВІ БАЗИ ДАНИХ ЯК ОСНОВА РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ДІАГНОСТИЦІ ТА ТЕРАПІЇ**

**A. Ропай<sup>1</sup>, Ph.D. M. Рудніченко<sup>2</sup>[0000-0002-7343-8076],  
Ph.D. С. Гришин<sup>3</sup>[0000-0002-1933-9552]**

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: ropay@gmail.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com, <sup>3</sup>serhiygryshin@ukr.net*

## **GRAPH DATABASES AS THE BASIS OF RECOMMENDATION SYSTEMS IN DIAGNOSTICS AND THERAPY**

**A. Ropay, Ph.D. M. Rudnichenko, Ph.D. S. Grishin**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

***Анотація.** В роботі обґрунтовано актуальність застосування графових структур даних у задачах побудови персоналізованих рекомендацій.*

***Ключові слова:** рекомендаційні системи, графові структури даних.*

***Abstract.** This paper substantiates the relevance of using graph data structures in the tasks of building personalized recommendations.*

***Keywords:** recommender systems, graph data structures.*

Вступ. Головною перешкодою в сучасній системі охорони здоров'я є ефективне та безпечне управління великими й складними пацієнтськими даними. Одним із перспективних шляхів подолання цієї проблеми є використання графових баз даних, які здатні ефективно здійснювати запити та природно відображати взаємозв'язки між даними. Графові структури набувають актуальності для побудови персоналізованих рекомендацій. Графові підходи, такі як Graph Neural Networks (GNNs), Graph Convolutional Networks (GCNs) та Knowledge Graphs, демонструють високу ефективність у моделюванні багаторівневих зв'язків, що значно покращує якість рекомендацій. Їх використання у побудові персоналізованих рекомендаційних систем

відкриває нові можливості для аналізу медичних записів, діагностики та вибору оптимальної терапії [1]. На відміну від реляційних баз даних, графові моделі дозволяють ефективно відображати складні взаємозв'язки між пацієнтами, симптомами, діагнозами та методами лікування. Це робить їх перспективним інструментом для розробки систем підтримки прийняття рішень у медицині та підвищення якості надання медичної допомоги. Основна мета полягає в наданні ґрунтовного узагальнення розвитку та впровадження графових баз даних, адаптованих для адміністрування медичних записів.

Актуальність дослідження полягає у використанні графових баз даних як основи для побудови медичних рекомендаційних систем, що забезпечує більш точний аналіз взаємозв'язків між пацієнтськими даними та сприяє оптимізації процесів діагностики та терапії [2].

У рамках поставленого завдання роботи найкращою категорією даних для навчання та побудови рекомендаційної системи є електронні медичні записи (EHR), що містять інформацію про симптоми, діагнози, результати обстежень та призначене лікування. Представлення таких даних у вигляді графа дозволяє відобразити складні взаємозв'язки між пацієнтами, захворюваннями та терапевтичними методами. Основним фокусом дослідження стане розробка моделі рекомендацій, яка забезпечує пошук схожих клінічних випадків і пропонує персоналізовані рішення для діагностики та лікування [3].

Проектована система орієнтована на підтримку процесів діагностики та терапії шляхом інтеграції низки функціональних можливостей. Передбачено внесення симптомів і результатів обстежень пацієнта з подальшим формуванням індивідуального профілю. Функціонал системи включає автоматизоване формування переліку можливих діагнозів на основі графової моделі знань. Використання графових структур забезпечує виявлення багаторівневих залежностей між симптомами, захворюваннями та супутніми факторами, що підвищує точність діагностичних висновків. Система формує персоналізовані терапевтичні рекомендації, ґрунтуючись на аналізі подібних клінічних випадків. Пошук аналогій у графовій базі даних дозволяє визначати лікувальні стратегії, підтверджені попереднім клінічним досвідом. Система забезпечує можливість збереження діагностичних результатів і рекомендацій у форматі структурованих звітів. Це створює основу для ведення медичної

документації в електронній формі та спрощує обмін інформацією між лікарем і пацієнтом.

Висновок. Розроблена система демонструє, що графові бази даних становлять перспективну основу для побудови рекомендаційних систем у сфері медицини. Їх застосування дозволяє ефективно відображати складні взаємозв'язки між пацієнтами, симптомами, захворюваннями, методами лікування та результатами терапії. Таким чином, використання графових моделей даних може суттєво підвищити якість медичних рішень і слугувати технологічною основою для подальшого розвитку інтелектуальних систем підтримки лікарів.

### **Література**

1. Jiang, P., Xiao, C., Cross, A., & Sun, J. (2023). GraphCare: Enhancing healthcare predictions with personalized knowledge graphs. *arXiv*, 567–589.
2. Hell, F., Taha, Y., Hinz, G., Heibei, S., Müller, H., & Knoll, A. (2020). Graph convolutional neural network for a pharmacy cross-selling recommender system. *Information*, 11(11), 11–32.
3. Walke, D., Micheel, D., Schallert, K., Muth, T., Broneske, D., Saake, G., & Heyer, R. (2023). The importance of graph databases and graph learning for clinical applications. *Database (Oxford)*, 213–221.

УДК 004.8:681.518:620.9

## **ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СПОЖИВАННЯМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

**Д. Шибасєв<sup>1</sup>[0000-0002-3260-5843], І. Пейчев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Коледж «Сервер», Україна

<sup>2</sup>Межрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL:shybaiev.ds@server.odessa.ua

## **RESEARCH ON THE ARCHITECTURE AND ANALYTICAL METHODS OF AN INTELLECTUAL ELECTRICITY CONSUMPTION MANAGEMENT SYSTEM**

**D. Shybaiev<sup>1</sup>, I. Peychev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Server College, Ukraine

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

***Анотація.** У тезах представлено інтелектуальну систему для аналізу споживання електроенергії та оптимізації витрат. Рішення інтегрує дані з розумних лічильників і IoT-пристроїв, здійснює виявлення аномалій, прогнозування та візуалізацію. Система забезпечує користувачам аналітичну підтримку для зниження витрат, підвищення ефективності та сталого енергоспоживання.*

***Ключові слова:** Енергоефективність, машинне навчання, прогнозування, енергоменеджмент.*

***Abstract.** The abstract presents an intelligent system for analyzing electricity consumption and optimizing costs. The solution integrates data from smart meters and IoT devices, performs anomaly detection, forecasting, and visualization. The system provides users with analytical support for reducing costs, increasing efficiency, and sustainable energy consumption.*

***Keywords:** Energy efficiency, machine learning, forecasting, energy management.*

В епоху, коли енергоефективність та оптимізація витрат є першорядними, зростаюче впровадження інтелектуальних технологій відкрило нові можливості для управління споживанням електроенергії в будинках, офісах та на підприємствах. Зростання цін на енергоносії та екологічні проблеми підкреслюють потребу в інтелектуальних системах, здатних контролювати, аналізувати та оптимізувати використання електроенергії [1].

Інтелектуальна система для аналізу споживання електроенергії та оптимізації витрат – це комплексна платформа, розроблена для вирішення багатогранних проблем управління енергією. По суті, система безперешкодно інтегрується з інтелектуальними лічильниками та пристроями Інтернету речей за допомогою стандартизованих протоколів, таких як MQTT, Modbus та Zigbee, що дозволяє збирати дані в режимі реального часу з різних середовищ, включаючи житлові квартири, приватні будинки, офісні приміщення та промислові об'єкти [2]. Для користувачів, які не мають доступу до автоматизованих лічильників, система надає інтерфейс ручного введення даних, що забезпечує доступність у різних технологічних установках. Зібрані дані обробляються та зберігаються в централізованій базі даних з можливостями агрегації, що дозволяють проводити аналіз з різною часовою роздільною здатністю - погодинно, щодня, щотижня, щомісяця та щорічно [3]. Такий детальний підхід гарантує, що користувачі можуть відстежувати тенденції споживання з часом,

виявляти закономірності та приймати обґрунтовані рішення щодо споживання енергії. Механізм обробки в реальному часі системи використовує ефективні алгоритми для обробки великих наборів даних, забезпечуючи мінімальну затримку та високу точність представлення даних.

Ключовим компонентом системи є її розширений модуль аналітики, який виконує аналіз споживання в режимі реального часу та виявляє періоди пікового навантаження. Порівнюючи поточне використання з історичними даними, система виявляє аномалії, такі як раптові сплески споживання, які можуть свідчити про несправності обладнання або неефективні моделі використання.

Алгоритми машинного навчання лежать в основі можливостей прогнозування системи, дозволяючи їй передбачати майбутні витрати на електроенергію на основі історичних тенденцій, сезонних коливань та поведінки користувачів. Інтерактивні графіки відображають тенденції споживання з можливістю збільшення певних періодів часу або порівняння кількох показників, таких як щоденне використання з середніми щомісячними значеннями. Теплові карти виділяють періоди пікового навантаження, забезпечуючи візуальне уявлення про те, коли і де споживання енергії є найвищим. Система також генерує автоматизовані звіти, доступні за щоденним, щотижневим або щомісячним графіком, які узагальнюють ключові показники, включаючи загальне споживання, розподіл витрат та можливості економії. Ці звіти можна експортувати в різних форматах, таких як PDF, CSV та XLSX, для полегшення інтеграції із зовнішніми інструментами або обміну ними із зацікавленими сторонами. Панель адміністратора надає керівникам об'єктів та операторам послуг ширше уявлення про тенденції споживання в кількох будівлях, що дозволяє централізований нагляд та прийняття рішень на основі даних. Ця панель також підтримує діагностичні функції, такі як моніторинг підключення та продуктивності інтелектуальних лічильників, що забезпечує надійність системи.

Інтелектуальна система для аналізу споживання електроенергії та оптимізації витрат є значним прогресом у технології управління енергією. Завдяки інтеграції збору даних у режимі реального часу, розширеної аналітики та персоналізованих рекомендацій, система дає користувачам змогу скорочувати витрати, підвищувати ефективність та впроваджувати методи сталого розвитку. Спроектowana система

пропонує трансформаційний підхід до управління енергією, дозволяючи користувачам приймати обґрунтовані рішення, мінімізувати втрати та робити свій внесок у більш стале майбутнє.

Подальші розробки будуть зосереджені на вдосконаленні можливостей машинного навчання, інтеграції даних про відновлювану енергетику та розширенні сумісності з інтелектуальними пристроями наступного покоління для подальшого посилення її впливу.

### **Література**

1. Pysarenko, S. Yu., & Klymov, M. P. (2021). Informatsiina systema enerhomenedzhmentu na bazi IoT-platfomy. *Visnyk NTU “KhPI”. Seriya: Enerhetyka*, 18(1394), 53–60. <https://doi.org/10.20998/2073-3909.2021.18.08>
2. Bui, N., Zordan, D., & Liou, A. (2020). Energy-aware smart metering architecture for IoT-based building energy management. *Sensors*, 20(15), Article 4304. <https://doi.org/10.3390/s20154304>
3. Zhuravel, Ye. V. (2023). Zastosuvannia metodiv mashynnoho navchannia dlia prohnozuvannia spozhyvannia elektroenerhii u rozumnykh merezhakh. *Systemy obrobky informatsii*, 2(169), 125–129.

УДК 004.211

### **ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕКУРЕНТНИХ МЕРЕЖ ТА ТРАНСФОРМЕРІВ У ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ**

**М. Жилін**<sup>1[0000-0032-1191-0933]</sup>, **Д. Шибасв**<sup>2[0000-0938-8371-1103]</sup>,

**В. Тулісов**<sup>2[0008-0018-9284-1394]</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>2</sup>Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL: 6957848@stud.op.edu.ua, denscreamer@gmail.com,

tylisovvlad@gmail.com

### **COMPARISON OF THE RESULTS OF RECURRENT NETWORKS AND TRANSFORMERS IN THE TIME SERIES FORECASTING PROBLEM**

**M. Zhilin, D. Shibaeva, V. Tulisov**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Анотація.** У роботі досліджується різниця між рекурентними нейронними мережами та трансформерами у прогнозуванні часових рядів. Показано, що RNN мають обмеження у врахуванні довгострокових залежностей, тоді як трансформери забезпечують більш точні результати.

**Ключові слова:** часові ряди, RNN, трансформери.

**Abstract.** The paper explores the difference between recurrent neural networks and transformers in time series forecasting. It shows that RNNs struggle with long-term dependencies, while transformers achieve higher accuracy.

**Keywords:** time series, RNN, transformers.

Сьогодні в прикладних галузях, таких як фінанси, енергетика, а також охорона здоров'я та промисловість, мають високу значущість і дуже активно використовують завдання, що вимагають прогнозування часових рядів. Від того наскільки якісно буде вирішено таке завдання залежатиме, наскільки ефективно впроваджуватимуться управлінські рішення, плануватимуться ресурси. З недавнього часу почали активно користуватися методами глибокого навчання, такими як рекурентні нейронні мережі (RNN), моделі архітектури трансформерів [1].

Обидві моделі орієнтовані на послідовні дані, але принцип їх функціонування та ефективність сильно відрізняються. Ключова ідея рекурентних мереж – це збереження прихованого стану, який записує інформацію про попередні кроки, що дозволяє враховувати контекст під час прогнозування. Але на жаль, довгі часові ряди викликають проблему двосторонніх градієнтів, що обмежує здатність RNN запам'ятовувати далекі залежності [2].

Для наочного порівняння результатів наведено у таблиці 1. Трансформери навпаки, ґрунтуються на механізмі уваги, що дозволяє їм безпосередньо порівнювати кожен елемент із послідовності, не роблячи покрокового проходження. Завдяки цьому вони краще обробляють довші часові залежності.

Але для цього їм потрібні набагато більші обчислювальні ресурси для навчання, що за відсутності потужної апаратної бази створює проблеми [3]. А також схильні до перенавчання при малих вибірках і менш інтуїтивно інтерпретована, що критично там, де важлива прозорість рішень.

**Таблиця 1.**

Порівняльна характеристика моделей

| Характеристика           | Рекурентні мережі (RNN, LSTM, GRU)                                                       | Трансформери                                                                                    |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Облік залежностей        | Добре обробляють короткострокові залежності, обмежені у роботі з довгими послідовностями | Ефективно враховують як короткострокові, так і довгострокові залежності завдяки механізму уваги |
| Обчислювальна складність | Відносно низька, можлива робота на менш потужних пристроях                               | Висока, потребує значних ресурсів (GPU/TPU)                                                     |
| Навчання на малих даних  | Більш стійкі, можуть працювати на обмежених вибірках                                     | Схильні до перенавчання, вимагають більших обсягів даних                                        |
| Інтерпретованість        | Досить зрозуміла структура та інтерпретація станів                                       | Складна інтерпретація уваги, проблеми пояснення рішень                                          |
| Застосування             | Підходить для завдань із середніми по довжині рядами, де важлива економічність           | Ефективні при великих та складних часових рядах, особливо в умовах довгострокових залежностей   |

Вибір між рекурентними мережами і трансформерами в задачах прогнозування часових рядів визначається тим, у якій специфічній області вони застосовується. Для фінансів, де потрібен аналіз великих обсягів даних і виявлення довгострокових залежностей трансформери показують себе краще як і в енергетиці, де також потрібно прогнозування сезонних коливань і довгострокових трендів, в той же час для вирішення завдань з малими або обмеженими наборами даних, або якщо обладнання недостатньо потужне, більш доцільно використовувати рекурентні мережі такі як RNN, LS.

**Література**

1. Lim, B., & Zohren, S. (2021). Time-series forecasting with deep learning: A survey. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2194). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0209>
2. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2017)* (pp. 5998–6008). Long Beach, CA, USA. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
3. Hewamalage, H., Bergmeir, C., & Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting: Current status and future directions. *International Journal of Forecasting*, 37(1), 388–427. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.06.008>

УДК 004.211

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМУНІКАТИВНИХ  
МЕТОДІВ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ  
ЗОБРАЖЕНЬ**

**І. Лисіков**<sup>1[0009-0008-2310-7288]</sup>, **Dr.Sci. О. Руденко**<sup>2[0000-0003-0859-2015]</sup>  
*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*  
*EMAIL: <sup>1</sup>oleh.rudenko@nure.ua, <sup>2</sup>ivan.lysikov@nure.ua*

**RESEARCH ON THE APPLICATION OF COMMUNICATIVE  
METHODS OF NEURAL NETWORKS FOR IMAGE  
RESTORATION**

**I. Lysikov, Dr.Sci. O. Rudenko**  
*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*

**Анотація.** Огляд та оцінка нової методики відновлення та обробки зображень, що базується на здатності нейронних мереж аналізувати та розпізнавати описаний об'єкт через текст.

**Ключові слова:** машинне навчання, нейронні мережі, розпізнавання об'єктів, відновлення контурів

**Abstract.** Overview and evaluation of a new technique of image restoration and processing based on neural networks' ability to analyze and discern a described object through text.

**Keywords:** Machine Learning, Neural Networks, Object recognition, Contour restoration

Наразі штучний інтелект є одним із найбільш активно зростаючих напрямків розвитку інформатики, а етап навчання – одним із найбільш ресурсоемних етапів створення та оптимізації нейронних мереж. Через високі вимоги до обсягу та якості даних, а також велику кількість часу та обчислювальних ресурсів, необхідних для навчання трансформаторів, LLM та інших нейронних мереж, питання оптимізації є дуже важливим для сучасної промисловості, і розробляючи різні рішення, можна отримати глибше розуміння внутрішньої природи нейронних мереж та механізму їх перетворення під час навчання.

Під час збору статистичних даних було винайдено новий метод генерації зображень. Він базувався на концепції, що в підказці не повинно бути незрозумілих колокацій, щоб метод можна було застосовувати до інших випадків. Дані збиралися за допомогою зворотної інженерії підказок шляхом передачі початкових зображень іншим нескоригованим нейронним мережам (у нашому випадку це були Kandinsky, SD, SDXL, Midjourney, DALL-E та Dreamshaper) та наказу їм генерувати підказку з них. Копію Campi Caligula було обрано через простоту композиції та високий середній бал результату генерації. Після цього було зроблено спробу використати зібрану інформацію для формування структури, подібної до підказки, яка, теоретично, повинна допомогти покращити стилістичну кореляцію з оригінальною ознакою. Також було перевірено теорію про те, що подібний конвеєр може бути використаний для збереження контурів. Експеримент полягав у створенні тестового набору даних схем будинків, зворотній генерації підказок з них та спробі відтворити початковий набір даних зі згенерованих підказок.

Генерація контурів та генерація зображень мають фундаментальну схожість у своїх основних цілях, зокрема у збереженні форми та ключових структурних компонентів. Обидва процеси надають пріоритет збереженню основних геометричних та просторових відносин, що визначають об'єкт інтересу. Під час генерації зображень моделі повинні реконструювати візуальні сцени, зберігаючи при цьому основні структури, такі як краї, форми та пропорції, щоб забезпечити візуальну цілісність та реалізм. Аналогічно, генерація контурів зосереджується на фіксації контуру та визначенні ознак, що представляють форму об'єкта, слугуючи критичною абстракцією його структурної цілісності. В обох випадках нездатність зберегти ці

ключові елементи призводить до спотворених або невідомих результатів, що підкреслює необхідність кодування та збереження структурної інформації протягом усього процесу генерації.

UDC 004.8:37.018.43

**INTELLIGENT ADAPTIVE LEARNING BASED ON THE  
PROXIMAL POLICY OPTIMIZATION ALGORITHM**  
**Dr.Sci. N. Axak<sup>1</sup>[0000-0001-8372-8432], Ph.D. M. Kushnaryov<sup>2</sup>[0000-0002-3772-3195], A.  
Tatarnykov<sup>3</sup>[0000-0002-1632-8188]**

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*  
*EMAIL: <sup>1</sup>nataliia.axak@nure.ua, <sup>2</sup>maksym.kushnarov@nure.ua,*  
*<sup>3</sup>yurii.shelikhov@nure.ua*

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ  
АЛГОРИТМУ PROXIMAL POLICY OPTIMIZATION**

**Dr.Sci. N. Aksak, Ph.D. M. Kushnaryov, A. Tatarnikov**  
*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

**Анотація.** У роботі представлено агентно-орієнтовану архітектуру адаптивного e-learning середовища, де тьютор реалізований на основі алгоритму PPO. Взаємодія студент-агент моделюється як Марківський процес прийняття рішень. Порівняльний аналіз PPO і DQN у симуляціях та офлайн-оцінка на датасеті ASSISTments-2017 показали перевагу PPO щодо точності рішень і зниження частоти запитів про допомогу. Модель демонструє потенціал для персоналізованого навчання у цифрових середовищах.

**Ключові слова:** Навчання з підкріпленням, глибока Q-мережа, машинне навчання, агентно-орієнтоване моделювання, інтелектуальні системи навчання, персоналізована освіта, моделі прийняття рішень, середовища електронного навчання,

**Abstract.** This work presents an agent-based architecture for adaptive e-learning, where the tutor is implemented using the PPO algorithm. The student-tutor interaction is modeled as a Markov Decision Process. A comparative analysis of PPO and DQN in simulations and offline evaluation on the ASSISTments-2017 dataset confirmed PPO's superiority in decision accuracy and reduction of help requests. The model shows strong potential for personalized learning in digital environments.

**Keywords:** *Reinforcement learning, Deep Q-Network, machine learning, agent-based modeling, intelligent tutoring systems, personalized education, decision-making models, e-learning environments*

Цифрові освітні платформи, зокрема MOOCs, часто мають низький рівень залучення через уніфікований підхід до навчання. Персоналізація за допомогою підкріплювального навчання (RL), зокрема алгоритму Proximal Policy Optimization (PPO), дозволяє адаптувати зміст і зворотний зв'язок відповідно до поведінки студента. У дослідженні змодельоване взаємодію студент–тьютор як Марківський процес прийняття рішень (MDP), реалізовано PPO-агента для стабільного навчання за обмежених даних і доведено його переваги над базовими підходами (випадковий вибір, DQN) у симульованому середовищі. У межах дослідження реалізовано агентно-орієнтовану архітектуру адаптивного e-learning середовища, яка базується на підкріплювальному навчанні (Reinforcement Learning, RL). Агент (тьютор) обирає інструктивні дії (наприклад, складність завдання, підказки, мотивація), тоді як середовище (студент) реагує зміною стану та винагородою. Таке розділення відповідає класичній RL-парадигмі, де агент активно навчається, а середовище залишається реактивним.

Мета полягає у створенні й оцінці RL-фреймворку з використанням алгоритмів Proximal Policy Optimization (PPO) та Deep Q-Network (DQN) для адаптації навчального процесу відповідно до індивідуальних характеристик студента. Основними критеріями ефективності є зниження частоти запитів про допомогу та підвищення точності рішень у тестових завданнях.

Навчальне середовище моделюється як Марківський процес прийняття рішень (MDP)  $(Ag, E, P, S, A, R)$ , де:

$Ag$  – агент (тьютор), який приймає дії (вибір складності, підказки тощо);

$E$  – середовище (студент), що оновлює свій стан;

$P$  – функція переходу між станами;

$S$  – множина станів: точність ( $Pc$ ), частота запитів ( $Fh$ ), час прийняття рішень ( $Td$ ), рівень складності ( $Lc$ ), профіль навичок ( $Ct$ ,  $Da$ ,  $Ra$ ) тощо;

$A$  – множина дій: зміна складності ( $Lt$ ), надання підказки ( $Hr$ ), мотивація ( $Fm$ ), зміна методу навчання ( $Mo$ ), пауза ( $Pb$ );

$R$  – функція винагороди, що оцінює ефективність дій агента.

Функція винагорода визначається як зважена сума змін ключових параметрів (швидкість, точність, когнітивні навички) і враховує як позитивні, так і негативні наслідки. Вагові коефіцієнти визначено за допомогою генетичного алгоритму. Симуляція побудована у середовищі Python 3.10 з використанням бібліотек Gym та Stable-Baselines3. Початковий стан агента задано усередненими значеннями параметрів (наприклад,  $P_c = 0.7$ ,  $T_d = 30$  с,  $C_t = 60$ ,  $F_h = 3$ ), а винагорода нараховується за формулою, яка стимулює швидкі, точні й обґрунтовані рішення з мінімальним запитом допомоги.

У процесі навчання тестувалися три сценарії:

1. Випадкові дії (Random Actions): агент випадково обирає дії, демонструючи поступове зростання винагорода, але без стабільної стратегії.

2. DQN: забезпечив позитивну динаміку, але вимагав більше ітерацій ( $\approx 30$ ) для стабілізації. Агент поступово зменшував частоту запитів і підвищував точність.

3. PPO: досяг високих показників вже на 10–15-й ітерації та стабілізувався значно раніше. Це свідчить про його здатність до швидкої адаптації та ефективної оптимізації стратегії.

Аналіз графіків динаміки винагорода засвідчив, що PPO значно переважає DQN за стабільністю й швидкістю навчання. У PPO агент швидко досягає максимальної винагорода й підтримує її на сталому рівні, тоді як DQN демонструє повільніше зростання. Крім симуляцій, проведено офлайн-оцінювання на відкритому датасеті ASSISTments-2017 (942 816 записів, 10 425 студентів, 26 навичок). За метриками: NDCG (оцінка точності завдань); IPS (оцінка зниження запитів); Doubly-Robust (загальна цінність політики) – алгоритм PPO перевищив базову rule-based політику на +18% точності та –25% частоти запитів про допомогу.

У ході дослідження було показано, що застосування підкріплювального навчання дозволяє значно підвищити ефективність адаптивних електронних освітніх систем. Аналіз результатів симуляційного середовища продемонстрував, що випадкове вибирання дій не забезпечує сталого поліпшення навчальних результатів, оскільки агент не має механізмів для оптимізації своєї поведінки. Використання алгоритму DQN дозволяє агенту поступово формувати ефективні стратегії, однак цей процес вимагає значної кількості ітерацій для стабілізації політики, що може бути недоцільним у реальних умовах з

обмеженням часом або даними. Натомість алгоритм РРО продемонстрував перевагу як у швидкості адаптації, так і в якості сформованої політики: агент досяг високих значень винагород уже на ранніх етапах навчання, зберігаючи стабільність та узгодженість у виборі дій.

Офлайн-оцінювання на датасеті ASSISTments-2017 підтвердило переносимість результатів симуляції: політика РРО зменшила частоту запитів по допомогу та підвищила точність рішень, що засвідчує практичну придатність моделі для персоналізованого навчання.

УДК 004.9

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗРАХУНКУ ЯКОСТІ  
ОСВІТЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Д. Шибасв<sup>1,2</sup>[0000-0002-3260-5843], Д. Романчук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Коледж «Сервер», Україна

<sup>2</sup>Межрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL: shybaiev.ds@server.odessa.ua

**AUTOMATION OF LIGHTING QUALITY CALCULATION  
PROCESSES USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES**

**D. Shybaiev<sup>1,2</sup>, D. Romanchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Server College, Ukraine

<sup>1,2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

**Анотація.** Розглядається концепція інформаційної системи для науково обґрунтованого проектування освітлення. Система враховує фізіологічний, психологічний, енергетичний та нормативний аспекти, підтримує моделювання біологічного впливу світла, адаптивні сценарії освітлення та аналіз енергоефективності, що відповідає сучасним вимогам до якості середовища.

**Ключові слова:** освітлення, біологічний вплив світла, енергоефективність, моделювання.

**Abstract.** The concept of an information system for scientifically based lighting design is considered. The system takes into account physiological, psychological, energy and regulatory aspects, supports modeling of the biological impact of light, adaptive lighting scenarios and energy efficiency analysis, which meets modern requirements for environmental quality.

**Keywords:** *lighting, biological impact of light, energy efficiency, modeling.*

Актуальність розробки спеціалізованої інформаційної системи для проєктування освітлення зумовлена об'єктивними обмеженнями традиційних, переважно емпіричних методів. Такі підходи часто не здатні врахувати синергетичний ефект від взаємодії численних параметрів світлового середовища, що призводить до субоптимальних, а іноді й помилкових рішень. Стрімкий розвиток цифрових технологій та зростання вимог до якості життя диктують необхідність переходу до системного, науково обґрунтованого моделювання. Подібна інформаційна система має функціонувати як багатофакторна платформа підтримки прийняття рішень, що забезпечує комплексний аналіз та багатокритеріальну оптимізацію проєктів освітлювальних установок. Її архітектура повинна інтегрувати фізичні моделі, нормативні вимоги та людино-орієнтовані критерії для створення збалансованого світлового середовища. Центральним елементом проєктування є глибоке розуміння комплексного впливу світла на фізіологію людини.

На візуальному рівні ключовими є рівень освітленості та індекс передавання кольору (CRI). Недостатня освітленість призводить до зорової напруги та втоми, тоді як низький показник CRI спотворює сприйняття кольорів, що збільшує когнітивне навантаження та є неприпустимим у таких критичних зонах, як операційні зали чи навчальні аудиторії. Водночас не менш важливим є невізуальний, біологічний вплив світла [1]. Спектральний склад випромінювання, особливо у синій частині спектра, безпосередньо впливає на ендокринну систему шляхом пригнічення синтезу мелатоніну. Це може спричинити порушення циркадних ритмів, що проявляється у проблемах зі сном та психоемоційних розладах. Тому інформаційна система повинна містити інструменти для моделювання та впровадження динамічного, або циркадного, освітлення, яке адаптує спектр і яскравість світла протягом доби, імітуючи природний цикл.

Паралельно з фізіологічним, необхідно враховувати психологічний аспект сприйняття світла, що є інструментом архітектурної психології. Параметри освітлення безпосередньо модулюють емоційне сприйняття простору, впливаючи на настрій та продуктивність людини. Доведено, що колірна температура є одним з головних регуляторів. Теплі відтінки світла (до 3500 K) створюють атмосферу затишку та сприяють

релаксації, тоді як нейтральні та холодні відтінки (понад 4000 K) підвищують концентрацію уваги та працездатність. Врахування цих факторів є обов'язковою умовою для створення комфортного житлового чи робочого середовища [2]. Сучасний підхід, відомий як людино-орієнтоване освітлення (Human-Centric Lighting), ставить саме ці психологічні та фізіологічні потреби в центр проєктного рішення.

Техніко-економічна та екологічна доцільність є не менш вагомими аргументами. Грамотне планування з використанням сучасних енергоефективних технологій, таких як світлодіодні джерела та інтелектуальні системи керування, дозволяє скоротити витрати електроенергії на освітлення до 80% порівняно з застарілими системами [3]. Це не лише забезпечує пряму економію фінансових ресурсів, але й сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу, позитивно впливаючи на екосистему. Таким чином, інформаційна система проєктування має обов'язково включати модулі аналізу енергоефективності та розрахунку вартості життєвого циклу обладнання. Усі проєктні рішення, що генеруються системою, повинні проходити автоматичну верифікацію на відповідність чинним державним будівельним нормам, зокрема ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Розробка інтегрованої інформаційної системи для проєктування освітлення є комплексною науково-технічною задачею, вирішення якої є критично важливим для сучасної інженерії та архітектури. Така платформа має об'єднати в єдиному цифровому середовищі бази фотометричних даних світильників, фізично коректні алгоритми розрахунку розподілу світла, модулі оптимізації та інструменти для моделювання біологічного та психологічного впливу світла. Її впровадження дозволить не лише покращити якість життя та праці людей, але й сприятиме раціональному використанню ресурсів та розвитку екологічно орієнтованого, сталого будівництва.

#### **Література**

1. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2018). *Pryrodne i shtuchne osvittlennia: DBN V.2.5-28:2018* [Natural and artificial lighting: State building norms]. Minregionbud.
2. Ashryatov, A. O., Nikitchenko, I. V., & Sorokin, D. V. (2020). *Avtomatyzovani systemy keruvannia osvittlenniam na osnovi kontseptsii Human Centric Lighting* [Automated lighting control systems based on the Human Centric Lighting concept]. *Svitlo-LUX, 1*, 24–27.

3. Popov, V. V., & Cherniavska, M. V. (2018). Analiz vplyvu yakosti osvittlennia na pratsezdatsnist liudyny [Analysis of the impact of lighting quality on human performance]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist*, 23(1299), 78–83.

UDC 004.8

## **THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL TWINS IN IOT SYSTEMS**

**Y. Shcherbyna** <sup>1[0009-0002-0150-3091]</sup>, **Ph.D. I. Shpinareva** <sup>2[0000-0001-9208-4923]</sup>

*Odesa I.I. Mechnikov National University*

*EMAIL: <sup>1</sup>shcherbinag2001@gmail.com, <sup>2</sup>ishpinareva@gmail.com*

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ІОТ СИСТЕМАХ**

**Є.Щербина, Ph.D. І. Шпінарева**

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова*

**Анотація.** У роботі розглянуто питання актуальності та ефективності використання методів машинного навчання та цифрових двійників для вирішення задач підтримки прийняття рішень та скорочення витрат. Поєднання цифрових двійників та ШІ в межах IoT-середовища є ключовим рушієм цифрової трансформації підприємств і невід'ємною складовою розвитку Індустрії 4.0 та сприяє значному підвищенню ефективності виробничих процесів, дозволяючи оптимізувати використання матеріальних, енергетичних та людських ресурсів, а також забезпечити підтримку прийняття управлінських рішень у реальному часі.

**Ключові слова:** IoT, цифрові двійники, штучний інтелект, системи підтримки прийняття рішень

**Abstract.** The paper examines the relevance and effectiveness of using machine learning methods and digital twins to solve decision-making support and cost reduction problems. The combination of digital twins and AI within the IoT environment is a key driver of digital transformation in enterprises and an integral part of the development of Industry 4.0. It contributes to a significant increase in the efficiency of production processes, allowing for the optimisation of material, energy and human resources, as well as providing real-time support for management decision-making.

**Keywords:** IoT, digital twins, artificial intelligence, decision support systems

Останнім часом особливу увагу приділяють інтеграції моделей штучного інтелекту та цифрових двійників в IoT-системи для вирішення завдань Індустрії 4.0 на підприємствах, а саме для оптимізації використання певних ресурсів та підтримки прийняття рішень. Про це свідчить стрімко зростаюча кількість наукових статей на цю тему в останні роки [1, 2].

Цифрові двійники – віртуальні репрезентації об'єктів або систем, створених для точного відображення фізичного об'єкта. Вони надають можливість отримувати деталізовану та актуальну інформацію про стан IoT-системи [3].

Такі моделі забезпечують можливість безперервного моніторингу стану IoT-систем, аналізу великого обсягу даних, отриманих з фізичних сенсорів, і створення прогностичних сценаріїв для своєчасного виявлення аномалій або потенційних відмов.

Штучний інтелект — це комплекс технологій, призначених для того, щоб надати комп'ютерам здатність мислити подібно до людини: аналізувати події, встановлювати між ними зв'язки, приймати рішення та керувати процесами для ефективного вирішення бізнес-завдань. [4].

Наразі більшість систем використовують ці технології для вирішення вузького спектру задач та потребують встановлення додаткових пристроїв в існуючу IoT-систему: SensorFlow, Verdigris EV2 Power Meter та Verdigris EV2 Pro Power Quality [5, 6]. Такі системи не можуть бути адаптивними до складного середовища бізнесу через нестачу функціоналу щодо обробки даних з інших пристроїв та підтримки прийняття рішень щодо роботи всієї системи.

Можливим варіантом вирішення цієї задачі є створення системи із використанням графових нейронних мереж, що можуть ефективно працювати із даними, отриманими з цифрових двійників через їхню графову структуру в IoT-системі [7]. GNN – модель нейронної мережі, що дозволяє обробляти графовоструктуровану інформацію без стадії попередньої обробки, зберігаючи таким чином топологічні відносини між вузлами графа. Окрім навчання з вчителем, пропонується використання методу навчання з підкріпленням задля покращення взаємодії із реальною системою та швидкого адаптування до змін у бізнес-процесах [8].

Застосування таких передових підходів дозволяє створити інтелектуальні системи, які не лише прогнозують і моделюють поведінку об'єктів, але й активно впливають на процеси їх управління, підвищуючи загальну

ефективність та стабільність роботи підприємств у контексті Індустрії 4.0.

### Література

1. Khadam, U., Davidsson, P., & Spalazzese, R. (2024). Exploring the role of artificial intelligence in Internet of Things systems: A systematic mapping study. *Sensors*, 24(20), 6511. <https://doi.org/10.3390/s24206511>
2. Alnaser, A., Maxi, M., & Elmousalami, H. (2024). AI-powered digital twins and Internet of Things for smart cities and sustainable building environment. *Applied Sciences*, 14(24), 1–28. <https://doi.org/10.3390/app142412056>
3. Liuță, M., Moisescu, M., Pop, E., Ionita, A., Caramihai, S., & Mitulescu, T. (2024). Digital twin: A review of the evolution from concept to technology and its analytical perspectives on applications in various fields. *Applied Sciences*, 14(13), 1–38. <https://doi.org/10.3390/app14135454>
4. Ghosh, A., Chakraborty, D., & Law, A. (2018). Artificial intelligence in Internet of Things. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 3(4), 208–218. <https://doi.org/10.1049/trit.2018.1008>
5. SensorFlow. (2025, June 1). Smart hotel software technology. Retrieved from <https://www.sensorflow.co/hotel-energy-saving-solutions/smart-hotel-software-technology/>
6. Verdigris. (2025, June 1). Fast, reliable M&V – without the hassle. Retrieved from <https://www.verdigris.co/products/analytics>
7. Tung, N. X., Tung, L., et al. (2025). Graph neural networks for next-generation IoT: Recent advances and open challenges. *Computer Science*, 1–37. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.20634>
8. Ghasemi, M., & Ebrahimi, D. (2024). Introduction to reinforcement learning. *Computer Science*, 1–19. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.07712>

УДК 004.415

### **СИМУЛЯЦІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЙМОВІРНОСТІ УСПІХУ СТАРТАПУ НА ОСНОВІ ЛОГІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**Д. Шибасєв<sup>1</sup>[0000-0002-3260-5843], М.І.Чумаченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Коледж «Сервер», Україна

<sup>2</sup>Межрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL; shybaiev.ds@server.odessa.ua

## SIMULATION MODEL FOR ASSESSING THE PROBABILITY OF A STARTUP'S SUCCESS BASED ON LOGICAL-MATHEMATICAL MODELING

D. Shybaiev<sup>1</sup>, M. Chumachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Server College, Ukraine

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

**Анотація.** У тезах представлено симулятор для ймовірнісної оцінки успіху стартапу, що базується на логіко-математичному моделюванні та враховує кількісні й якісні фактори: динаміку ринку, фінанси, масштабованість, команду та зовнішні впливи. Інтерактивний інструмент дозволяє ітерувати параметри та оцінювати ризики, забезпечуючи підтримку прийняття рішень підприємцями в різних галузях.

**Ключові слова;** стартап, оцінка успіху, логіко-математичне моделювання, стохастичне моделювання, ризик-менеджмент, динаміка ринку, фінансова життєздатність.

**Abstract.** The abstract presents a simulator for probabilistic assessment of startup success, based on logical-mathematical modeling and taking into account quantitative and qualitative factors: market dynamics, finances, scalability, team and external influences. The interactive tool allows you to iterate parameters and assess risks, providing decision-making support for entrepreneurs in various industries.

**Keywords;** startup, success assessment, logical-mathematical modeling, stochastic modeling, risk management, market dynamics, financial viability.

У динамічному та конкурентному середовищі підприємництва точна оцінка потенційного успіху стартапу є критичним, але водночас складним завданням. Підприємці та інвестори стикаються з невизначеністю, що виникає через волатильність ринку, обмеження ресурсів та непередбачувані зовнішні фактори. Традиційні підходи до оцінки стартапів часто спираються на фрагментарні аналізи, такі як дослідження ринку або фінансове прогнозування, які можуть не враховувати взаємопов'язаний характер змінних, що впливають на результат підприємства [1]. Щоб усунути цю прогалину, у цій статті пропонується складний симулятор стартапу, який використовує логіко-математичне моделювання для надання ймовірнісної оцінки успіху стартапу. Інтегруючи широкий спектр вхідних факторів – від кількісних показників, таких як вимоги до капіталу та прогнози доходів, до якісних елементів, таких як досвід команди та

позиціонування на ринку – цей симулятор пропонує цілісний інструмент для оцінки доцільності проекту [2].

Симулятор стартапу спроектовано на надійній логіко-математичній структурі, яка синтезує різноманітні вхідні фактори для генерації ймовірного балу успіху [3]. По суті, система використовує стохастичне моделювання та передові алгоритми для обробки як детермінованих, так і ймовірнісних даних, забезпечуючи комплексну оцінку потенціалу стартапу. Вхідні фактори класифікуються за кількома ключовими областями: динаміка ринку, фінансова життєздатність, операційна масштабованість, компетентність команди та зовнішні впливи. Динаміка ринку включає такі змінні, як розмір цільового ринку, тенденції зростання та інтенсивність конкуренції, які кількісно визначаються за допомогою історичних даних та прогнозової аналітики. Фінансова життєздатність оцінюється за допомогою детальних прогнозів грошових потоків, аналізу точки беззбитковості та потреб у фінансуванні, при цьому симулятор включає аналіз чутливості для врахування економічних невизначеностей. Операційна масштабованість оцінює здатність стартапу зростати без шкоди для ефективності, враховуючи логістику ланцюга поставок, виробничі потужності та технологічну інфраструктуру. Компетентність команди моделюється шляхом аналізу досвіду, навичок та згуртованості команди засновників, використовуючи зважені системи оцінювання, щоб відобразити їх вплив на успіх. Зовнішні впливи, такі як зміни в регулюванні або макроекономічні зрушення, враховуються за допомогою сценарних симуляцій, які дозволяють користувачам перевіряти стійкість стартапу за різних умов.

Архітектура симулятора проектується таким чином, щоб бути зручною для користувача, але водночас математично точною. Користувачі вводять дані через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, де вони можуть вказувати значення для кожного фактора або покладатися на оцінки за замовчуванням, отримані з галузевих орієнтирів. Система використовує комбінацію лінійного програмування, симуляцій Монте-Карло та басівського висновку для обробки цих вхідних даних та створення розподілу ймовірності успіху. Цей розподіл забезпечує діапазон потенційних результатів, від оптимістичних до песимістичних сценаріїв, дозволяючи підприємцям зрозуміти ризики та можливості, пов'язані з їхнім підприємством. Ключовою особливістю симулятора є його ітеративний механізм зворотного зв'язку, який дозволяє

користувачам коригувати вхідні параметри та спостерігати, як зміни впливають на показник успіху.

Для забезпечення практичної застосовності симулятор проєктується з урахуванням масштабованості та адаптивності. Він сумісний з різними галузями, від технологій та охорони здоров'я до споживчих товарів та послуг, дозволяючи користувачам налаштовувати вхідні фактори, щоб відобразити динаміку, специфічну для конкретного сектору. Запропонований симулятор стартапів є значним прогресом у сфері прийняття підприємницьких рішень, пропонуючи потужний інструмент для оцінки доцільності нових підприємств. Інтегруючи логіко-математичне моделювання з комплексним аналізом вхідних факторів, симулятор забезпечує ймовірнісну оцінку успіху, яка є одночасно точною та практичною.

### **Література**

1. Solovei, D. M. (2021). Modeliuvannia startup-ekosystem z vykorystanniam stokhastychnykh metodiv [Modeling of startup ecosystems using stochastic methods]. *Systemni tekhnologii*, 1(138), 45–55. <https://doi.org/10.20535/st.2021.138.045>
2. Pavlenko, I. V., & Kravchenko, M. O. (2022). Zastosuvannia baiesivskykh mrezh u prohnozuvanni zhyttiezdatnosti biznes-proiektiv [Application of Bayesian networks in forecasting the viability of business projects]. *Biznes Inform*, 3, 96–103. [https://www.business-inform.net/export\\_pdf/business-inform-2022-3\\_0-pages-96\\_103.pdf](https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2022-3_0-pages-96_103.pdf)
3. Zhang, Y., & Zhao, L. (2023). A probabilistic decision-support system for startup evaluation based on Monte Carlo simulation and multi-factor modeling. *Journal of Business Research*, 158, 113502. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113502>

УДК 004.4

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ СЕНСОРІВ**

**A. Ворошилін**<sup>[0000-0003-9876-5432]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. М. Рудніченко**<sup>[0000-0002-7343-8076]<sup>2</sup></sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL; <sup>1</sup>voroshilin777@icloud.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com*

## PREDICTING TECHNICAL FAILURES OF INDUSTRIAL EQUIPMENT USING SENSOR DATA

A.Voroshyn, Ph.D. M. Rudnichenko  
Odessa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У роботі наведено концепцію проєктування інтелектуальної системи прогнозування технічних несправностей промислового обладнання на основі сенсорних даних. Розглянуто архітектуру рішення, ключові модулі та етапи реалізації, що охоплюють обробку даних, побудову моделей та візуалізацію.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, прогнозування несправностей, сенсори, аналіз даних, машинне навчання

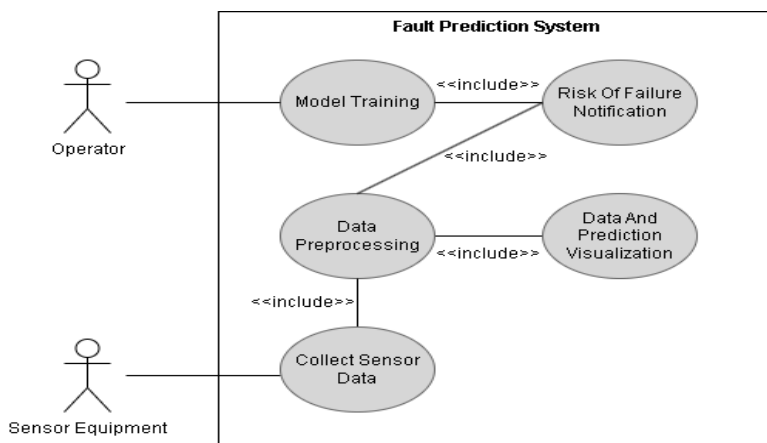
**Abstract.** The paper presents the conceptual design of an intelligent system for predicting industrial equipment failures based on sensor data. The architecture, key modules, and implementation stages are discussed, including data preprocessing, model construction, and results visualization.

**Keywords:** maintenance, prediction, data analysis, machine learning

Надійність та безперебійна робота технічного обладнання мають критичне значення для виробничих підприємств. Раптові відмови можуть призвести до значних втрат, тому в останнє десятиліття активно розвиваються підходи до прогнозно-попереджувального обслуговування. Актуальність цієї роботи полягає в розробці концепції інтелектуальної системи, яка здатна аналізувати дані сенсорів у реальному часі та своєчасно виявляти ознаки майбутніх несправностей [1]. Проєктована система має модульну архітектуру. Основними функціональними блоками є модуль збору даних з датчиків, модуль попередньої обробки та агрегації інформації, аналітичний модуль, який реалізує прогнозування за допомогою алгоритмів машинного навчання, та модуль візуалізації й оповіщення. У якості математичного ядра планується використання моделей аналізу часових рядів, таких як рекурентні нейронні мережі (LSTM), а також деревоподібних ансамблів (XGBoost) для задач класифікації станів [2]. Особливу увагу приділено розробці UML-діаграм, які відображають логіку взаємодії компонентів системи. На рисунку 1 подано діаграму варіантів використання, де користувач має змогу ініціювати процес прогнозування, переглядати поточний стан обладнання, отримувати попередження про ймовірну несправність та експортувати звіти.

Система реалізовуватиметься у вигляді десктопного або веб-застосунку з можливістю підключення до локальної або віддаленої бази даних. Збір даних здійснюється із сенсорів температури, вібрації, тиску, швидкості тощо, що встановлені на обладнанні. Після агрегації дані нормалізуються, очищуються від шумів і подаються на вхід моделей прогнозування. У разі виявлення аномалії система генерує повідомлення із вказанням обладнання та очікуваного типу відмови.

Запропоноване рішення дозволяє автоматизувати процес моніторингу стану обладнання, знизити кількість аварійних зупинок, а також покращити планування технічного обслуговування. Надалі можливим є розширення системи на основі додаткових типів сенсорів та використання розподіленої обробки даних.



**Рисунок 1.** Діаграма варіантів використання системи

Проектована система прогнозування технічних несправностей обладнання є прикладом ефективного застосування методів машинного навчання у сфері виробництва. Вона може бути інтегрована у процеси технічного обслуговування підприємств з метою зниження витрат та підвищення стабільності роботи технічних систем.

**Література**

1. Джардін, А. К. С., Лін, Д., & Банджевич, Д. (2006). Огляд діагностики та прогнозування несправностей машин з використанням технічного обслуговування за станом. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510.
2. Zhang, C., Wang, W., & Chen, X. (2020). Sensor-based remaining useful life prediction using LSTM networks. *Sensors*, 20(7), 2104. <https://doi.org/10.3390/s20072104>

УДК 004.4

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ  
РИЗИКІВ ШКОДИ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ВНАСЛІДОК  
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

**Ph.D. М. Рудніченко**<sup>1</sup>[0000-0002-7343-8076], **Д. Шведов**<sup>2</sup> 0009-0002-4823-8782],

**Ph.D. Т. Отрадська**<sup>3</sup>[0000-0002-5808-5647]

<sup>1,2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>3</sup>Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL; <sup>1</sup>nickolay.rud@gmail.com, <sup>2</sup>butgeorg@gmail.com, <sup>3</sup>tv64@ukr.net

**INTELLIGENT SYSTEM FOR ANALYSIS AND ASSESSMENT OF RISK  
DAMAGE TO POPULATION HEALTH DUE TO ATMOSPHERIC AIR  
POLLUTION**

**Ph.D. N. Rudnichenko**<sup>1</sup>, **D. Shvedov**<sup>1</sup>, **Ph.D. T. Otradska**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Odesa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

**Анотація.** У статті представлено інтелектуальну систему для аналізу та класифікації ризиків шкоди здоров'ю населення внаслідок забруднення атмосферного повітря. Для моделювання ризиків застосовано алгоритми машинного навчання XGBoost і LSTM, які показали високу точність та ефективність при екологічних даних.

**Ключові слова:** аналіз даних, оцінка ризиків, забруднення повітря

**Abstract.** The article presents an intelligent system for analyzing and classifying risks of harm to public health due to atmospheric air pollution. Machine learning algorithms XGBoost and LSTM were used to model risks, which showed high accuracy and efficiency with environmental data.

**Keywords:** data mining, risk assessment, air pollution

Забруднення атмосферного повітря є одним із провідних факторів екологічного ризику, що впливають на громадське здоров'я. Високі концентрації шкідливих домішок, таких як діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), дрібнодисперсний пил ( $\text{PM}_{2.5}$  та  $\text{PM}_{10}$ ), вуглець оксид ( $\text{CO}$ ) та діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), прямо пов'язані з розвитком респіраторних, серцево-судинних та онкологічних захворювань [1].

Традиційні методи моніторингу стану повітря потребують доповнення сучасними інтелектуальними засобами аналізу, які дозволяють не лише фіксувати перевищення гранично допустимих концентрацій, а й прогнозувати ризики для здоров'я населення на основі комплексних даних [2,3].

Метою даного дослідження є розробка інтелектуальної системи для оцінювання ризику шкоди здоров'ю залежно від рівня забруднення повітря з використанням методів машинного навчання. Було сформовано датасет, що містив щоденні показники концентрацій забруднюючих речовин у повітрі з відкритих екологічних моніторингових платформ, а також статистику захворюваності населення за відповідними періодами.

Для вирішення задачі класифікації ризику (низький, середній, високий) було протестовано кілька моделей, серед яких найбільш ефективними виявилися градієнтний бустинг XGBoost та рекурентна нейронна мережа LSTM.

У нашій задачі XGBoost продемонстрував точність понад 87% при класифікації рівнів ризику на основі ряду вхідних екологічних параметрів.

LSTM використано для моделювання часових залежностей у даних, що дозволило враховувати динаміку зміни забруднення та його кумулятивний вплив на здоров'я. LSTM-модель показала точність класифікації на рівні 83%, однак мала переваги в прогнозуванні тенденцій ризику в середньо- та довгостроковій перспективі.

Результати порівняння моделей свідчать, що XGBoost доцільно застосовувати для швидкого й точного аналізу ризиків у режимі реального часу, тоді як LSTM може бути корисною для сценарного моделювання та прогнозування наслідків довготривалого забруднення.

Висновки. Запропонована інтелектуальна система дозволяє ефективно оцінювати рівні ризику шкоди здоров'ю внаслідок забруднення повітря. Застосування моделей XGBoost та LSTM

забезпечує як високу точність класифікації, так і можливість врахування часової динаміки.

Надалі планується інтеграція системи в регіональні платформи екологічного моніторингу для підтримки прийняття рішень у сфері охорони здоров'я та довкілля.

### **Література**

1. Popoola, A. O., Popoola, I. A., & Oguntoké, A. O. (2020). Assessment of air pollution and its effects on human health in Ilorin, Kwara State, Nigeria. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 8(2), 44–51.
2. Manogaran, G., Thota, C., Lopez, D., & Sundararajan, R. (2019). Machine learning based models for predicting air quality. In *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* (Vol. 15, pp. 439–452). Springer.
3. Devarakonda, S., Sevusu, P., Liu, H., Liu, R., Iftode, A., & Nath, B. (2013). Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing* (pp. 1–8).

УДК 004.673

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ШЛЯХІВ ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ТА АДАПТАЦІЇ МОДЕЛЕЙ АНАЛІЗУ ДАНИХ У СФЕРІ ЕКОЛОГІЇ**

**М. Рудницький**<sup>[0000-000X-3311-2381]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. І. Шпінарева**<sup>[0000-0001-9208-4923]<sup>2</sup></sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: <sup>1</sup>maximridmi@gmail.com, <sup>2</sup>shpinareva.iryana@gmail.com*

## **RESEARCH OF PROMISING WAYS OF EFFECTIVE IMPLEMENTATION AND ADAPTATION OF DATA ANALYSIS MODELS IN THE SPHERE OF ECOLOGY**

**M. Rudnytskyi, Ph.D. I. Shpinareva**  
*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У статті проаналізовано підходи до впровадження моделей аналізу даних у екології з акцентом на гібридні архітектури, адаптацію до локальних умов та автоматизацію процесів донавчання.

**Ключові слова:** гібридні моделі, машинне навчання, адаптація

**Abstract.** *The article analyzes approaches to implementing data analysis models in ecology with an emphasis on hybrid architectures, adaptation to local conditions, and automation of training processes.*

**Keywords:** *hybrid models, machine learning, adaptation*

Глобальні виклики, пов'язані з деградацією довкілля, зміною клімату та зростанням антропогенного навантаження, зумовлюють потребу у впровадженні інноваційних підходів до моніторингу, прогнозування й управління екологічними ризиками. Одним із ключових інструментів сучасної екологічної аналітики є моделі аналізу даних - від класичних статистичних до алгоритмів машинного навчання й глибинного аналізу [1]. Проте ефективність їх застосування на практиці суттєво обмежується проблемами адаптації до місцевих умов, нестабільністю джерел даних, відсутністю інтероперабельності та браком обчислювальних ресурсів у регіональних екосистемах. У зв'язку з цим важливо не лише розробляти аналітичні моделі, а й формувати системний підхід до їх впровадження - з урахуванням екологічної специфіки, особливостей даних, технічної інфраструктури та управлінських потреб.

Ефективне впровадження моделей аналізу даних у сфері екології передбачає врахування низки технічних, інформаційних та методологічних чинників, серед яких особливу увагу слід приділяти структурі екологічних даних, вибору адекватних моделей, механізмам їх адаптації, а також інтеграції результатів у реальні управлінські процеси [2].

Першочерговим кроком є забезпечення уніфікації та стандартизації джерел екологічної інформації. У зв'язку з різномірністю вхідних даних, що можуть надходити з моніторингових станцій, сенсорних мереж, супутникових спостережень або лабораторних вимірювань, виникає необхідність побудови єдиного середовища збору, зберігання та попередньої обробки. Застосування загальноновживаних форматів обміну даними, таких як GeoJSON, NetCDF, а також реалізація програмних інтерфейсів на базі стандарту SensorThings API, сприяє формуванню єдиної аналітичної інфраструктури. Подальший етап полягає у виборі моделей, здатних коректно інтерпретувати просторово-часові закономірності та виявляти ключові патерни в екологічних даних. Залежно від поставленого завдання - прогнозування рівнів забруднення, класифікація екологічного ризику, виявлення

аномалій чи реконструкція відсутніх даних - доцільним є використан ня сучасних підходів машинного та глибинного навчання. До таких належать рекурентні нейронні мережі (зокрема LSTM та GRU) для роботи з часовими рядами, згорткові мережі (CNN) для аналізу просторової структури, автоенкодера для виявлення нетипових станів, а також графові нейронні мережі, що враховують топологію екологічних систем [3].

Особливої актуальності набуває питання адаптації моделей до локальних екологічних умов [1], що зумовлює потребу в реалізації механізмів донавчання на регіональних даних. Використання технік fine-tuning дозволяє досягти підвищеної точності без необхідності повного перенавчання моделей, а регулярне калібрування параметрів забезпечує збереження релевантності результатів у динамічно змінному середовищі.

Важливо також впроваджувати автоматизовані підходи до адаптації, зокрема моніторинг дрейфу даних, оновлення вагових коефіцієнтів у режимі реального часу та застосування принципів explainable AI для забезпечення прозорості прийнятих рішень. Завершальним компонентом процесу є інтеграція результатів аналітики в управлінські екосистеми. Це передбачає створення веборієнтованих платформ, дашбордів, геоінформаційних інтерфейсів, мобільних застосунків, які дозволяють представникам органів влади, науковцям та громадським організаціям оперативно отримувати узагальнені оцінки стану довкілля та прогнозовані ризики.

Практика доводить, що саме доступність аналітичної інформації у зручному форматі є критичним фактором у забезпеченні екологічної безпеки та прийнятті стратегічних рішень.

Таким чином, вироблення ефективної стратегії впровадження моделей аналізу даних у сфері екології повинно спиратися на міждисциплінарний підхід, що поєднує алгоритмічну складову, адаптивну обробку даних та управлінську орієнтованість системи.

### **Література**

1. Singh, K. P., & Basant, A. (2022). Intelligent data analytics for environmental applications: Review and perspectives. *Environmental Modelling & Software*, 150, 105345.

2. Choubin, B., & Moradi Dashtpaderdi, M. (2023). Machine learning applications in environmental science: Recent advances and future challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 20456–20471.

3. Kotsev, A., Smits, A., & Vandenberghe, F. (2021). The evolution of environmental monitoring systems and their role in data-driven governance. *Journal of Environmental Informatics*, 38(2), 89–98.

УДК 004.4

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ, АЛГОРИТМУ  
ВІДПАЛУ, РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

**О. Тулизик<sup>1</sup>[0000-0001-2345-6789], Ph.D. М. Рудніченко<sup>2</sup>[0000-0002-7343-8076],**

<sup>1</sup>Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна,

<sup>2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна

EMAIL:<sup>1</sup>tylyzyk.a@gmail.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com

**ANALYSIS OF METHODS BASED ON GENETIC ALGORITHMS,  
VIDPALU ALGORITHM, SWARM INTELLIGENCE AND NEURAL  
METERINGS**

**O. Tulizyk<sup>1</sup>, Ph.D. M. Rudnichenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

<sup>2</sup>Odessa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У даній роботі розглянуто сучасні методи розв'язання задачі складання розкладу, такі як: генетичні алгоритми, алгоритм відпалу, методи ройового інтелекту та штучні нейронні мережі.

**Ключові слова:** розклад, оптимізація, генетичні алгоритми, алгоритм відпалу, ройовий інтелект, нейронні мережі, штучний інтелект

**Abstract.** This paper considers modern methods for solving the scheduling problem, such as: genetic algorithms, annealing algorithm, swarm intelligence methods and artificial neural networks.

**Keywords:** scheduling, optimization, genetic algorithms, annealing algorithm, swarm intelligence, neural networks, artificial intelligence

Задача складання розкладу передбачає призначення ресурсів (людей, аудиторій, машин тощо) у часові проміжки з урахуванням різноманітних обмежень. Такі задачі є NP-складними і потребують

застосування наближених або евристичних методів для отримання прийняттого рішення за прийнятний час.

Генетичні алгоритми (ГА) базуються на принципах еволюції. Рішення задачі представляється у вигляді «хромосом», які піддаються операціям селекції, кросинговеру і мутації. ГА ефективно працюють у складних задачах з великою кількістю змінних і обмежень. Метод часто використовується у ситуаціях, де важливо дослідити велику кількість можливих комбінацій та знайти прийнятний варіант без гарантії глобального оптимуму. ГА особливо корисні при автоматичному складанні розкладів із суворими ресурсними обмеженнями. Цей метод імітує процес повільного охолодження металу. На кожному етапі допустимі незначні погіршення рішення з певною ймовірністю, що дозволяє обійти локальні мінімуми. Алгоритм доцільно застосовувати для задач, де існує ймовірність потрапляння в локальні мінімуми.

Ройовий інтелект моделює поведінку біологічних спільнот (наприклад, мурашок або пташиних зграй). Найбільш відомим є алгоритм мурашиної колонії, у якому окремі агенти (мурашки) досліджують простір рішень, взаємодіючи між собою. Такі методи ефективні для задач, що можуть бути представлені у вигляді маршрутів або комбінаційних шляхів. У задачах розкладу можуть застосовуватись для пошуку найкращих маршрутів доступу до ресурсів або комбінування декількох обмежень. Добре підходять для розподілених або паралельних обчислювальних систем.

Нейронні мережі є моделями, що здатні навчатися на прикладах. Вони використовуються для виявлення прихованих закономірностей та шаблонів у даних. Для задач розкладу нейронні мережі можуть використовуватись у випадках, коли є великий обсяг історичних даних. Нейромережі можуть навчитись прогнозувати оптимальні розклади або коригувати наявні залежно від змін у вхідних параметрах. Також їх використовують у гібридних системах разом із класичними алгоритмами.

Задача складання розкладу залишається складною та актуальною у багатьох галузях, і її ефективне вирішення потребує застосування сучасних алгоритмічних підходів/ Кожен з розглянутих методів — генетичні алгоритми, алгоритм відпалу, ройовий інтелект та нейронні мережі — має свої особливості, що визначають сферу їхнього практичного використання. Залежно від поставленої задачі, обсягу даних, кількості обмежень та обчислювальних ресурсів, доцільно

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

обирати той чи інший підхід або їх поєднання. Рациональне застосування відповідного методу дозволяє покращити точність, ефективність та адаптивність систем складання розкладів.

**Література**

1. Xu, J., Wu, H., Li, Y., Zhang, T., & Wang, M. (2024, May). Optimization of worker scheduling at logistics depots using genetic algorithms and simulated annealing. In *Proceedings of the arXiv Conference* (pp. 201–212). arXiv:2405.12345
2. Chen, X., Qu, R., Liu, S., Yang, Q., & Zhang, H. (2025, April). Genetic programming with reinforcement learning trained transformer for real-world dynamic scheduling problems. In *Proceedings of the arXiv Conference* (pp. 101–114). arXiv:2504.09876
3. Zhang, W., Bao, X., Hao, X., & Gen, M. (2025, January). Metaheuristics for multi-objective scheduling problems in Industry 4.0 and 5.0: A state of the arts survey. In *Proceedings of the Frontiers in Industrial Engineering* (pp. 1–20).

UDC 004.4: 004.8

**ANALYSIS OF THE STATE OF GROUNDWATER IN ZHYTOMYR  
REGION**

**Ph.D. I. Suhoniak**<sup>1[0000-0002-0484-4839]</sup>, **G. Marchuk**<sup>2[0000-0003-2954-1057]</sup>,  
**Ph.D. V. Levkivskyi**<sup>3[0000-0002-1643-0895]</sup>, **L. Obozna**<sup>4[0000-0002-2613-2437]</sup>

*Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine*  
*EMAIL: <sup>1</sup>org\_sii@ztu.edu.ua, <sup>2</sup>pzs\_mgv@ztu.edu.ua,*  
*<sup>3</sup>levkivskyi@ztu.edu.ua, <sup>4</sup>obozna@ukr.net*

**АНАЛІЗ СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

**Ph.D. I. Сугоняк, Г. Марчук, Ph.D. В. Левківський, Л. Обозна**  
*Державний університет «Житомирська політехніка», Україна*

**Abstract.** *This research presents a comprehensive approach to monitoring and analysing groundwater quality in the Zhytomyr region. Using a combination of regression analysis, machine learning methods (Naïve Bayes and K-means clustering), and advanced statistical modelling, the expert system provides an effective platform for visualising, predicting, and managing water quality data. The results reveal generally low water quality in the region, highlight priority areas for intervention, and demonstrate the system's potential to inform public health strategies and water management policies. By centralising data collection and providing predictive capabilities, the system serves as a valuable tool for improving ecological and public health outcomes.*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Keywords:** intellectual analysis, groundwater, water sources, water pollution, water monitoring.

**Анотація.** Дослідження присвячене розробці експертної системи для моніторингу та аналізу якості ґрунтових вод Житомирської області. Система базується на сучасних вебтехнологіях та методах машинного навчання (класифікація, кластеризація, регресія) і забезпечує збирання, обробку та візуалізацію даних. Система дозволяє виявляти забруднені зони, прогнозувати тенденції якості води та приймати екологічно обґрунтовані рішення для покращення стану водних ресурсів регіону. Її впровадження сприяє прийняттю ефективних екологічних рішень на регіональному рівні.

**Ключові слова:** інтелектуальний аналіз, підземні води, джерела води, забруднення води, моніторинг води.

One of the most pressing ecological concerns in Ukraine is that of water contamination. Although groundwater constitutes the primary source of water supply, particularly in rural areas, its quality frequently fails to meet sanitary standards, thereby posing a threat to public health. The current system of water quality monitoring in Ukraine is characterised by its lack of systematicity, with the results of individual studies not being made available to the public through open access. This complicates the conduct of a comprehensive analysis and the adoption of informed decisions at the regional level [1, 2].

The objective of this study is to develop a comprehensive framework aimed at resolving these issues through the establishment of a centralized database for collecting and storing information on groundwater quality in the Zhytomyr region. The system has been formally recognized for its capacity to conduct comprehensive monitoring, visualize data, and predict pollution levels. The ultimate aim is to facilitate the assessment of the overall ecological status and to identify pathways for its improvement.

The following methods for calculation, prediction, and statistical analysis were employed [3]: regression analysis; the Naïve Bayes classifier; the Gauss–Markov random field model was applied to quantify samples based on the statistical characteristics (mean and standard deviation) of existing data; cluster analysis was used to group water bodies according to their primary quality indicators (BOD5, COD, dissolved oxygen, and pH), thereby enabling the identification of typical categories of water bodies and distinguishing between relatively uncontaminated and contaminated ones.

This, in turn, facilitated a more accurate assessment of water body quality. The expert system provides users with convenient access to information on water quality in the Zhytomyr region via a web interface. The primary outputs of the system include graphical visualisations illustrating both the temporal dynamics of the number of studies conducted and the spatial distribution of water quality indicators across different water bodies. For example, analyses indicated that studies are conducted consistently throughout the year, and that pH and dissolved oxygen levels remain relatively stable.

Correlation analysis revealed strong relationships among key indicators, including BOD<sub>5</sub>, COD, dissolved oxygen, and pH, suggesting that variations in one parameter significantly influence the others. In contrast, the correlation between lactose-positive *Escherichia coli* (LKP) and the other indicators was comparatively weak.

Cluster analysis identified three distinct groups. Cluster 1 was classified as “relatively clean water,” while Clusters 0 and 2 were classified as “organically polluted water,” differing only in certain centroid characteristics. These results demonstrate that the K-means method effectively separates water quality data based on underlying patterns.

Regression analysis revealed a general downward trend in BOD<sub>5</sub> and LKP indicators between 2010 and 2020. In contrast, COD levels and compliance with established standards remained relatively stable, while the abundance of roundworms exhibited an increasing trend.

Overall, the analysis indicated that water quality in the region is generally low, with only approximately 40% (8 out of 21) of water sources classified as high quality.

The developed expert system proves to be an effective tool for monitoring and analysing groundwater quality in the Zhytomyr region. Its implementation addresses key objectives, including centralised data collection, systematic analysis, and transformation of complex data into a user-friendly format. The application of machine learning algorithms, specifically the Naive Bayes classifier and clustering methods, enables not only visualisation of the current state of water quality but also accurate prediction of future trends, with reported predictive accuracy of up to 99%.

The data obtained from this study possess significant practical value, providing a foundation for informed decision-making aimed at improving the environmental status of water sources. Specifically, the system facilitates:

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

- identification of the most polluted areas, allowing for prioritised interventions;
- development of effective water purification programmes;
- communication to the public and local authorities regarding potential risks associated with drinking water quality.

Overall, the system demonstrates that enhanced monitoring of water sources can have a substantial positive impact on public health in Ukraine.

**References**

1. Yevtushenko, O. (2023). Ecological issues of water resources of Ukraine and the ways of their solution. *Water Bioresources and Aquaculture*, 13, 136–151. <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.11>
2. Shestopalov, O., Sakun, A., Lizantan, P., et al. (2024). Analysis of water quality indicators: Contemporary aspects and challenges. *Ecological Sciences*, 54, 76–82. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.10>
3. Levkivskiy, V., Lobanchykova, N., & Marchuk, D. (2020). Research of algorithms of data mining. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 166, p. 05007). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016605007>

УДК 004.4

**КОНЦЕПЦІЯ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ  
ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ**

**Д. Шведов**<sup>1</sup>[0009-0002-4823-8782], **Ph.D. М. Рудніченко**<sup>2</sup>[0000-0002-7343-8076],

**Dr.Sci. І. Петров**<sup>3</sup> [0000-0002-8740-6198]

<sup>1,2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>3</sup>Національний університет «Одеська морська академія», Україна

EMAIL: <sup>1</sup>[butgeorg@gmail.com](mailto:butgeorg@gmail.com), <sup>2</sup>[nickolay.rud@gmail.com](mailto:nickolay.rud@gmail.com), <sup>3</sup>[firmless@ukr.net](mailto:firmless@ukr.net)

**CONCEPT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR  
INTELLECTUAL ANALYSIS OF FINANCIAL RISKS**

**<sup>1</sup>D. Shvedov, <sup>1</sup>Ph.D. N. Rudnichenko, <sup>2</sup>Dr.Sci. I. Petrov**

<sup>1</sup>Odesa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Odesa Maritime Academy National University, Ukraine

***Анотація.** У статті розглянуто гібридну архітектуру глибокого навчання для аналізу фінансових ризиків, яка поєднує LSTM, CNN та Attention-модулі з автоматизованим донавчанням для підвищення точності та адаптивності прогнозування.*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Ключові слова:** *глибинне навчання, фінансові ризики*

**Abstract.** *The article discusses a hybrid deep learning architecture for financial risk analysis that combines LSTM, CNN, and Attention modules with automated retraining to improve forecasting accuracy and adaptability.*

**Keywords:** *neural network, automatic training*

У сучасних умовах глобальної економічної нестабільності ефективне управління фінансовими ризиками є критично важливим як для корпоративного, так і для державного сектору. Традиційні статистичні методи аналізу виявляються недостатньо гнучкими та точними у випадках, коли йдеться про великі обсяги даних, складні нелінійні залежності, високу волатильність ринків та мультифакторні загрози [1]. У зв'язку з цим, дедалі більше застосування отримують інтелектуальні методи обробки фінансових даних, зокрема гібридні моделі глибинного навчання, які поєднують у собі переваги різних архітектур нейронних мереж [2]. Гібридна модель глибинного навчання об'єднує дві або більше архітектури нейронних мереж у межах однієї моделі з метою підвищення точності прогнозування та стійкості до нестабільних даних. У контексті аналізу фінансових ризиків така модель дозволяє об'єднати короткострокову пам'ять, просторові взаємозв'язки, увагу до вагомих факторів та здатність до класифікації. У запропонованій концепції гібридна нейромережа будується за модульним принципом: модуль часової обробки реалізується через LSTM або GRU, що аналізують часові ряди фінансових показників, наприклад динаміку прибутковості акцій, кредитних рейтингів або обсяги транзакцій; модуль виявлення патернів побудований на основі мереж CNN, що дозволяють виявляти складні структурні закономірності в мультиваріантних фінансових даних; модуль фокусування уваги застосовує механізм Attention для автоматичного визначення найбільш значущих змінних або часових фрагментів, що впливають на ризик. Фінальний класифікаційний блок - це багатoshарова перцептронна мережа, яка узагальнює результати попередніх модулів і здійснює класифікацію рівня фінансового ризику (низький, середній, високий) або прогноз втрат. Для забезпечення адаптивності моделі в реальному часі реалізовано автоматизований процес донавчання, який включає в себе: динамічне оновлення ваг на основі нових фінансових даних, регулярну перевірку продуктивності

моделі на валідаційному наборі, контроль за переобученням шляхом застосування методів ранньої зупинки і регуляризації.

У рамках дослідної реалізації гібридної системи було сформовано датасет із відкритих фінансових даних (Yahoo Finance, Kaggle, IMF). Проведено серію експериментів на основі історії цін акцій, макроекономічних індикаторів та банківських звітів. Результати показали, що гібридна модель на основі комбінації LSTM, CNN, Attention забезпечує приріст точності прогнозування ризику на 9–13% у порівнянні з традиційними моделями поодинокі архітектури. Автоматизація процесу дозволила моделі бути релевантною до поточних умов без необхідності повного перенавчання.

Гібридні моделі глибинного навчання демонструють високу ефективність для задач інтелектуального аналізу фінансових ризиків. Поєднання впроваджених архітектур дозволяє адаптуватися до складних динамічних умов ринку, підвищити точність та інтерпретованість прогнозів. Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення гібридних архітектур та впровадження в інтегровані фінансові платформи.

### **Література**

1. Zhang, Y., Xu, H., & Wang, J. (2022). Deep learning models for financial time series forecasting: A survey. *IEEE Access*, 10, 42053–42066.
2. Chen, K., Zhou, Y., & Dai, F. (2020). Hybrid LSTM-CNN models for stock price forecasting. *Neural Computing and Applications*, 32, 10809–10820.

UDC 004.8:519.22

### **ANALYSIS OF STUDENT SUCCESS IN LEARNING PROGRAMMING**

**Ph.D. O. Korotun**<sup>1</sup>[0000-0003-2240-7891], **G. Marchuk**<sup>2</sup>[0000-0003-2954-1057],  
**Ph.D. V. Levkivskyi**<sup>3</sup>[0000-0002-1643-0895], **Ph.D. O. Svintsytska**<sup>4</sup>[0000-0002-2613-2437]

*Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine*

*EMAIL: <sup>1</sup>korotun-o@ztu.edu.ua, <sup>2</sup>pzs\_mgv@ztu.edu.ua,*

*<sup>3</sup>levkivskyi@ztu.edu.ua, <sup>4</sup>up\_som@ukr.net*

## АНАЛІЗ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМУВАННЯ

Ph.D. О. Коротун, Г. Марчук, Ph.D. В. Левківський,  
Ph.D. О. Свінцицька

*Державний університет «Житомирська політехніка», Україна*

**Abstract.** The results of a study aimed at improving the effectiveness of the educational process in the “Programming” course by monitoring student performance based on test results are presented. Statistical analysis and machine learning methods were used. Their use made it possible to identify problematic topics, predict students' final performance, and identify groups with different levels of knowledge. The study results are a valuable tool for adapting teaching materials and personalizing educational trajectories, which is especially relevant in the context of distance learning during the war in Ukraine.

**Keywords:** distance learning, performance monitoring, testing, data mining, clustering, regression analysis, programming.

**Анотація.** Представлено результати дослідження, спрямованого на підвищення ефективності освітнього процесу в курсі «Програмування» шляхом моніторингу успішності студентів на основі результатів тестування. Застосовано методи статистичного аналізу та машинного навчання. Використання яких дозволило виявити проблемні теми, спрогнозувати фінальну успішність студентів та ідентифікувати групи з різним рівнем знань. Результати дослідження є цінним інструментом для адаптації навчальних матеріалів та персоналізації освітніх траєкторій, що особливо актуально в умовах дистанційного навчання під війни в Україні.

**Ключові слова:** дистанційне навчання, моніторинг успішності, тестування, аналіз даних, кластеризація, регресійний аналіз, програмування.

Contemporary challenges, including the pandemic and the war in Ukraine, have highlighted the critical importance of effective monitoring of the quality of the educational process, especially in the context of distance learning. Analyzing data obtained from test results is becoming a key tool for objectively assessing students' knowledge, identifying gaps in the curriculum, and adapting educational programs [1, 2]. This approach allows not only to assess the current level of preparation but also to personalize learning by creating individual educational trajectories for students.

The novelty of the research lies in the application of machine learning algorithms. Visualization of the results provides teachers with a tool for quick and informed interpretation of data. The research also focuses on the

individual needs of students, which contributes to the development of personalized learning plans. The problem of monitoring student performance is multifaceted and requires the implementation of modern technologies, especially in the transition to distance learning. The scientific community confirms that the integration of artificial intelligence into education significantly increases its effectiveness, optimizes processes, and motivates participants [3, 4]. The study aims to improve the effectiveness of the educational process in the “Programming” course by monitoring student performance based on test results using Data Mining methods. The study used materials from the “Programming” course for first-year students at Zhytomyr Polytechnic State University (specialties 125, 123, 122, 126). A total of 177 students participated in the testing. The training was conducted in a mixed format (offline/online). The analysis used the results of five interim and one final tests covering the course's main topics: data types, operators, loops, arrays, functions, pointers, and strings. The tests had different numbers of questions and points, corresponding to the complexity and importance of the topics. Analysis of the statistics showed significant differences in student performance by topic. In particular, the topic “Branching and Loop Operators” (Test 2) proved to be the most difficult, while the topics “C Data Types, Operations, and Operators” (Test 1) and “Pointers and Strings” (Test 5) were better understood. The average score ranges from 7.2 to 9.3 points, indicating a predominantly high student preparation level. The heterogeneity of knowledge in some groups (especially KH-23-3 and KB-23-1) was confirmed, as indicated by high standard deviation values and outliers. This indicates the need for an individualized approach to learning. In most cases, the distribution of grades is close to normal, but with certain deviations. Cluster analysis of the final test revealed that most students (69) have a high level of knowledge, 54 have an average level, and only 6 have a low level. This indicates that the course material has been successfully mastered overall. Analysis by question difficulty (17 difficult, 44 medium, 39 easy) allows teachers to adapt the course content, paying more attention to complex topics.

The constructed multiple linear regression model (with R-Squared = 0.8) allowed us to predict students' final performance with high accuracy based on interim assessments. An example of a prediction for a specific student showed a slight deviation (7.77 vs. 8.2), confirming the high predictive ability of the model. This allows teachers to identify students who need additional support in advance and intervene in the educational process

before the final assessment. The study confirmed the effectiveness of data mining methods in monitoring student performance in the “Programming” course. The study results provide teachers with tools for making informed decisions about improving the educational process, adapting teaching materials, and providing personalized support to students, which is critical for improving the quality of education. Further research may focus on implementing more complex machine learning models and analyzing other factors that affect student performance.

### **References**

1. Marchuk, G., Levkivskiy, V., Suhoniak, V., & Panarina, I. (2024). Application of descriptive statistics for the analysis of student test results. *Technical Engineering*, 1(93), 185–193. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-185-193](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-185-193)
2. Marchuk, G., Levkivskiy, V., & Kaliberda, S. (2019). Intellectual analysis of data. *Scientific and Technical Journal "Bionics of Intelligence,"* 1(92), 65–70. [https://doi.org/10.30837/bi.2019.1\(92\).11](https://doi.org/10.30837/bi.2019.1(92).11)
3. Donets, I., Yeroshenko, G., Atsenko, A., Shevchenko, K., & Ryabushko, O. (2023). Testing as a means of control of knowledge of medical students. *Pedagogical Sciences*, 1, 54–59. <https://doi.org/10.33989/2524-2474.2023.81.289371>
4. Bilyakovska, O. (2022). Test as an effective means of assessing the quality of students' knowledge. *Academic Notes. Series: Pedagogical Science*, 1, 16–20. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-204-16-20>

UDC 004.8

### **PERSON RE-IDENTIFICATION USING ATTENTION MECHANISMS AND FEATURE DECORRELATION**

**V. Sapozhnikov** <sup>1[0009-0000-4661-6503]</sup>, **Ph.D. I. Shpinareva** <sup>2[0000-0001-9208-4923]</sup>

*Odesa I.I. Mechnikov National University*

*EMAIL: <sup>1</sup>vitalii.sapozhnikov@gmail.com, <sup>2</sup>ishpinareva@gmail.com*

### **ПОВТОРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОСОБИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАНІЗМІВ УВАГИ ТА ДЕКОРЕЛЯЦІЇ ОЗНАК**

**В.Сапожніков, к.ф.-м.н. І.Шпінарева**

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова*

***Анотація.** У роботі досліджуються сучасні методи повторної ідентифікації особи та пропонується модифікація моделі ResNet-50. Особливу*

*увагу приділено впровадженню механізмів уваги: Channel Attention Module та Position Attention Module для фокусування на релевантних ознаках особи. Для зменшення кореляції між ознаками використано механізм Decorrelation Covariance Loss.*

**Ключові слова:** *повторна ідентифікація особи, ResNet-50, механізми уваги, Channel Attention Module, Position Attention Module, DeCov Loss.*

**Abstract.** *This paper investigates modern person re-identification methods and proposes a modification of the ResNet-50 model. Particular attention is paid to implementing attention mechanisms: the Channel Attention Module and the Position Attention Module to focus on relevant person features. The Decorrelation Covariance Loss is used to reduce the correlation between features.*

**Keywords:** *person re-identification, ResNet-50, attention mechanisms, Channel Attention Module, Position Attention Module, DeCov Loss.*

Повторна ідентифікація особи (Person Re-ID) є важливою задачею комп'ютерного зору, що набуває особливої актуальності в сучасному суспільстві з огляду на стрімкий розвиток систем відеоспостереження. У сфері громадської безпеки технологія допомагає у розслідуванні злочинів та управлінні масовими заходами, а на комерційних об'єктах такі системи дозволяють виконувати контроль доступу та облік робочого часу [1]. Наразі існують різні архітектури та підходи для вирішення задач Person Re-ID, серед яких ResNet, DenseNet, PCB та інші. Проте існуючі рішення мають такі проблеми: низька розрізнявальна здатність, недостатня стійкість до зміни ракурсу та часткової оклюзії та високу чутливість до умов зйомки.

Метою роботи є підвищення ефективності повторної ідентифікації особи шляхом модифікації базової моделі ResNet-50 через впровадження механізмів уваги та регуляризації ознак. Під ефективністю розуміється покращення точності ідентифікації у різних умовах. ResNet-50 складається з п'яти основних блоків: початкового згорткового шару та чотирьох residual блоків (від res\_conv\_1 до res\_conv\_4). Базова архітектура використовує глобальне об'єднання ознак для формування фінального дескриптора особи [2].

У роботі запропоновані наступні модифікації моделі повторної ідентифікації особи.

1) Впровадження Channel Attention Module (CAM). CAM призначений для моделювання взаємозв'язків між каналами карти ознак. Модуль обчислює матрицю спорідненості між каналами та

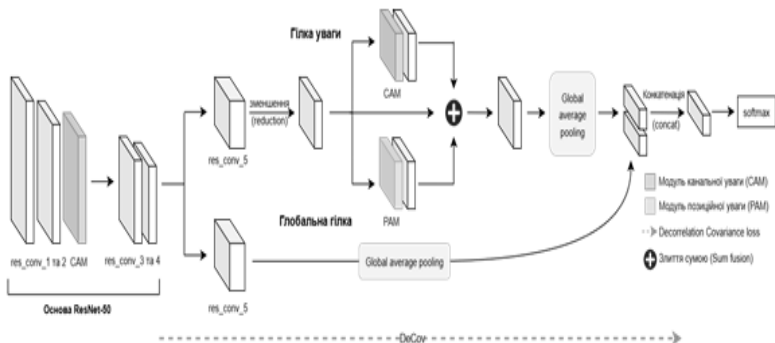
дозволяє мережі адаптивно фокусуватись на семантично важливих каналах, що відповідають за ознаки особи.

2) Впровадження Position Attention Module (PAM). PAM моделює просторові залежності між різними регіонами зображення, дозволяючи мережі встановлювати зв'язки між семантично пов'язаними, але просторово віддаленими областями. PAM застосовується паралельно з CAM у гілці уваги.

3) Механізм Decorrelation Covariance Loss. Для зменшення надмірної кореляції між компонентами векторів ознак застосовується механізм декореляції, який змушує модель вивчати більш різноманітні та інформативні представлення [3]. Це покращує якість метричного навчання та підвищує точність порівняння векторів ознак.

Розроблена архітектура системи базується на ResNet-50 з додаванням двогілкової структури після блоку `res_conv_4`, де одна гілка обробляє глобальні ознаки, а друга - локальні ознаки з механізмами уваги (рис.1). В роботі проведені тестування на стандартному наборі даних Market-1501 з використанням загальноприйнятих метрик, які представлені в таблиці 1.

За результатами експериментів виявлено, що інтеграція механізмів уваги CAM та PAM покращує якість ідентифікації на 8.7% за mAP та 7.5% за Rank-1 у порівнянні з базовою моделлю. Додавання регуляризації декореляції ознак забезпечує подальше покращення результатів ще на 3.7% за mAP та 3.3% за Rank-1, при цьому не впливаючи на час інференсу або розмір моделі, оскільки працює лише під час навчання.



**Рисунок 1. Архітектура системи**

**Таблиця 1.**

Результати тестування різних конфігурацій моделі

| Конфігурація                     | mAP  | Rank-1 | Rank-5 | Кількість<br>парам.<br>моделі<br>(млн) | Час<br>інференсу<br>(мс) |
|----------------------------------|------|--------|--------|----------------------------------------|--------------------------|
| ResNet-50 (базова)               | 56.4 | 74.8   | 85.2   | 26,4                                   | 3,39                     |
| ResNet-50 + CAM + PAM            | 65.1 | 82.3   | 91.7   | 35,5                                   | 5,67                     |
| ResNet-50 + CAM + PAM<br>+ DeCov | 68.8 | 85.6   | 94.8   | 35,5                                   | 5.67                     |

Також встановлено, що комбінований підхід з використанням обох механізмів уваги та декореляції ознак є найбільш ефективним для задач повторної ідентифікації особи.

#### Література

1. Сапожніков, В. С., & Шпінарева, І. М. (2025, квітень 25). Інформаційна технологія повторної ідентифікації особи на основі відео. У *Інформатика, інформаційні системи та технології: тези доповідей XXII Всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців* (с. 196–198). Одеса.
2. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016, June 27–30). Deep residual learning for image recognition. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770–778). Las Vegas, NV, USA. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
3. Cogswell, M., Ahmed, F., Girshick, R., Zitnick, C. L., & Batra, D. (2016). Reducing overfitting in deep networks by decorrelating representations. In *International Conference on Learning Representations (ICLR 2016): Conference paper*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.06068>

УДК 004.871

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ГІБРИДНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В «РОЗУМНИХ» МІСТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛАСИЧНИХ, СУЧАСНИХ ТА АНСАМБЛЕВИХ ПІДХОДІВ

**М. Коваленко**<sup>[0000-0032-1191-0933]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. М. Рудніченко**<sup>[0000-0002-7343-8076]<sup>2</sup></sup>,  
**Ph.D. Н. Шибасва**<sup>[0000-0002-7869-9953]<sup>3</sup></sup>

Національний університет «Одеська політехніка», Україна,  
EMAIL:<sup>1</sup>5344668@stud.op.edu.ua, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com,  
<sup>3</sup>denscreamer@gmail.com

## ANALYSIS OF METHODS FOR INTELLIGENT HYBRID ENERGY CONSUMPTION FORECASTING IN SMART CITIES USING CLASSICAL, MODERN, AND ENSEMBLE APPROACHES

M. Kovalenko, Ph.D. M. Rudnichenko, Ph.D. N. Shibaeva  
Odessa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У цій роботі досліджуються сучасні методи прогнозування споживання енергії в урбаністичних системах із використанням класичних статистичних моделей, алгоритмів машинного навчання та глибоких нейронних мереж. Особлива увага приділяється застосуванню гібридних та ансамблевих підходів для підвищення точності, стабільності та адаптивності прогнозів.

**Ключові слова:** прогнозування, споживання енергії

**Abstract.** This study investigates modern approaches to forecasting energy consumption in urban smart city systems, employing classical statistical models, machine learning algorithms, and deep neural networks. Special emphasis is placed on hybrid and ensemble techniques to improve forecast accuracy, stability, and adaptability.

**Keywords:** forecasting, energy consumption

Сучасні «розумні» міста генерують величезні об'єми даних про енергоспоживання завдяки інтеграції IoT-сенсорів, кліматичних систем, транспортної інфраструктури тощо. Точне прогнозування енергоспоживання є критичним для стабільності, ефективності та сталості міських енергосистем.

Через складність цих даних та наявність сезонних коливань традиційні статистичні моделі часто доповнюють методами машинного та глибокого навчання [1].

Основні класичні підходи базуються на моделях часових рядів: ARIMA, SARIMA та їх модифікаціях для врахування сезонності, а також на моделі Prophet. [3] Ці моделі добре справляються з трендами та сезонністю, мають прозорий математичний апарат, проте обмежені у врахуванні складних нелінійних залежностей та багаторівневої взаємодії даних. Моделі машинного навчання, такі як Random Forest, XGBoost, LightGBM, здатні побудувати складні нелінійні залежності на основі великої кількості ознак (погода, календар, події). Вони демонструють кращу адаптивність і потенціал для більш точного прогнозування в умовах складних багатовимірних даних [2]. LSTM та

GRU надають можливість моделювати довготривалі часові залежності, властиві енергоспоживанню, справляючись із послідовними даними складної структури. Такі мережі особливо ефективні для обробки різномірних вхідних даних та часових рядів із аномаліями. Ансамблізація (stacking, blending, boosting) дозволяє поєднувати сильні сторони різних моделей, підвищуючи точність та надійність прогнозів. Гібридизація класичних часових моделей (ARIMA/SARIMA) із сучасними ML/DL алгоритмами (наприклад, моделювання залишків ARIMA за допомогою XGBoost) продемонструвала суттєві переваги в задачах довгострокового прогнозування [3].

Висновок. Інтелектуальні гібридні системи прогнозування, що поєднують класичні статистичні моделі, сучасні методи машинного та глибокого навчання, а також ансамблеві підходи, забезпечують підвищену точність, стабільність та адаптивність прогнозів споживання енергії.

Впровадження таких систем у «розумних містах» створює умови для оптимального управління енергетичними ресурсами, зменшення витрат та підвищення стійкості міських енергомереж. Сукупність ефективних моделей і прозорість результатів завдяки Explainable AI сприяють прийняттю обґрунтованих рішень у сфері енергоменеджменту.

### **Література**

1. TransparentCities.in.ua. (n.d.). Розумна трансформація міст: безпечніше та комфортніше. *TransparentCities.in.ua*. <https://transparentcities.in.ua/articles/rozumna-transformatsiia-mist-bezpechnishe-ta-komfortnishe> (дата звернення: 07.08.2025)
2. Kyivstar Business Hub. (n.d.). Теорія рішень «розумного» міста та можливості її реалізації на базі єдиної муніципальної платформи. *Kyivstar Business Hub*. <https://hub.kyivstar.ua/articles/teoriya-rishen-rozumnogo-mista-ta-mozhливosti-yiyi-realizacziyi-na-bazi-yedinoyi-municipalnoyi-platformi> (дата звернення: 07.08.2025)
3. Academic Journals and Conferences. (n.d.). [PDF document]. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2024/jan/33151/231474maket1-191-211.pdf> (дата звернення: 07.08.2025)

УДК 004.9

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СТИЧНИХ ВОД

Ю. Дзідора<sup>1</sup>[0000-0002-4608-4276], Ph.D. В. Тазетдінов<sup>2</sup>[0000-0002-1091-9075]

Черкаський Державний Технологічний Університет, Україна  
EMAIL:<sup>1</sup> yuliia.dzihora@gmail.com, <sup>2</sup> valeriy.tazetdinov@gmail.com

## INTELLIGENT SENSOR NETWORKS FOR MONITORING AND CONTROL OF WASTEWATER QUALITY

Y. Dzihora, Ph.D. V. Tazetdinov

Cherkasy State Technological University, Ukraine

**Анотація.** Багато очисних споруд залишаються застарілими з низьким рівнем автоматизації, що унеможливає належний контроль очищення та якості води за сучасними стандартами. У роботі представлено підхід для створення інтелектуальної сенсорної мережі (ICM) на прикладі пілотної установки. Статистичний аналіз і моделювання у BioWin дозволили визначити ключові параметри системи, виявити прогалини та уникнути надлишкових вимірювань. Запропонований підхід оптимізує перелік обладнання, підвищує ефективність моніторингу та автоматизації та створює основу для запровадження цифрового двійника у водоочищенні.

**Ключові слова:** інтелектуальна сенсорна мережа, очищення стічної води, вибір сенсорів, BioWin, цифровий двійник

**Abstract.** Many wastewater treatment plants remain outdated, with low levels of automation, which prevents reliable control of treatment and water quality according to the modern standards [1].

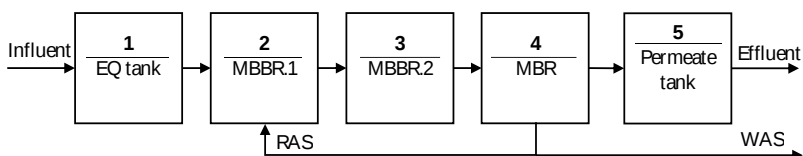
This work presents an approach to developing an intelligent sensor network (ISN) based on pilot installation. Statistical analysis and BioWin modelling helped to identify key parameters, detect gaps, and avoid redundant measurements [2,3]. The proposed approach optimizes equipment, improves monitoring and automation efficiency, and establishes foundation for digital twin implementation in water treatment.

**Keywords:** intelligent sensor network, wastewater treatment, sensor selection, BioWin, digital twin

Wastewater treatment plants (WWTPs) play significant role in protecting the water resources, but many existing facilities are operating with outdated infrastructure, limited number of sensors and minimal automation. As discharge requirements grow stricter, it creates significant

risks for compliance (Iratni & Chang, 2019). The transition towards the intelligent process monitoring requires systematic integration of measurements and control instrumentation for data analytics and process control. However, simple increase in the number of measurements or instruments used does not give the guarantee of improved performance – if sensor is redundant or misplaced it often can lead to unnecessary complexity without delivering information that can be actioned or used (Han et al. , 2018). This study investigates the development of ISN on a pilot-scale installation, that utilizes biological treatment and membrane separation for municipal wastewater treatment (Figure 1). The objective of the study was to establish a rational method for identification of key process parameters and selection of the right monitoring method that provide the most value for monitoring, automation, and digital twin development (Dzihora & Tazetdinov, 2024).

At first pilot installation was equipped with instrumentation based on the literature review with minimal automation for identification of the optimal operation conditions. During the pilot operation, data was collected from the online instruments (pH, temperature, transmembrane pressure, flow) and from laboratory analyses (chemical oxygen demand, sludge volume index, suspended solids etc). Statistical analysis in RStudio was applied to assess degree of parameter correlation and identify which parameters are redundant and can be removed from measurement list.



1 – Equalization tank (EQ), 2-3 – biological treatment: Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR); 4 – membrane separation: Membrane Bioreactor (MBR);  
5 – Permeate tank

**Figure 1.** Pilot installation for wastewater treatment [2]

Obtained regression model allowed to demonstrate that transmembrane pressure, chemical oxygen demand, flow and sludge volume index are key

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

parameters of the existing ISN. To extend this analysis preliminary digital twin of the pilot plant was constructed in Biowin. The model helped to identify the gaps in the wastewater properties and process parameters, which require additional laboratory testing and online monitoring. This highlights that ISN design should integrate both physical and analytical measurements, guided by process modeling. The optimized ISN design is summarized in table 1.

**Table 1.**

Optimized measurement list

| #   | Treatment step | Instrumentation                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | EQ tank        | Wastewater flow, pH, temperature, suspended solids (SS), volatile suspended solids (VSS), total chemical oxygen demand (TCOD), soluble chemical oxygen demand (sCOD), total biological oxygen demand (TBOD), soluble biological oxygen demand (sBOD), ammonium, ortho-phosphate. |
| 2-3 | MBBR1+MBBR2    | Suspended solids (SS), dissolved oxygen concentration (DO), biofilm total solids (bTS), airflow to reactors.                                                                                                                                                                     |
| 4   | MBR            | Transmembrane pressure (TMP), pH, temperature, airflow to tank, level measurement, permeate flow                                                                                                                                                                                 |
| 5   | Permeate tank  | Level measurement, suspended solids (SS), volatile suspended solids (VSS), total chemical oxygen demand (TCOD), soluble chemical oxygen demand (sCOD), total biological oxygen demand (TBOD), soluble biological oxygen demand (sBOD), Ammonium, Orthophosphate.                 |

### References

1. Iratni, A., & Chang, N.-B. (2019). Advances in control technologies for wastewater treatment processes: Status, challenges, and perspectives. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 6(2), 337–363. <https://doi.org/10.1109/JAS.2019.1911372>
2. Dzihora, Y., & Tazetdinov, V. (2024). Optimizing wastewater treatment through laboratory-guided process automation. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 2042, pp. 407–415). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_29)
3. Han, H., Liu, C., Dong, X., Zhang, H., & Meng, F. (2018). Data-driven intelligent monitoring system for key variables in wastewater treatment process. *Processes*, 6(11), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.03.027>

УДК 004.7:621.391.8

**ВИКОРИСТАННЯ LEACH У БАГАТОРІВНЕВИХ МОДЕЛЯХ  
РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗДРОТОВИМИ  
СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ**

**П. Штілман**<sup>1</sup>[0009-0007-8061-1766], **В. Єлькін**<sup>2</sup>[0009-0002-4202-7802]

Національний університет Одеська політехніка, Україна

EMAIL: <sup>1</sup>pavloshtilman.edu@gmail.com, <sup>2</sup>goodideacrew@gmail.com

**USING LEACH IN MULTILEVEL RISK-BASED MANAGEMENT  
MODELS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**P. Shtilman, V. Elkin**

Odesa Polytechnic National University. Ukraine

**Анотація.** У роботі розглянуто особливості протоколу LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) у контексті його інтеграції до формалізованих моделей компонентів бездротових сенсорних мереж (БСМ). Зокрема, аналізується застосування LEACH у нечітких моделях сенсорних вузлів та каналів зв'язку, а також у багаторівневій онтології оцінки ризиків, що включає модулі опису мережі та вразливості. Представлено сильні та слабкі сторони протоколу, підкреслюючи його роль як адаптивної основи для структурного і семантичного моделювання поведінки БСМ у невизначених умовах. Показано, що навіть класичний LEACH, без розгортання симуляцій, надає низку властивостей, які корисно формалізуються через нечітку логіку та онтологічний підхід. Особлива увага приділяється узгодженню механізмів кластеризації з лінгвістичними змінними й логічними правилами, що застосовуються у модулях ризик-орієнтованого аналізу. Такий підхід забезпечує основу для створення гнучких, самоналаштовуваних сенсорних мереж із підтримкою інтелектуального прийняття рішень.

**Ключові слова:** LEACH, кластер-глава, нечітка логіка, ризик, онтологія, БСМ, протокол маршрутизації, модель поведінки.

**Abstract.** The paper considers the features of the LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) protocol in the context of its integration into formalized models of wireless sensor networks (WSN) components. In particular, the application of LEACH in fuzzy models of sensor nodes and communication channels, as well as in a multi-level risk assessment ontology that includes network and vulnerability description modules, is analyzed. The strengths and weaknesses of the protocol are presented, emphasizing its role as an adaptive basis for structural and semantic modeling of WSN behavior in uncertain conditions. It is shown that even classical LEACH, without deploying simulations, provides a number of properties

*that are usefully formalized through fuzzy logic and an ontological approach. Special attention is paid to the coordination of clustering mechanisms with linguistic variables and logical rules used in risk-based analysis modules. This approach provides the basis for creating flexible, self-adjusting sensor networks with support for intelligent decision-making.*

**Keywords:** *LEACH, cluster-head, fuzzy logic, risk, ontology, BSM, routing protocol, behavior model.*

Протокол LEACH є однією з найбільш відомих ієрархічних стратегій маршрутизації в бездротових сенсорних мережах, орієнтованих на енергозбереження та локальну агрегацію даних. Його ключова ідея — поділ мережі на кластери з обранням кластер-глав (CH), що здійснюють збір і передачу даних від вузлів до базової станції. У контексті побудови формалізованих моделей поведінки БСМ, LEACH відіграє роль початкової структурної платформи для реалізації семантичних і нечітких механізмів управління мережею.

У попередній роботі запропоновано нечіткі моделі сенсорного вузла та каналу зв'язку [1], що дозволяють описувати стан підсистем у вигляді лінгвістичних змінних - “високе навантаження”, “низька надійність”, “обмежена енергія” тощо. Кластерна організація, що реалізується через LEACH, забезпечує природне групування вузлів, у якому роль кластер-глави може бути пов'язана з агрегованими нечіткими характеристиками. Таким чином, вузол із високою залишковою енергією та низьким ризиком відмови може бути призначений як CH на основі нечіткого правила, яке замінює випадковий вибір.

Водночас канал зв'язку, що з'єднує CH із базовою станцією, формалізується як лінія обслуговування з обмеженнями на пропускну здатність, затримку та старіння інформації. Багаторівнева онтологія, сформована як система модулів (опис мережі, оцінка ризику, вразливість, інші), дозволяє поєднувати структурні аспекти мережі з логічними співвідношеннями між класами об'єктів та їх властивостями [2, 3]. У цьому контексті LEACH виконує функцію динамічного формувача кластерів, які у свою чергу можуть бути пов'язані з поняттями семантичного простору — зона ризику, зона впливу, критичний вузол.

Кожна кластер-глава у системі може виступати як агент-спостерігач, що повідомляє про зміну стану кластера (зменшення енергії, підвищення ризику, виявлення вразливостей) у вигляді фактів у базі знань. Це дозволяє активувати відповідні правила у модулі оцінки ризику, зокрема, ініціювати динамічну зміну топології, зменшити частоту опитування або змінити структуру маршрутизації.

Протокол LEACH має низку переваг у рамках розглянутого підходу:

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

локальне агрегування даних узгоджується з нечіткими моделями черг, де враховується інтенсивність і затримка передачі;

енергозалежна поведінка дозволяє інтегрувати залишкову енергію у правила обрання кластер-глав;

структурна модульність дозволяє кожен кластер в онтології розглядати як окремий підграф із власними властивостями.

Водночас існують суттєві обмеження:

випадковий вибір  $ch$  не враховує ні ризиків, ні енергетичних характеристик - це усувається через введення вагових функцій;

leach не враховує зовнішні загрози - проте вони можуть бути включені до процесу прийняття рішення через модуль вразливості;

протокол не враховує логічних зв'язків між ролями вузлів, однак ці зв'язки задаються в онтології.

LEACH-протокол, незважаючи на свою простоту, має високу інтеграційну сумісність із формалізованими моделями БСМ - як у нечіткій логіці, так і в онтологічних структурах. Завдяки ієрархічному принципу кластеризації, протокол природно адаптується до лінгвістичних змінних, що описують стан мережі, та до семантичної моделі прийняття рішень у ризик-орієнтованих системах.

Його використання як структурної основи дозволяє будувати адаптивні, контекстно-обізнані сенсорні мережі, здатні до самостійної реакції на зміни у середовищі, включаючи загрози, енергетичні обмеження та деградацію компонентів.

### **Література**

1. Nesterenko, S. A., Tishin, P. M., Shtilman, P. R., Martynyuk, O. N., & Mileiko, I. G. (2025). Fuzzy models of wireless components sensor networks. *Herald of Advanced Information Technology*, 8(2), 209–220. Odesa: Nauka i Tekhnika. <https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.13>

2. Shtilman, P. R., Tishin, P. M., Shendryk, Y. V., & Elkin, V. O. (2025). Risk assessment and network description modules in a multi-level wireless sensor network risk assessment ontology. *Applied Aspects of Information Technology*, 8(2), 202–215. <https://doi.org/10.15276/aait.08.2025.14>

3. Shtilman, P. R., & Tishin, P. M. (2024). Vulnerability module in multilevel ontology of risk assessment of wireless sensor network. *Informatics. Culture. Technology*, 1(1), 93–97. National University “Odesa Polytechnic”. <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.04> (in Ukrainian)

УДК 004.029

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА СКЛАДНОСТЕЙ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ КОРПУСІВ  
ТЕКСТОВИХ ДАНИХ**

**В. Тулісов**<sup>1</sup>[0008-0018-9284-1394], **Д. Шведов**<sup>2</sup>[0009-0002-4823-8782],  
**Ph.D. М. Рудніченко**<sup>3</sup>[0000-0002-7343-8076]

<sup>1,2</sup>Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна

<sup>3</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна

EMAIL:<sup>1</sup>tylisovvlad@gmail.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com, <sup>3</sup>butgeorg@gmail.com

**ANALYSIS OF THE FEATURES AND COMPLEXITIES OF  
AUTOMATION OF CLUSTER ANALYSIS OF TEXT DATA  
CORPORATIONS**

**V.Tulisov<sup>1</sup>, D. Shvedov<sup>2</sup>, Ph.D. N.Rudnichenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

<sup>2</sup>Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У статті проаналізовано особливості та труднощі автоматизації кластерного аналізу текстових корпусів, розглянуто проблеми попередньої обробки, вибору векторних представлень та алгоритмів кластеризації, а також шляхи підвищення інтерпретованості результатів.

**Ключові слова:** кластеризація текстів, обробка природної мови

**Abstract.** The article analyzes the features and difficulties of automating cluster analysis of text corpora, considers the problems of preprocessing, the choice of vector representations and clustering algorithms, as well as ways to improve the interpretability of the results.

**Keywords:** text clustering, natural language processing

Кластерний аналіз корпусів текстових даних є важливим напрямом у сфері обробки природної мови, адже він дозволяє виявляти приховані закономірності у великих масивах текстів та формувати тематичні групи без попередньої розмітки. Такий підхід використовується для систематизації наукових публікацій, сегментації ринків, організації інформаційних потоків у медіа та підвищення ефективності пошукових систем. Проте автоматизація цього процесу стикається з низкою викликів, пов'язаних із різноманітністю мовних структур, неоднорідністю даних та обмеженнями алгоритмів кластеризації [1]. Процес автоматизованого кластерного аналізу текстів передбачає кілька послідовних етапів: попередню обробку даних, побудову векторних представлень текстів, вибір алгоритму кластеризації та інтерпретацію отриманих результатів. На кожному з цих етапів виникають особливості та труднощі, які впливають на якість і точність результатів. Попередня обробка текстів включає токенизацію,

лематизацію, видалення стоп-слів та нормалізацію символів. У випадку багатомовних корпусів складність підвищується через наявність різних морфологічних систем, що вимагає використання спеціалізованих інструментів для кожної мови. Крім того, значну проблему становлять неструктуровані або шумові дані, які спотворюють семантичну картину текстів [2]. Традиційні підходи, такі як TF-IDF, часто не здатні враховувати семантичні зв'язки між словами. Використання сучасних моделей, зокрема Word2Vec, GloVe та трансформерів (наприклад, BERT), дозволяє формувати контекстуальні представлення тексту, проте потребує значних обчислювальних ресурсів та ретельного налаштування. Вибір моделі залежить від цілей дослідження: у задачах тематичної кластеризації доцільним є використання контекстних векторів, тоді як для інформаційного пошуку може бути достатнім застосування класичних методів. Алгоритми кластеризації, такі як k-means, DBSCAN, hierarchical clustering, мають різні переваги й обмеження. Наприклад, k-means є швидким і масштабованим, але потребує визначення кількості кластерів наперед. DBSCAN дозволяє виявляти кластери довільної форми, проте чутливий до вибору параметрів  $\epsilon$  та minPts. Ієрархічні методи забезпечують наочну візуалізацію структури даних, але не завжди придатні для дуже великих корпусів. Автоматизація процесу кластеризації ускладнюється саме необхідністю коректного підбору алгоритму та параметрів залежно від особливостей текстових даних [1]. Ще однією проблемою є інтерпретація результатів. Автоматично сформовані кластери можуть мати нечіткі тематичні межі, що потребує додаткових методів їх позначення та узагальнення. Застосування тематичного моделювання (LDA, NMF) у поєднанні з кластеризацією дозволяє поліпшити якість опису груп. Автоматизація кластерного аналізу корпусів текстових даних є складною задачею, що поєднує в собі лінгвістичні, алгоритмічні та інженерні аспекти. Основні труднощі пов'язані з неоднорідністю мовних структур, обмеженнями класичних алгоритмів кластеризації та складністю інтерпретації результатів.

#### **Література**

1. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*, 356–369.
2. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*, 4171–4186.

**SECTION 3. MODELING AND SOFTWARE ENGINEERING**

УДК 004.94, 004.8, 519.6, 626.8

**ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СХЕМА ДЛЯ СУМІСНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОГОПЕРЕНЕСЕННЯ ТА РОСТУ  
КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ**

**Dr.Sci. В. Богасенко<sup>1</sup>[0000-0002-3317-9022], Dr.Sci. В. Булавацький<sup>2</sup>,**

**Dr.Sci. М. Ромашенко<sup>3</sup>[0000-0002-9997-1346],**

**Dr.Sci. А. Шатковський<sup>4</sup> [0000-0002-4366-0397]**

<sup>1</sup>Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Україна,

<sup>2</sup>Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Україна,

<sup>3</sup>Інститут водних проблем і меліорації НААН України, Україна,

<sup>4</sup>Інститут водних проблем і меліорації НААН України, Україна

EMAIL: <sup>1</sup>sevab@ukr.net, <sup>2</sup>v\_bulav@ukr.net, <sup>3</sup>mi.romashchenko@gmail.com,

<sup>4</sup>andriy-1804@ukr.net

**COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR COMBINED  
SIMULATION OF MOISTURE TRANSPORT AND ROOT  
GROWING UNDER DRIP IRRIGATION**

**Dr.Sci. V. Bohaienko<sup>1</sup>, Dr.Sci. V. Bulavatsky<sup>1</sup>, Dr.Sci. M. Romashchenko<sup>2</sup>,**

**Dr.Sci. A. Shatkovskyi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine,

<sup>2</sup>Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine, Ukraine

**Анотація.** У роботі досліджується сумісне моделювання вологоперенесення в ґрунті та росту кореневої системи рослин за крапельного зрошення. Для калібрування моделі використовуються такі методи оптимізації, як метод рою частинок (PSO) та генетичні алгоритми. Результати дослідження демонструють потенціал запропонованого підходу для його застосування в системах підтримки рішень у сільському господарстві.

**Ключові слова:** вологоперенесення, модель росту кореневої системи, рівняння Річардса, диференціальні моделі дробового порядку, метод рою частинок, генетичні алгоритми

**Abstract.** This paper investigates the simultaneous modelling of moisture transport in soil and the growth of the root system of plants under drip irrigation. Optimization methods, such as particle swarm optimisation (PSO) and genetic algorithms, are used to calibrate the model. The results of the study demonstrate the

*potential of the proposed approach for its application in decision support systems in agriculture.*

**Keywords:** *moisture transport, root growth model, Richards equation, fractional-order differential models, particle swarm optimization, genetic algorithms*

Drip irrigation can lead to significant moisture distribution heterogeneity in soil profile. Thus, it is important to simultaneously predict both the moistened zones and the root-containing zones with the distribution of the root system in them. Their scenario modelling based on the mathematical models calibrated for a specific soil and crop conditions has significant advantages over exclusively experimental studies, providing the opportunity to evaluate soil moisture distributions under different weather conditions, irrigation rates and organization of irrigation system.

Considering the case of the experiment in production conditions with limited capabilities for monitoring the state of the soil, in this study we build an algorithm for calibrating the moisture transport model, combined with a stochastic model of root system growth, in order to most accurately determine the moistened zones, the size and distribution of the root system for specific observed conditions. In our case, the root system growth model takes into account the influence of soil moisture potential field obtained according to the moisture transport model.

The latter model, in turn, uses the generated root system's model in the process of modelling evapotranspiration, specifically moisture consumption by plants. A combined model calibrated based on the measured data for one growing season can be used in future to refine irrigation regimes, the parameters of irrigation pipeline placement and the distant between emitters on them when growing the same crop in subsequent years.

For the purpose of modelling, we use the Richards equation stated in terms of water head in a two-dimensional approximation and apply to it a finite-difference numerical technique similarly to the case described in detail in [1]. In order to adapt the model to the actual plant growing and soil conditions, several multipliers are introduced to the moisture transport equation [2].

They are fitted to the water head measurements using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm [2]. We use a root growth model derived from the one described in [3]. In it, each root is represented by a tree of branches. Each branch is represented by a list of segments, where each segment corresponds to branch growth during one time step.

The question posed in this paper is whether it is possible, using the procedure for modelling the growth of the root system, to obtain such a form of the root system that would improve the accuracy of modelling the dynamics of water head in comparison with the use of generalized root system density functions? To answer this question, we propose a modelling procedure based on the optimisation of root system model using genetic algorithms approach.

To test the proposed procedures we used the measurements obtained by the iMetos micro-meteostation, on which, in particular, Watermark suction pressure sensors were installed, in 2024 during an agronomic experiment on growing corn for seed on an experimental field within the Makariv district of the Kyiv region of Ukraine. In the computational experiments the most accurate predictions were obtained using the integer-order moisture transport model together with the generated optimized root system's shape.

Although the fractional-differential model showed the best results for the training dataset, its application to the testing dataset led to an increase in errors, which may indicate overfitting.

Modelling and optimising the root system's shape improved the accuracy of moisture content modelling, especially for the upper soil layers, where, in the case of using the generalized root system density function, the errors were the largest. The simulated optimized shape of the root system demonstrated its preferential distribution breadthwise in the upper layers and concentration in the moistened zone under the emitter that is consistent with the observations.

### **References**

1. Bohaenko, V. (2023). Simulation of non-isothermal fractional-order moisture transport using multi-threaded TFQMR and dynamic timestepping technique. *CEUR Workshop Proceedings*, 3513, 398–408.
2. Romashchenko, M., Bohaienko, V., Matiash, T., Kovalchuk, V., & Krucheniuk, A. (2021). Numerical simulation of irrigation scheduling using fractional Richards equation. *Irrigation Science*, 39(3), 385–396.
3. Li, S., Gao, J., Zhu, Q., Zeng, L., & Liu, J. (2015). A dynamic root simulation model in response to soil moisture heterogeneity. *Mathematics and Computers in Simulation*, 113, 40–50.

UDC 004.03

RECONFIGURABLE SIMILARITY METRICS FOR  
INTERPRETABLE FAULT DIAGNOSTICS IN COMPLEX SHIP  
POWER SYSTEMS

Dr.Sci. V. Vychuzhanin<sup>[0000-0002-6302-1832]</sup><sup>1</sup>, Ph.D. A.Vychuzhanin<sup>[0000-0001-8779-2503]</sup><sup>2</sup>

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: <sup>1</sup>v.v.vychuzhanin@op.edu.ua, <sup>2</sup>vychuzhanin.o.v@op.edu.ua

ПЕРЕКОНФІГУРУВАНІ МЕТРИКИ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ  
ІНТЕРПРЕТОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ У  
СКЛАДНИХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Dr.Sci. B. Вичужанін, Ph.D. A. Вичужанін

Національний університет «Одеська політехніка». Україна

**Abstract.** Timely fault diagnosis in Ship Power Plants (SPPs) remains a critical challenge due to heterogeneous data, evolving operational contexts, and rare failure patterns. This work introduces a modular similarity assessment framework tailored for intelligent diagnostic systems. It integrates Euclidean, Jaccard, and logistic metrics with Bayesian inference and temporal degradation factors. The system dynamically adjusts parameter weights via L-BFGS-B optimization, improving the matching of current failures to historical precedents. Experimental results show over 90% accuracy across three major fault types, demonstrating robustness against data sparsity and noise. The model's interpretability and probabilistic extensions allow informed decision-making in real-time diagnostics and predictive maintenance.

**Keywords:** intelligent diagnostics, case-based reasoning, adaptive metric, Bayesian aggregation, marine engineering, fault detection, SPPs.

**Анотація.** Своєчасна діагностика відмов у суднових енергетичних установках (СЕУ) є важливою умовою забезпечення безпеки та надійної експлуатації в умовах змінних режимів та обмежених даних. У цій роботі запропоновано модульну систему оцінки схожості, адаптовану до інтелектуальних діагностичних систем. Вона поєднує евклідові, джакардові та логістичні метрики з байєсівським виведенням і часовим фактором деградації. Ваги параметрів налаштовуються автоматично за допомогою оптимізації L-BFGS-B, що підвищує точність співставлення з історичними випадками. Експерименти засвідчили точність понад 90% для основних типів відмов, що свідчить про стійкість моделі до розріджених і зашумлених даних. Інтерпретованість та ймовірнісні розширення моделі забезпечують обґрунтовану підтримку рішень в умовах невизначеності.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

***Ключові слова:** інтелектуальна діагностика, прецедентний аналіз, адаптивна метрика, байєсівська агрегація, морська інженерія, виявлення несправностей, СЕУ.*

Modern SPPs are complex technical systems that operate under highly variable and uncertain conditions [1, 2]. Their components are subject to diverse degradation mechanisms, varying operational modes, and multifactorial failures. Ensuring fault-free operation requires not only timely detection of failures but also transparent diagnostic reasoning and robust inference under incomplete data.

Traditional diagnostic methods struggle with these challenges due to their reliance on static similarity metrics, limited flexibility in dealing with heterogeneous data types (e.g., numerical, categorical, temporal), and inability to adapt to evolving system behavior. As a result, case-based reasoning (CBR) has emerged as a promising framework, allowing the reuse of previous fault knowledge through similarity assessment. Yet, the effectiveness of CBR systems critically depends on how accurately and contextually the similarity between diagnostic cases (precedents) is measured [3, 4, 5].

This study proposes a new approach to similarity evaluation that addresses the limitations of fixed, non-adaptive similarity functions. The proposed model combines metric-based similarity, probabilistic reasoning, and contextual adjustment mechanisms, yielding a reconfigurable and interpretable diagnostic tool for marine engineers.

**Problem Statement.**

The central challenge is to develop a similarity assessment methodology that is:

- applicable to heterogeneous features (including probabilistic, categorical, and numerical attributes);
- interpretable, to support human expert analysis;
- adaptive, capable of tuning itself to the operational context;
- robust to data sparsity and incompleteness;
- integratable into real-time diagnostic systems.

The model must assess the similarity between a current diagnostic case and archived precedents using a composite metric, optimized through learning from historical data and expert knowledge. It must also be resilient in scenarios involving rare faults and limited training examples.

**Methodology**

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

The final similarity between a new case *iii* and precedent *jjj*, the following expression is used:

$$Sim(i,j) = \alpha \cdot S_{type} + \beta \cdot S_{components} + \gamma \cdot S_{probability},$$

where  $S_{type}$  - cosine similarity based on failure type;

$S_{components}$  - Jaccard similarity over affected subsystems;

$S_{probability}$  - inverse Euclidean distance between failure likelihoods,

$\alpha, \beta, \gamma$  - weights optimized via L-BFGS-B based on expert-defined similarity judgments

**Table 1.**  
Classification of typical failures and diagnostic features

| Failure Type | Temperature | Vibration    | Pressure | Typical Symptoms                                 |
|--------------|-------------|--------------|----------|--------------------------------------------------|
| Failure A    | >90°C       | 2.0–3.5 mm/s | >10 bar  | Often associated with cooling system overheating |
| Failure B    | 75–85°C     | 1.5–2.5 mm/s | 6–9 bar  | Related to gradual bearing wear                  |
| Failure C    | >85°C       | 2.5–4.0 mm/s | 9–11 bar | Observed with unstable fuel supply               |

These structured attributes form the basis for the similarity metric computations. Each case is mapped into a normalized feature space, enabling pairwise similarity calculation using domain-specific metrics. The combination of temperature, vibration, and pressure captures essential indicators of component health.

#### Experimental results

A synthetic dataset of 150 failure cases was created, with expert-labeled similarity scores and classification ground truth. The optimized similarity metric yielded the following classification accuracies: Type A: 96% (48/50); Type B: 84% (42/50); Type C: 92% (46/50).

Performance degradation was tested by reducing the training set by 40%, resulting in only a 5–7% accuracy drop, confirming robustness.

A confusion matrix (Figure 1) illustrates diagnostic accuracy.

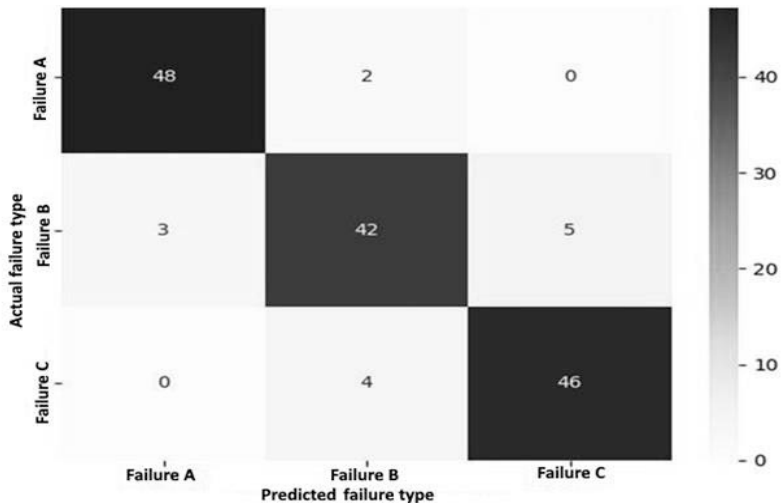
The model outperformed fixed-metric baselines in accuracy, interpretability, and adaptability. Key insights include:

dominance of "failure type": optimization revealed that failure type contributes over 80% of the diagnostic weight;

elimination of redundant features: risk category and affected subsystems were shown to be diagnostically insignificant and removed;

temporal considerations matter: incorporating time-to-failure data improved precision, especially for components prone to fatigue;

Bayesian aggregation adds confidence: posterior probabilities helped quantify uncertainty and interpret decisions probabilistically.



**Figure 1.** Classification error matrix by failure types

Compared to models such as DeepKAF, MSFF-CBR, and GNN-enhanced CBR systems, our method delivers comparable accuracy with lower computational complexity and greater explainability.

### Conclusions

This work presents a novel framework for adaptive similarity assessment in intelligent diagnostic systems for marine power plants. Key achievements include:

- integration of multiple data types into a unified similarity metric;
- optimization of weight coefficients to enhance diagnostic relevance;
- application of bayesian inference for robust decision aggregation;
- demonstrated resilience to noisy and incomplete data.

The proposed model is especially valuable in real-world diagnostic settings characterized by data heterogeneity, limited fault data, and the need for transparent reasoning. Its modularity allows extension to other engineering domains such as aerospace, offshore energy, and manufacturing diagnostics.

### **References**

1. Vychuzhanin, V., & Vychuzhanin, A. (2025). *Intelligent diagnostics of ship power plants: Integration of case-based reasoning, probabilistic models, and ChatGPT. A universal approach to fault diagnosis and prognostics in complex technical systems* (Monograph, 412 p.). Lviv–Torun: Liha-Pres. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-516-0>
2. Vychuzhanin, V., & Vychuzhanin, A. (2025). *Stochastic models and methods for diagnostics, assessment, and prediction of the technical condition of complex critical systems* (Monograph, 176 p.). Lviv–Torun: Liha-Pres. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-457-6>
3. Vychuzhanin, V., & Vychuzhanin, A. (2025). Integrated approach to diagnosing complex technical systems: Experimental validation and multidimensional efficiency assessment. *Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 5(291), 5–17. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-291-5-17>
4. Vychuzhanin, V., & Vychuzhanin, A. (2025). Integrated approach to creating a case-based database for diagnosing failures in ship power plants. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*, 15(2), 155–165. <https://doi.org/10.15276/imms.v15.no2.155>
5. Vychuzhanin, V., & Vychuzhanin, A. (2025). Using ChatGPT for the intelligent diagnostics of complex technical systems. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 30(1), 68–79. <https://doi.org/10.62600/bcstu/1.2025.68>

UDC 004.415.2

## SELF-HEALING TEST SUITES: AUTOMATING MAINTENANCE OF FLAKY AND BROKEN TESTS

Dr.Sci. M. Berdnyk<sup>1</sup>[0000-0003-4894-8995], I. Starodubskyi<sup>2</sup>[0009-0004-1864-7889]

National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ukraine

EMAIL: <sup>1</sup>mgb2006@ukr.net, <sup>2</sup>igor.starodubsky@gmail.com

## ТЕСТОВІ НАБОРИ, ЩО САМОВІДНОВЛЮЮТЬСЯ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ПІДТРИМКИ НЕСТАБІЛЬНИХ ТЕСТІВ

Dr.Sci. М. Бердник, І. Стародубський

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

**Abstract.** In modern software development, flaky tests - unstable tests that randomly pass or fail without code changes - reduce confidence, increase manual debugging, and hinder continuous integration. This paper proposes self-healing test suites that automatically detect and repair failures using static and dynamic analysis combined with machine learning. The framework supports locator adaptation, test data updates, and re-execution prioritization.

**Keywords.** automated testing; self-healing test suites; flaky tests; CI/CD; machine learning; static analysis; dynamic analysis.

**Анотація.** У сучасній розробці програмного забезпечення нестабільні тести (flaky tests) - тести, що випадково проходять або падають без змін у коді - знижують довіру, збільшують витрати на відлагодження та ускладнюють процес безперервної інтеграції. У роботі пропонуються самовідновлювані тестові набори, здатні автоматично виявляти та виправляти збої за допомогою статичного та динамічного аналізу у поєднанні з методами машинного навчання. Запропонована архітектура включає адаптацію локаторів, оновлення тестових даних та пріоритизацію повторних запусків.

**Ключові слова.** автоматизоване тестування; самовідновлювані тестові набори; нестабільні тести; CI/CD; машинне навчання; статичний аналіз; динамічний аналіз.

The reliability of automated testing is threatened by flaky tests— inconsistent tests caused by concurrency, environment variability, external dependencies, or unstable assertions [1, 3]. Traditional maintenance is manual and costly. Self-healing test suites automate this process by combining static and dynamic analysis, machine learning, and adaptive mechanisms [2]. Static analysis detects API dependencies, platform-specific

constructs, and concurrency risks. Dynamic analysis observes runtime execution, logging non-deterministic failures such as race conditions or resource contention. Combined approaches improve fault localization accuracy. Self-healing mechanisms include: locator adaptation (fuzzy matching, attribute similarity, ML classifiers) for GUI test failures; adaptive data generation (fuzzing, ML-based synthesis, database snapshotting); runtime monitoring with automated retries, timeout adjustments, and failure classification; pattern mining from historical logs, using ML (decision trees, RNNs) to predict flakiness [4]; automated patching via static analysis, replacing brittle assertions or adding synchronization primitives; SBSE applied for repair [2].

Integration of self-healing frameworks with containerized test environments (e.g., Docker, Kubernetes) enables controlled replication of flaky failures across heterogeneous platforms. Advanced orchestration tools coordinate retries and healing strategies to minimize resource contention in large CI/CD clusters. Combining symbolic execution with runtime traces improves detection of hidden platform dependencies and strengthens patch recommendation accuracy. Adaptive scheduling policies dynamically prioritize flaky test re-executions to balance fault detection efficiency with computational cost. The use of graph-based dependency analysis improves the detection of fragile inter-test relationships that frequently cause hidden flakiness. Incorporating reinforcement learning agents allows test suites to autonomously refine healing strategies based on historical execution outcomes. Empirical studies show 30–40% reduction in manual test repairs, up to 40% fewer false negatives, and 25% faster regression cycles. Cloud-based CI/CD integration improves scalability to thousands of parallel executions. Remaining challenges include false positives in locator healing, runtime overhead from retries and monitoring, poor generalization of ML models, and low developer trust in opaque automation. Future work focuses on hybrid frameworks combining explainable AI with efficient static–dynamic analysis pipelines.

### **References**

1. Luo, Q., Nagappan, M., & Nair, V. (2014). An empirical study of flaky tests in large-scale systems. In *Proceedings of the International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)* (pp. 1–11). ACM.

2. Erich, F., Amrit, C., & Daneva, M. (2017). Self-healing test automation: State of the art and research challenges. *Journal of Systems and Software*, 131, 152–169. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.05.048>

3. Shi, A., Luo, Q., Zhang, L., & Xie, T. (2016). Detecting and diagnosing flaky tests: An empirical study. In *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering (ICSE)* (pp. 471–482). IEEE. <https://doi.org/10.1145/2884781.2884848>

4. Mirzaaghaei, M., Briand, L., & Nejati, S. (2020). Machine learning-based test prioritization and flaky test prediction. *Empirical Software Engineering*, 25(5), 4029–4071. <https://doi.org/10.1007/s10664-020-09846-0>

UDC 004.05

## ПОРІВНЯННЯ ТЕСТ-ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НА ОСНОВІ API

**М. Менделєва**<sup>1</sup> [0009-0002-4282-3147], **Ph.D. С. Хламов**<sup>2</sup> [0000-0001-9434-1081], **Ph.D. О. Вовк**<sup>3</sup> [0000-0001-9072-1634], **Ph.D. Ж. Дейнеко**<sup>4</sup> [0000-0001-6747-9130],  
**С. Литвиненко**<sup>5</sup> [0009-0003-2632-9082]

<sup>1,2,3,4,5</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків,  
Україна

EMAIL: <sup>1</sup> mariia.mendielieva@nure.ua, <sup>2</sup> (коресп.) sergii.khlamov@gmail.com,  
<sup>3</sup> oleksandr.vovk@nure.ua, <sup>4</sup> zhanna.deineko@nure.ua, <sup>5</sup> serhii.lytvynenko@nure.ua

## COMPARISON OF TEST TOOLS FOR API-BASED PERFORMANCE TESTING

**M. Mendieliava, Ph.D. S. Khlamov, Ph.D. O. Vovk, Ph.D. Zh. Deineko,  
S. Lytvynenko**

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine*

**Анотація.** У роботі представлено порівняльний аналіз Postman та JMeter для тестування продуктивності інтерфейсів програмування додатків (API). Отримані метрики тестування навантаження (avg, min, max, error %) від 5 публічних API показують вищу продуктивність Postman в умовах низького та помірного навантаження, а також ефективність JMeter для сценаріїв високого навантаження.

**Ключові слова:** тестування продуктивності, тестування навантаження, Postman, JMeter, час відповіді, затримка.

**Abstract.** *The paper presents a comparative analysis of A and B for testing the performance of application programming interfaces (APIs). The obtained performance testing metrics (avg, min, max, error %) from 5 public APIs show higher performance of Postman under low and moderate load conditions, as well as the effectiveness of JMeter for high load scenarios.*

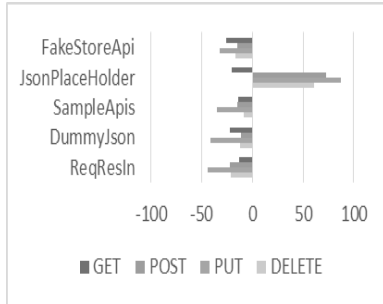
**Keywords:** *performance testing, load testing, Postman, JMeter, response time, delay.*

API performance testing using Postman and JMeter tools has become increasingly important due to the rise of microservices, expansion of application usage, and frontend dependency on APIs, along with the need to support growing user bases and data volumes [1]. However, these tools differ in their load simulation approaches [2], and their effectiveness varies under different load conditions, which can be considered in testing strategies [3].

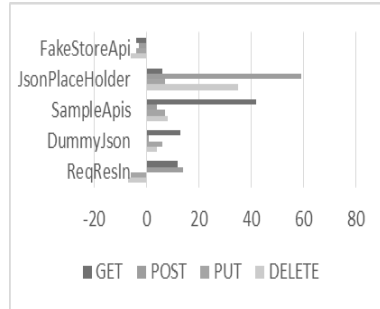
There were 8 test scenarios, which involved sequential execution of GET, POST, PUT, and DELETE requests plus Delay request after each of them (using JMeter Constant Timer element and Postman <https://postman-echo.com/delay> request) to 5 public APIs under different type of load (Ramp Up, Spike, Peak, and Fixed type), applicable to both tools. Tests were organized in form of Postman collections and used different types of Thread Group and Loop Controller elements in JMeter. Performance testing was conducted under identical conditions, considering factors as number of virtual users (VU), think time or delay, and test duration.

Aggregated mean performance test metrics (average response time (avg), minimum (min), and maximum (max) response times, and error rate (%)) from hundreds of requests [4] show that Postman demonstrates better performance comparing to JMeter, as shown in Table 1. However, difference in metrics values (deltas) illustrate that Postman has higher performance in low to moderate load conditions, where think time is greater than 5 sec, as shown in Figure 1 (negative delta values indicate that Postman was faster).

On the other hand, JMeter illustrates higher performance under the conditions of high load and request intensity (sharp increase in load to peak, followed by a gradual decrease with a short think time equal to 1 sec), as shown in Figure 2.



**Figure 1.** Deltas of avg values for low to moderate load conditions



**Figure 2.** Deltas of avg for high load and request intensity

**Table 1.**

Aggregated mean performance results for Postman and JMeter

| Method | Tool    | Avg, ms | Min, ms | Max, ms | Error, % |
|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| GET    | Postman | 166,175 | 110,650 | 415,575 | 0,935    |
| GET    | JMeter  | 181,650 | 115,925 | 499,625 | 0,739    |
| POST   | Postman | 148,100 | 117,250 | 877,200 | 7,671    |
| POST   | JMeter  | 147,175 | 124,700 | 805,525 | 7,999    |
| PUT    | Postman | 144,925 | 118,100 | 341,425 | 7,777    |
| PUT    | JMeter  | 152,075 | 125,525 | 377,275 | 7,936    |
| DELETE | Postman | 166,225 | 136,525 | 315,475 | 7,931    |
| DELETE | JMeter  | 163,325 | 143,525 | 374,475 | 8,515    |

In conclusion, obtained results could have a profound impact on selecting appropriate testing tools. Taking into account factors such as complexity of returned responses and planned load parameters it is possible to ensure a reduction of testing time and risk of underestimation of the system in high load conditions.

### References

1. Manukonda, K. (2024). Optimizing performance: Designing API test automation frameworks. JEC Publication.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

2. Rodrigues, A., et al. (2019). Master Apache JMeter—From load testing to DevOps: Master performance testing with JMeter. Packt Publishing Ltd.

3. Vovk, O., et al. (2025). Approach to comprehensive website testing: Combining usability and functional test methods. In Proceedings of the 10th annual conference on Print, Multimedia & Web. Modern Trends (Vol. 1, pp. 5–30). Kharkiv, Ukraine: LLC "Drukarnya Madrid".  
<https://doi.org/10.30837/PMW.2025.T1.005>

4. Savanevych, V., et al. (2023). Mathematical methods for an accurate navigation of the robotic telescopes. Mathematics, 11(10), 2246.  
<https://doi.org/10.3390/math11102246>

УДК 004.49

**ПРО УРАЗЛИВІСТЬ БАГАТОШАРОВИХ МЕРЕЖЕВИХ  
СТРУКТУР ТА СИСТЕМ**

**Ph.D. Д. Поліщук<sup>1</sup>[0000-0002-7852-0378], Dr.Sci. М. Яджак<sup>1,2</sup> [0000-0001-6070-6142]**

<sup>1</sup>*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача,  
Національна академія наук України, Україна,*

<sup>2</sup>*Львівський національний університет ім. Івана Франка, Україна  
EMAIL: do.polishchuk@gmail.com, yadzhak\_ms@ukr.net*

**ON THE VULNERABILITY OF MULTILAYER NETWORK  
STRUCTURES AND SYSTEMS**

**Ph.D. D. Polishchuk<sup>1</sup>, Dr. Sci. M. Yadzhak<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine*

<sup>2</sup>*Ivan Franko Lviv National University, Ukraine*

***Анотація.** На підставі структурної та потокової моделей багатошарової мережі (БШМ) визначені основні структурні та функціональні показники важливості окремих її шарів у процесі міжсистемних взаємодій. Використовуючи введені показники важливості, розроблені ефективні сценарії цілеспрямованих атак на БШМ. Показано, що ці сценарії можуть бути використані для успішної протидії поширенню нецільових уражень системи. Проаналізовано проблему масштабності наслідків цілеспрямованих атак та нецільових уражень мережевої системи та визначено рівень її захищеності та чутливості до дії різномірних негативних впливів. Встановлені переваги поточного підходу порівняно зі структурним під час дослідження уразливості багатошарових мережевих систем.*

**Ключові слова:** міжсистемні взаємодії, багатошарова мережа, потокова модель, вплив, посередництво, загальносистемне ураження, паралельний алгоритм.

**Abstract.** *On the basis of structural and flow models of multilayer network (MLN), the main structural and functional importance indicators of separate layers in the process of intersystem interactions are determined. Using the introduced importance indicators, effective scenarios of system-wide targeted attacks on MLN are developed. It is shown that these scenarios can be used to successful counteract the spread of non-target system lesions. The problem of the scale of targeted attacks and non-target lesions consequences for the network system is analyzed and the level of its protection and sensitivity to various negative influences is defined. The advantages of flow-based approach over the structural ones during the study of vulnerability of multilayer network systems are established.*

**Keywords:** *intersystem interactions, multilayer network, flow model, influence, betweenness, system-wide lesion, parallel algorithm.*

Кожна реальна система, природна або створена людиною, є відкритою, тобто взаємодіє з багатьма іншими системами. Введене у теорії складних мереж поняття багатошарової мережі описує структуру таких взаємодій між окремими шарами-системами [1]. Будь-яке із міжсистемних утворень може піддаватися різноманітним негативним впливам – як умисним (цілеспрямовані атаки), так і неумисним (нецільові ураження системи – стихійні лиха, техногенні катастрофи, поширення епідемій і т. ін.). За масштабом впливу їх можна умовно поділити на локальні, коли вражається один або декілька суміжних елементів БШМ; групові, якщо під їх дію потрапляє певна група вузлів багатошарової мережі; загальносистемні, коли певною мірою вражаються усі елементи одного або кількох шарів-систем БШМ. Основною загрозою таких впливів є можливість переростання локальних уражень у групові, а групових – у загальносистемні. Показовим прикладом тут є поширення епідемій інфекційних захворювань, зокрема, Covid-19 [2].

У попередніх роботах розглядалися стратегії захисту багатошарових структур та систем від локальних та групових [3] уражень різних типів. У цій роботі ми досліджуємо стратегії захисту БШМ від загальносистемних цілеспрямованих атак. Ураження навіть одного шару таких утворень може призвести до дестабілізації процесу міжсистемних взаємодій загалом, як це сталося під час пандемії Covid-

19. Вражатися можуть декілька (гібридні війни) або усі (санкції стосовно країн, які несуть загрозу світовій безпеці) шари БШМ. Для визначення важливості окремих шарів, як цілей ураження, ми використовуємо структурну та потокову моделі багатoshарової системи [3]. Серед структурних показників важливості шару ми застосовуємо такі характеристики: питому вагу множини вузлів шару у загальній сукупності вузлів БШМ; питому вагу множини ребер шару у загальній сукупності ребер багатoshарової мережі; вхідні та вихідні ступені шару; питому вагу точок переходу шару, через які здійснюються міжсистемні взаємодії і т. ін. Серед функціональних показників важливості шару у БШМ ми використовуємо параметри вхідного та вихідного впливу шару, а також параметри його посередництва та взаємодії із багатoshаровою системою загалом. На підставі структурних та функціональних показників важливості шарів БШМ розроблена низку ефективних сценаріїв загальносистемних цілеспрямованих атак на багатoshарову мережу. Показано, що такі сценарії дають змогу визначати складові БШМ, які потребують першочергового захисту, та можуть бути успішно застосовані для протидії поширенню нецільових уражень багатoshарової мережі.

У роботі пропонуються методи оцінювання як рівня захищеності реальної складної мережевої системи як складової БШМ, так і наслідків її ураження для процесу міжсистемних взаємодій загалом. Очевидно, що таке оцінювання потребує опрацювання величезних обсягів даних, а це вимагає застосування сучасних обчислювальних методів та комп'ютерного обладнання. Вхідні дані про стан та функціонування об'єктів системи дуже часто можуть бути спотвореними. Тому перед використанням для оцінювання системи їх потрібно попередньо відфільтрувати для усунення завад. Зазвичай цю процедуру потрібно здійснювати в режимі реального часу, застосовуючи паралельні алгоритми. У [4] запропоновано ефективні паралельні алгоритми з автономними гілками для фільтрації одно- та двовимірних сигналів. Для швидкого оцінювання стану та функціонування об'єктів системи після ураження нами запропоновано ефективні паралельні алгоритми локального, агрегованого, прогностичного та інтерактивного оцінювання [5]. Зокрема, для обчислення значень параметрів локальної оцінки застосовано схему, близьку до повного бінарного дерева. Для агрегованого оцінювання поведінки деякої характеристики та процесу функціонування системи

розглянуто відповідні дерева аналізу, на основі яких побудовано паралельні алгоритми.

З метою прогнозування поведінки характеристик об'єктів системи та самих оцінок використовуються паралельні алгоритми з автономними гілками. Інтерактивне оцінювання здійснюється у разі повністю або частково (із залученням методів *U*-статистик) впорядкованого руху потоків.

### **Література**

1. Bianconi, G. (2018). *Multilayer networks: Structure and function*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198753919.001.0001>
2. Vitenu-Sackey, P. A., & Barfi, R. (2021). The impact of Covid-19 pandemic on the global economy: Emphasis on poverty alleviation and economic growth. *The Economics and Finance Letters*, 8(1), 32–43. <https://doi.org/10.18488/journal.29.2021.81.32.43>
3. Polishchuk, O., & Polishchuk, D. (2025). Protection of multilayer network systems from targeted group attacks. *arXiv preprint arXiv:2503.20269 [physics.soc-ph]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.20269>
4. Yadzha, M. S. (2023). Parallel algorithms for data digital filtering. *Cybernetics and Systems Analysis*, 59(1), 39–48. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00540-y>
5. Yadzha, M., & Tyutyunnyk, M. (2024). Construction of parallel algorithms for the study of complex systems objects with a hierarchical-network structure. *Physico-Mathematical Modelling and Informational Technologies*, 39, 26–33. <https://doi.org/10.15407/fmmit2024.39.026> (in Ukrainian)

UDC 004.41:519.2

## **ВИЯВЛЕННЯ ВИКИДІВ У ДВОВИМІРНИХ ДАНИХ ПРОГРАМНИХ МЕТРИК RFC ТА СВО ДЛЯ JAVA ЗАСТОСУНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСФОРМОВАНОГО ЕЛІПСУ ПРОГНОЗУВАННЯ**

**Dr.Sci. С. Приходько<sup>1,2,3[0000-0002-2325-018X]</sup>, Ph.D. Л. Макарова<sup>1,4[0000-0003-2903-3001]</sup>,  
Ph.D. Л. Латанська<sup>1,5[0000-0001-6473-7624]</sup>, М. Бризгалов<sup>1,6[0009-0007-4728-3334]</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет кораблебудування ім. адм.Макарова, Україна

<sup>2</sup> Одеський політехнічний національний університет, Україна

EMAIL: [sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua](mailto:sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua)<sup>3</sup>, [lidia.makarova@nuos.edu.ua](mailto:lidia.makarova@nuos.edu.ua)<sup>4</sup>,  
[liudmyla.latanska@nuos.edu.ua](mailto:liudmyla.latanska@nuos.edu.ua)<sup>5</sup>, [201166@nuos.edu.ua](mailto:201166@nuos.edu.ua)<sup>6</sup>

OUTLIERS DETECTIONS IN TWO-DIMENSIONAL DATA OF RFC  
AND CBO SOFTWARE METRICS FOR JAVA APPLICATIONS  
USING TRANSFORMED PREDICTION ELLIPSE

Dr.Sci. S. Prykhodko<sup>1,2</sup>, Ph.D. L. Makarova<sup>1</sup>, Ph.D. L. Latanska<sup>1</sup>,  
M. Bryzghalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

<sup>2</sup> Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У роботі запропоновано математичну модель для виявлення викидів у двовимірних даних програмних метрик RFC та CBO Java-застосунків за допомогою трансформованого еліпсу прогнозування. Використовується двовимірне перетворення Бокса-Кокса для нормалізації негаусівських даних, квадрат відстані Махаланобіса для визначення викидів, еліпс прогнозування для нормалізованих даних, трансформований еліпс прогнозування для вихідних даних. Перевірка виконана на даних проєктів, які не використовувались для побудови моделі.

**Ключові слова:** виявлення викидів, метрики ПЗ, Java-застосунок, трансформований еліпс прогнозування, перетворення Бокса-Кокса, квадрат відстані Махаланобіса.

**Abstract.** The paper proposes a mathematical model for detecting outliers in two-dimensional data of RFC and CBO software metrics of Java applications using a transformed prediction ellipse. It uses a two-dimensional Box-Cox transformation to normalize non-Gaussian data, Mahalanobis distance squared to detecting outliers, a prediction ellipse for normalized data, a transformed prediction ellipse for the original data. The verification was performed on project data that was not used to build the model.

**Keywords:** outliers detection, software metrics, Java application, transformed prediction ellipse, Box-Cox transformation, squared Mahalanobis distance.

Виявлення викидів у даних з метрик ПЗ відіграє важливу роль в аналізі структурної якості програмних систем [1]. Сучасні застосунки, в тому числі, написані мовою Java, характеризуються великою різноманітністю стилів проєктування та архітектурних підходів. Це призводить до значних коливань значень метрик та появи атипових даних. Наявність таких даних може спотворювати аналіз, ускладнювати процес прийняття рішень при розробці ПЗ. Тому побудова математичної моделі для виявлення викидів у даних з метрик ПЗ є актуальним завданням.

Одним із поширених статистичних інструментів для опису та аналізу двовимірних даних є побудова еліпсу прогнозування. За умови нормального розподілу, еліпс відображає межі типової варіації даних, а об'єкти, що виходять за ці межі, вважаються викидами. Проте на практиці метрики ПЗ, зокрема RFC (Response for a Class) та СВО (Coupling Between Object Classes), часто істотно відхиляються від нормальності. У таких випадках застосування еліпсу прогнозування стає некоректним і може призвести до хибних висновків. Для подолання цієї проблеми запропоновано застосувати нормалізуюче перетворення початкових даних.

Зокрема, у роботі було використано двовимірне перетворення Бокса-Кокса для нормалізації розподілу метрик RFC та СВО. Далі виявлення викидів було зроблено за допомогою квадрату відстані Махаланобіса. Після цього на основі нормалізованих даних будується еліпс прогнозування, який коректно описує статистичну варіацію та відповідає припущенням багатовимірної нормальності. На завершальному етапі виконується обернене перетворення, яке забезпечує отримання трансформованого еліпса прогнозування у вихідному просторі метрик ПЗ [2, 3]. Таким чином, отримана математична модель забезпечує як формальне виявлення аномалій, так і візуальне представлення типових та нетипових даних:

$$\frac{(\psi_1(X_1)-1,98)^2}{0,82} + \frac{(\psi_2(X_2)-2,82)^2}{0,31} - \frac{0,64(\psi_1(X_1)-1,98)(\psi_2(X_2)-2,82)}{0,32} = 6,54.$$

Запропонований підхід надійно виявляє аномалії та надає додаткову інформацію для аналізу складності проектування. Математична модель може бути використана для аналізу нових проектів ПЗ, які у разі виходу значень за межі трансформованого еліпса прогнозування можуть бути визначені як ті, що потребують додаткової уваги.

### **Література**

1. Mendez, D., Avgeriou, P., Kalinowski, M., & bin Ali, N. (Eds.). (2024). *Handbook on teaching empirical software engineering*. Cham: Springer.
2. Prykhodko, S., Makarova, L., Prykhodko, K., & Pukhalevych, A. (2020). Application of transformed prediction ellipsoids for outlier detection in multivariate non-Gaussian data. In *Proceedings of the IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*Engineering (TCSET)* (pp. 359–362). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235454>

3. Prykhodko, S., Prykhodko, N., Makarova, L., & Pukhalevych, A. (2020). Outlier detection in non-linear regression analysis based on the normalizing transformations. In *Proceedings of the IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)* (pp. 407–410). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235464>

UDC 004.05

**АНАЛІЗ ПРОЦЕНТИЛІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ  
ТЕСТУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ**

**М. Менделєва**<sup>1</sup> [0009-0002-4282-3147], **Ph.D. С. Хламов**<sup>2</sup> [0000-0001-9434-1081],  
**Ph.D. О. Вовк**<sup>3</sup> [0000-0001-9072-1634], **Т. Трунова**<sup>4</sup> [0000-0003-2689-2679],  
**Ю. Тесленко**<sup>5</sup> [0009-0009-8349-3683]

<sup>1,2,3,4,5</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна  
EMAIL: <sup>1</sup> mariia.mendielieva@nure.ua, <sup>2</sup> (корресп.) sergii.khlamov@gmail.com,  
<sup>3</sup> oleksandr.vovk@nure.ua, <sup>4</sup> tetiana.trunova@nure.ua, <sup>5</sup> yuliia.teslenko@nure.ua

**ANALYSIS OF PERCENTILES FOR PERFORMANCE OF LOAD  
TESTING TOOLS**

**M. Mendielieva, Ph.D. S. Khlamov, Ph.D. O. Vovk, T. Trunova, Yu. Teslenko**  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

***Анотація.** У роботі представлено аналіз метрик перформанс тестування при порівнянні поведінки інструментів тестування Postman та JMeter для публічних інтерфейсів програмування додатків (API). Результати свідчать про потенційну користь використання Postman при умовах середнього навантаження для Create і Delete запитів, та JMeter для Read (Get) та Update операцій у складних системах, що потребують стабільності та передбачуваності в умовах змінних навантажень.*

***Ключові слова:** проценти́ль, тестування продуктивності, відсоткове відхилення, стабільність, Postman, JMeter.*

***Abstract.** The paper presents an analysis of performance testing metrics when comparing the behavior of Postman and JMeter testing tools for public application programming interfaces (APIs). The results indicate the potential benefit of using Postman under medium load conditions for Create and Delete requests, and JMeter for Read (Get) and Update operations in complex systems that require stability and predictability under variable loads.*

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Keywords:** *percentile, performance testing, percent deviation, stability, Postman, JMeter.*

In real-time systems, average response time values can be influenced by anomalous outliers (e.g., if one request takes 10 seconds while others are processed in 100 ms due to a failure rate of 1-10%, such as user or validation errors) [1]. However, percentiles provide a more reliable representation of system behavior for most users, capturing significant delays that the average response time would miss [2]. The aim of this work is to analyze ARTs and percentiles values obtained during performance testing of 5 public APIs using Postman and JMeter in order to identify cases where particular test tools are more stable. For each of public APIs 4 types of HTTP requests were sent: GET, POST, PUT, DELETE. Additionally, 8 different test cases (TC) were executed for each type of request in both test tools. Test cases used different type of load (Ramp Up, Spike, Peak, and Fixed type in Postman and corresponding Thread Groups in JMeter), number of virtual users (VU), think time or delay, and test duration. ART values and values of 90<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup>, 99<sup>th</sup> percentiles (P90, P95, P99) were collected for each TC and type of request from performance test reports in both test tools. Percentile values for each request and API were calculated using *numpy.percentile()* function in Python. The percentage deviation (D) from ART, calculated with Formula 1, highlights test tool stability, where a deviation under 20% indicates better stability:

$$D = \frac{P_p - ART}{ART} \times 100, \quad (1)$$

where  $P_p$  - the percentile value (e.g.,  $P_{90}$  is the value of 90<sup>th</sup> percentile).

Percentile and D values for each request type were averaged across all 5 APIs, as shown in Table 1. Percentiles exceeded ART for both tools, indicating presence of performance degradation. The most significant values are highlighted in bold. Postman has a better ART and processes requests faster than JMeter. Postman shows minimal differences in P90 and P95 D for POST (6.855% and 0.112%) and DELETE requests (11.364% and 17.611%), showing good stability. Moderate and high differences in P90 D and P95 D for GET (26.45% and 68.236%) requests suggest stability issues and performance fluctuations, which impact the user experience. Additionally, JMeter demonstrates better performance in P99 under demanding conditions for PUT requests and in all scenarios for GET requests.

**Table 1.**

Aggregated mean values of ART, percentiles, and percentage deviation for  
different requests in Postman and JMeter

| Method | Tool    | ART, sec       | P90, sec | P95, sec | P99, sec | P90 D, %       | P95 D, % | P99 D, %       |
|--------|---------|----------------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------------|
| GET    | Postman | <b>166,175</b> | 298,48   | 392,650  | 521,656  | <b>101,240</b> | 158,613  | 311,005        |
| GET    | JMeter  | <b>181,65</b>  | 306,32   | 326,500  | 496,108  | <b>74,790</b>  | 90,376   | 267,864        |
| POST   | Postman | 148,1          | 188,82   | 219,400  | 328,572  | 20,233         | 36,872   | 106,621        |
| POST   | JMeter  | 147,175        | 194,04   | 207,600  | 385,248  | 27,088         | 36,760   | 161,460        |
| PUT    | Postman | <b>144,925</b> | 193,46   | 224,800  | 643,546  | 25,320         | 43,121   | <b>399,459</b> |
| PUT    | JMeter  | <b>152,075</b> | 234,98   | 286,100  | 364,792  | 53,631         | 82,779   | <b>146,312</b> |
| DElete | Postman | 166,225        | 200,04   | 210,69   | 434,812  | 16,309         | 22,629   | 160,728        |
| Delete | JMeter  | 163,325        | 212,3    | 232,66   | 581,036  | 27,673         | 40,240   | 229,010        |

In conclusion, Postman with a lower ART improves response time and efficiency under average loads, but does not ensure stability in the presence of significant outliers. JMeter, with smaller deviations for GET and PUT requests, is more stable and predictable, which is crucial for testing complex systems under fluctuating load conditions.

### References

1. Kopp, M. (2022). Why averages suck and percentiles are great. Dynatrace. <https://www.dynatrace.com/news/blog/why-averages-suck-and-percentiles-are-great/>
2. Yenugula, M., Kodam, R., & He, D. (2019). Performance and load testing: Tools and challenges. *International Journal of Engineering in Computer Science*, 1, 57–62. <https://doi.org/10.33545/26633582.2019.v1.i1a.102>

UDC 004.942 + 629.735

## COMPARATIVE ANALYSIS OF UAV SIMULATION PLATFORMS: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, AND FUTURE DIRECTIONS

**Dr.Sci. A. Kupin**<sup>1[0000-0001-7569-1721]</sup>, **Ph.D. Y. Osadchuk**<sup>2[0000-0001-6110-9534]</sup>,  
**M. Kosei**<sup>3[0009-0008-3445-5675]</sup>

*Kryvyi Rih National University, Ukraine*

EMAIL: <sup>1</sup>kupin.andrew@gmail.com,; <sup>2</sup>u.osadchuk@knu.edu.ua, <sup>3</sup>kosei@knu.edu.ua

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПЛАТФОРМ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ БПЛА: ВИКЛИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

**Dr.Sci. A. Купін, Ph.D. Ю. Осадчук, М. Косей**

*Криворізький національний університет, Україна*

**Abstract.** *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become indispensable in various fields, including agriculture, disaster response, and military operations. However, real-world testing of UAVs is costly, risky, and time-consuming, making simulation platforms essential for safe algorithm development and testing. This paper provides a comparative analysis of existing UAV simulation platforms, highlighting their strengths, weaknesses, and areas for improvement. By examining key criteria such as sensor integration, scalability, physics accuracy, and user accessibility, we identify critical gaps in current simulators. The study concludes with recommendations for developing more comprehensive, high-fidelity, and scalable simulation environments to advance UAV research and innovation.*

**Keywords:** UAV, drone simulators, swarm robotics, sensor integration, aerodynamics modeling, scalability, reinforcement learning, UAV research, simulation platforms, autonomous navigation.

**Анотація.** *Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали незамінними у багатьох сферах, включаючи сільське господарство, реагування на надзвичайні ситуації та військові операції. Однак тестування БПЛА в реальних умовах є дорогим, ризикованим і потребує значного часу, що робить платформи для моделювання важливим інструментом для безпечної розробки та тестування алгоритмів. У цій статті представлено порівняльний аналіз існуючих платформ для моделювання БПЛА, з акцентом на їхні сильні сторони, недоліки та аспекти, які потребують вдосконалення. Розглядаючи ключові критерії, такі як інтеграція сенсорів, масштабованість, точність фізичних моделей та доступність для користувачів, ми визначаємо критичні прогалини в сучасних симуляторах. Дослідження завершується рекомендаціями щодо розробки більш комплексних, високоточних і масштабованих середовищ моделювання для сприяння розвитку досліджень і інновацій у сфері БПЛА.*

**Ключові слова:** БПЛА, симулятори дронів, рйова робототехніка, інтеграція сенсорів, моделювання аеродинаміки, масштабованість, навчання з підкріпленням, дослідження БПЛА, платформи моделювання, автономна навігація.

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become increasingly diverse in design and application, ranging from small consumer drones to large, high-endurance systems for military and industrial use. Their widespread adoption has been driven by their ability to perform tasks such as remote sensing, transportation, search and rescue, and surveillance with significant advantages in cost-effectiveness, safety, and operational flexibility. UAVs

come in various configurations, including fixed-wing, rotary-wing, VTOL (Vertical Takeoff and Landing), and HTOL (Horizontal Takeoff and Landing) designs, each tailored to specific operational requirements.

Fixed-wing UAVs, resembling traditional airplanes, are ideal for long-distance missions such as mapping and environmental monitoring due to their high endurance. Rotary-wing UAVs, such as quadcopters and hexacopters, are highly maneuverable and capable of hovering, making them suitable for tasks requiring precision, such as urban inspections and payload delivery. VTOL UAVs combine the advantages of rotary-wing and fixed-wing designs, offering vertical takeoff and landing capabilities alongside efficient forward flight, which is particularly useful in confined spaces or rugged terrains. HTOL UAVs, optimized for long-range, high-speed missions, are often used in military reconnaissance and large-scale mapping.

The diversity of UAV configurations underscores the need for simulation platforms that can accurately model the unique dynamics and capabilities of each type. For example, simulating the aerodynamics of fixed-wing UAVs requires precise modeling of lift and drag forces, while rotary-wing UAVs demand accurate representations of rotor dynamics and hovering stability. VTOL and HTOL UAVs introduce additional complexities, such as the transition between vertical and horizontal flight modes, which must be captured in high-fidelity simulation environments.

Environmental modeling is another critical aspect of UAV simulation. Weather conditions such as wind, rain, snow, and temperature variations can significantly impact UAV performance, affecting flight stability, sensor accuracy, and energy consumption. High-fidelity simulation platforms must incorporate realistic weather models to evaluate UAV performance under diverse and challenging conditions. For instance, wind turbulence can destabilize rotary-wing UAVs, while fixed-wing UAVs may struggle to maintain altitude or direction in strong crosswinds. Rain or snow can interfere with onboard sensors like cameras or LiDAR, reducing visibility and sensor reliability. Extreme temperatures can affect battery performance and overall system reliability. By simulating these environmental factors, researchers can better understand the limitations of UAV systems and develop robust algorithms to ensure safe and reliable operation in real-world scenarios. Modern UAVs are equipped with a wide range of sensors, including cameras, LiDAR, radar, GPS, inertial measurement units (IMUs),

ultrasonic sensors, and environmental sensors (e.g., temperature, humidity, and air pressure).

These sensors enable UAVs to perceive their surroundings, navigate autonomously, and perform complex tasks. However, the performance of these sensors can be affected by environmental conditions, electromagnetic interference, or physical obstructions, which must be accounted for in simulations. Furthermore, UAVs often operate in collaborative networks, particularly in swarm robotics or multi-UAV systems, where drones exchange information in real time to coordinate their actions. This requires robust communication protocols and network architectures to ensure reliable data exchange.

Despite the availability of numerous UAV simulation platforms, they vary significantly in terms of fidelity, functionality, and usability. Many existing simulators face limitations in areas such as physics accuracy, sensor modeling, scalability, and user accessibility, which can hinder their effectiveness in supporting cutting-edge UAV research. For example, some simulators excel in high-fidelity physics modeling but lack scalability for swarm operations, while others support multi-drone coordination but fail to offer realistic environmental variability or comprehensive sensor integration.

Opportunities for improvement include advancements in aerodynamics modeling, particularly for multirotor and fixed-wing UAVs, which could significantly enhance simulation accuracy and realism. The development of scalable frameworks for swarm operations and the integration of more sophisticated sensor models could expand the applicability of simulators to a broader range of research scenarios. Standardization of UAV simulation platforms is another key opportunity, as establishing a unified framework for benchmarking simulator performance could improve comparability between studies, facilitate collaboration among researchers, and streamline the development of new technologies.

Future directions for UAV simulation platforms point toward hyper-realistic and high-fidelity simulations, driven by advancements in rendering technologies and physics engines. The integration of digital twin concepts, where virtual models precisely mirror real-world UAVs and environments, will enable real-time monitoring, predictive maintenance, and rapid prototyping. Research will also focus on enhancing multi-agent and swarm simulation capabilities, including robust modeling of decentralized decision-making and emergent behaviors. Standardized benchmarks and evaluation

metrics will be crucial for comparing different simulators and validating simulation results. UAV simulation platforms are at the forefront of enabling the next generation of autonomous aerial systems. By addressing current limitations and capitalizing on emerging technologies, the field can unlock the full potential of UAV technology, fostering innovation and ensuring safe and efficient deployment across an ever-expanding array of applications. Collaboration, standardization, and innovation are key to developing the next generation of simulation tools.

UDC 004.001; 681.51

**ПРО ПОБУДОВУ СТОХАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВХІДНОГО  
ПОТОКУ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ КОНВЕЙЕРНИХ СИСТЕМ**

**Dr.Sci. O. Pihnastyi**<sup>1</sup>[0000-0002-5424-9843], **Ph.D. M. Sobol**<sup>2</sup>[0000-0002-7853-4390]

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут», Україна,

EMAIL: <sup>1</sup>pihnastyi@gmail.com, <sup>2</sup>sobol.mo@gmail.com

**ON CONSTRUCTING A STOCHASTIC INPUT-FLOW MODEL  
FOR TRANSPORT CONVEYOR SYSTEMS**

**Dr.Sci. O. Pihnastyi, Ph.D. M. Sobol**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

**Анотація.** Досліджено роботу транспортної системи конвеєрного типу за умов стохастичного характеру вхідного потоку сипкого матеріалу. Запропоновано математичну модель із канонічним поданням стаціонарного випадкового процесу для вхідного потоку, безрозмірним описом ланцюга конвеєрів та оцінкою ймовірності перевищення критичних порогів, що спричиняють розсип. Чисельні приклади для схеми з реверсивним конвеєром демонструють залежність коефіцієнта завантаження й втрат від статистичних характеристик потоку та обґрунтовують режими керування швидкістю.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, стохастичний вхідний потік, нормальний розподіл, кореляційна функція, ймовірність розсипу, реверсивний конвеєр.

**Abstract.** The paper examines the operation of a conveyor-type transport system under a stochastic inflow of bulk material. The authors propose a mathematical model that employs a canonical representation of a stationary random process for the input flow, a dimensionless description of the conveyor chain, and an assessment

*of the probability of exceeding critical thresholds that cause spillage. Numerical examples for a scheme with a reversible conveyor demonstrate how the load factor and losses depend on the statistical characteristics of the flow and substantiate appropriate speed-control regimes.*

**Keywords:** *belt conveyor, stochastic input flow, normal distribution, correlation function, spillage probability, reversible conveyor.*

**Introduction.** Belt conveyors provide continuous transportation of bulk materials in mining and related industries, where energy efficiency and stable loading are key requirements. In real operations the incoming flow exhibits random fluctuations, causing uneven loading, additional energy losses, and spillage risk [1]. This calls for models that explicitly account for the stochastic nature of inputs and support decisions on belt speed and routing control. **Aim and methods.** The aim is to build a generalized model of a transport system with multiple sequential conveyors (including a reversible one) that (i) describes the deterministic transport dynamics in dimensionless coordinates; (ii) represents the input flow as a stationary random process via a canonical expansion; (iii) evaluates the probability of exceeding critical density/flow thresholds that lead to spillage at the inlet of the next conveyor. The approach relies on the mass-transport equation with delay and on the relation between density and volumetric flow at a constant belt speed [2, 3]. **Mathematical formulation.** A conveyor with constant speed is modeled as a transport problem with initial–boundary conditions in dimensionless variables; for a conveyor chain we introduce compatible length, speed, and boundary-density parameters. The stochastic input is given by a canonical expansion in orthogonal basis functions with uncorrelated coefficients, yielding closed-form expressions for the mean, variance, and correlation function of the inflow process. Based on this, we compute the critical flow value, the probability of exceedance, and the minimal belt speed needed to limit spillage. **Results and application example.** For a seven-conveyor test scheme reproducing a section of a real mine transport system we show that (a) measured inflow values are well approximated by a normal distribution with short correlation memory; (b) the no-spillage critical threshold is determined as the distribution quintile for a target reliability level; (c) the reversible conveyor redistributes flow between routes and reduces peak loads [4, 5]. Comparative estimates demonstrate how the loading factor and required speed margin depend on the mean and variance of the input process.

Conclusions. The proposed model reconciles deterministic mass-transport equations with a probabilistic description of the incoming flow, providing engineering criteria for selecting belt speeds and route configurations to prevent spillage and reduce energy consumption. Practically, it enables the design of adaptive speed-control strategies based on online estimates of input statistics and exceedance forecasts.

#### **References**

1. Pihnastyi, O. M., Ivanovska, O. V., & Sobol, M. O. (2022). Synthesis of the algorithm for the flow parameters optimal control of the reversible conveyor. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, P.210-221. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-2-20>
2. Pihnastyi, O., & Sobol, M. (2022). The input material flow model of the transport conveyor. Paper presented at the Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, doi:10.1109/MEES58014.2022.10005769
3. Oleh Pihnastyi, Maksym Sobol, Method for Determining Statistical Characteristics of Input Material Flows of Transport Conveyor. CEUR Workshop Proceedings, Volume 3513, 2023. ISSN 1613-0073, Pages 409-419. Proceedings of the 11-th International Conference "Information Control Systems & Technologies", Odesa, Ukraine, September 21–23, 2023. <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper34.pdf>
4. Oleh Pihnastyi, Maksym Sobol, Anna Burduk Predictive analysis of the interval material flow rates in transport conveyors based on experimental data CEUR Workshop Proceedings, Volume 3790, 2024. ISSN 1613-0073, Pages 494-505. Proceedings of the 12-th International Conference "Information Control Systems & Technologies", Odesa, Ukraine, September 23–25, 2024. <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper43.pdf>
5. Oleh Pihnastyi, Maksym Sobol (2022). Stress analysis in a conveyor belt for the maxwell model of elastic element. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Dynamics and Strength of Machines*, 1, P.81-93. <http://jdsm.khpi.edu.ua/article/view/265430>, <http://jdsm.khpi.edu.ua/indexing>

UDC 004.93:519.237

**РОЗПІЗНАВАННЯ КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ ЗА  
ДОПОМОГОЮ ВОСЬМИВИМІРНОГО ЕЛІПСОЇДА  
ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ НОРМАЛІЗОВАНИХ ДАНИХ**  
**Dr.Sci. С. Приходько**<sup>1</sup>[10000-0002-2325-018X1](mailto:sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua), **Ph.D. А. Трухов**<sup>2</sup>[20000-0002-7160-8609](mailto:artem.trukhov@nuos.edu.ua)  
*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Україна*  
*EMAIL: <sup>1</sup>sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua, <sup>2</sup>artem.trukhov@nuos.edu.ua*

## KEYSTROKE DYNAMICS RECOGNITION USING AN EIGHT-VARIATE PREDICTION ELLIPSOID FOR NORMALIZED DATA

Dr.Sci. S. Prykhodko, Ph.D. A. Trukhov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

**Анотація.** Розпізнавання клавіатурного почерку забезпечує безперервну, ненав'язливу автентифікацію користувача, але його точність часто знижується, оскільки розподіл реальних даних відхиляється від багатовимірного нормального. В роботі досліджується застосування восьмивимірного еліпсоїда прогнозування для нормалізованих даних, що поєднують час утримання клавіші та міжклавішні затримки. Результати показують, що застосування еліпсоїда прогнозування для нормалізованих даних значно покращує точність та ймовірність розпізнавання, досягаючи найкращих результатів з використанням багатовимірного перетворення Бокса-Кокса.

**Ключові слова:** розпізнавання клавіатурного почерку, багатовимірний нормальний розподіл, нормалізуюче перетворення

**Abstract.** Keystroke dynamics recognition provides continuous, non-intrusive user authentication, but its accuracy often suffers because real-world data violate the assumption of multivariate normality. This study investigates the application of an eight-variate prediction ellipsoid for normalized data, combining key hold times and inter-key latencies. Results show that normalization significantly improves recognition accuracy and probability, achieving the best results using the multivariate Box-Cox transformation.

**Keywords:** keystroke dynamics recognition, multivariate normal distribution, normalizing transformation

Розпізнавання клавіатурного почерку є біометричною технологією, що ідентифікує користувачів за унікальними шаблонами введення тексту та забезпечує ненав'язливу й безперервну автентифікацію. Оскільки такі системи здебільшого використовуються для автентифікації, їх часто моделюють як задачі одно-класової класифікації [1], де модель навчається лише на даних цільового користувача та виявляє відхилення, що можуть вказувати на несанкціонований доступ.

Багато існуючих моделей для розпізнавання образів передбачають багатовимірний нормальний розподіл даних. Проте на практиці це припущення часто порушується через природну варіативність у наборі

тексту, наявність шумів і зовнішніх факторів [2]. Як наслідок, точність та ймовірність розпізнавання можуть суттєво знижуватися при застосуванні таких моделей до реальних даних. З огляду на широке використання розпізнавання клавіатурного почерку існує очевидна потреба у вдосконаленні методів розпізнавання для забезпечення вищої точності та ймовірності розпізнавання.

У цьому дослідженні використовується CMU Keystroke Dynamics Benchmark Dataset, загальнодоступний і широко застосовуваний набір даних, розроблений для досліджень у сфері автентифікації.

У випадках, коли багатовимірний розподіл вихідних даних відхиляється від нормального, попередньо застосовуються нормалізуючі перетворення, які поділяються на одновимірні та багатовимірні [3].

Одновимірні перетворення, такі як логарифмічне (LOG) та перетворення Бокса–Кокса (UBCT), застосовуються до кожної ознаки незалежно, натомість багатовимірне перетворення Бокса–Кокса (MBCT) дозволяє враховувати кореляцію між ознаками. Після цього будуватиметься восьмивимірний еліпсоїд прогнозування для нормалізованих даних:

$$(\mathbf{Z} - \bar{\mathbf{Z}})^T \mathbf{S}_Z^{-1} (\mathbf{Z} - \bar{\mathbf{Z}}) = \chi_{m,\alpha}^2, \quad (1)$$

де  $\mathbf{Z}$  – гауссівський вектор;  $\bar{\mathbf{Z}}$  – вектор вибірових середніх;

$$\mathbf{S}_Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{Z}_i - \bar{\mathbf{Z}})(\mathbf{Z}_i - \bar{\mathbf{Z}})^T; \quad \chi_{m,\alpha}^2 - \text{квантиль розподілу хі-квадрат}$$

з  $m$  ступенями свободи та рівнем значущості  $\alpha$ .

Для оцінки побудованих моделей застосовуються кілька широко використовуваних метрик: accuracy, specificity та recall. Таблиця 1 містить порівняння результатів використання еліпсоїдів прогнозування для негаусівських даних (Raw data) та нормалізованих даних (1) за визначеними метриками.

**Table 1.**

Порівняння побудованих еліпсоїдів прогнозування

| Model    | Specificity | Recall | Accuracy |
|----------|-------------|--------|----------|
| Raw data | 0,9625      | 0,9588 | 0,9613   |
| LOG      | 0,9750      | 0,9639 | 0,9714   |
| UBCT     | 0,9900      | 0,9845 | 0,9882   |
| MBCT     | 0,9900      | 0,9897 | 0,9899   |

Результати показують, що застосування еліпсоїдів прогнозування для нормалізованих даних дозволяє підвищити точність та ймовірність розпізнавання. Хоча одновимірні перетворення забезпечують помітні покращення, найкращі результати досягаються за допомогою багатовимірних перетворень, оскільки вони враховують взаємозв'язки між ознаками.

### Література

1. Roy, S., Pradhan, J., Kumar, A., Adhikary, D., Roy, U., Sinha, D., & Pal, R. (2022). A systematic literature review on latest keystroke dynamics based models. *IEEE Access*, 10, 92192–92236. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3197756>
2. Oyebola, O. (2023). Examining the distribution of keystroke dynamics features on computer, tablet and mobile phone platforms. In *Proceedings of the Mobile Computing and Sustainable Informatics (ICMCSI 2023)* (pp. 613–620). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-0835-6\\_43](https://doi.org/10.1007/978-981-99-0835-6_43)
3. Prykhodko, S., & Trukhov, A. (2024). Application of a nine-variate prediction ellipsoid for normalized data and machine learning algorithms for keystroke dynamics recognition. In *Proceedings of the Information Technology and Implementation (IT&I) Workshop: Intelligent Systems and Security (IT&I-WS 2024: ISS), CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 3933, pp. 51–64). CEUR-WS. [https://ceur-ws.org/Vol-3933/Paper\\_5.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-3933/Paper_5.pdf)

УДК 004.49

**ПРОГНОЗУВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ РІДИНИ В  
СВЕРДЛОВИНАХ ТА ШЛЕЙФАХ НА ПІДЗЕМНИХ  
СХОВИЩАХ ГАЗУ**

**Ph.D. В. Воловецький**<sup>1</sup>[0000-0001-8575-5143], **Ph.D. О. Фрідман**<sup>2</sup>[0000-0002-7437-6372],  
**Dr.Sci. П. Райтер**<sup>3</sup>[0000-0002-3437-2844], **О. Щирба**<sup>4</sup>[0000-0002-4584-7446],  
**Dr.Sci. Ю. Романишин**<sup>3</sup>[0000-0001-7231-8040]

<sup>1</sup>Філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз»,  
Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

<sup>3</sup>Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу, Україна

<sup>4</sup>Філія «Науково-дослідний інститут природних газів» АТ  
«Укргазвидобування», Україна

EMAIL: <sup>1</sup>vvb11@ukr.net, <sup>2</sup>o.fridman@karazin.ua, <sup>3</sup>petro.raiter@nung.edu.ua,  
<sup>4</sup>omschyrba@ukr.net, <sup>5</sup>yulromanyshyn@gmail.com

**FORECASTING OF LIQUID ACCUMULATION IN WELLS AND  
FLOWLINES AT UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES**

**Ph.D. V. Volovetskyi**<sup>1</sup>, **Ph.D. O. Fridman**<sup>2</sup>, **Dr.Sci. P. Raiter**<sup>3</sup>,  
**O. Shchyrba**<sup>4</sup>, **Dr.Sci. Y. Romanyshyn**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Branch R&D Institute of Gas Transportation Joint Stock Company «Ukrtransgaz»,  
Ukraine

<sup>2</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

<sup>3</sup>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

<sup>4</sup>Branch Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases Public Joint Stock  
Company «Ukrigasvydobuvannya», Ukraine

**Анотація.** Розглянуто ускладнення, які можна спостерігати під час експлуатування підземних сховищ газу, зокрема накопичення рідини в свердловинах та шлейфах. Розроблено систему прогнозування накопиченої рідини в свердловині та шлейфі.

**Ключові слова:** підземне сховище газу, свердловина, шлейф, накопичення рідини, система.

**Abstract.** Possible complications that occur during the operation of underground gas storage facilities, in particular, the accumulation of liquid in wells and flowlines, are considered. A system for predicting and removing accumulated liquid in a well and a flowline is developed.

**Keywords:** underground gas storage, well, flowline, liquid accumulation, system.

Під час експлуатування підземних сховищ газу (ПСГ) можуть виникати різні ускладнення, які негативно впливають на продуктивність свердловин і, відповідно, обсяг відібраного газу. З огляду на це потрібен комплексний підхід, який передбачає детальне аналізування ускладнень та пошук альтернативних шляхів їх усунення. Тому актуальною є проблема забезпечення стабільного експлуатування свердловин ПСГ, що потребує розроблення та вжиття невідкладних заходів. Одним із перспективних напрямів розв'язання цієї проблеми є розроблення системи прогнозування можливих ускладнень.

Під час експлуатування свердловин на ПСГ у сезон відбору відбувається рух газу з пласта до вибою, а відтак колоною ліфтових труб та шлейфом газ надходить на газозбірний пункт (ГЗП). Разом з газом може відбуватися і рух рідини. Унаслідок зниження пластових тисків та дебітів, можливе поступове накопичення рідини в свердловинах та/або у внутрішній порожнині шлейфів, що призводить до зниження продуктивності свердловин.

У зв'язку з цим свердловини можуть експлуатувати на таких режимах, за яких наявний дебіт наближається або менший від мінімально-необхідного, що забезпечує винесення як рідини, так і твердих домішок. Вочевидь, за умови, коли швидкість газового потоку стає меншою ніж потрібне значення, спостерігають накопичення рідини як на вибої свердловин, так і у понижених ділянках шлейфів.

У зв'язку з цим потрібно періодично видаляти рідину із свердловин та очищати внутрішні порожнини шлейфів. Відомо, що на практиці застосовують різні методи (технології) для видалення рідини зі свердловин та шлейфів, кожний (кожна) з яких має свої переваги та недоліки. Тому для конкретного випадку доцільно обирати оптимальні з погляду індивідуального застосування.

Автори розробили систему прогнозування накопичення рідини в свердловинах та шлейфах, яка передбачає встановлення давачів тиску та температури як на гирлі свердловин (трубний і затрубний простір), так і на входних газопроводах ГЗП (вимикальні пристрої). Окрім цього доцільно передбачити передавання інформації із давачів тиску і температури до пристрою її збирання, установлених по місцю, та подальшого передавання інформації для зберігання (архівування) у пам'яті серверів, що реалізують хмарні сервіси зберігання та опрацювання даних. Завдяки такому підходу показники

експлуатування свердловин, зокрема тиску і температури, будуть надходити з давачів у пристрій збирання й передавання інформації, а далі через інтернет-зв'язок зберігатися у хмарі та, в подальшому, у базі даних на комп'ютері-сервері. Це дасть змогу використовувати фактичні дані режиму експлуатування свердловин для виконання об'єктивних газодинамічних розрахунків на комп'ютері користувача. Установлення на персональний комп'ютер програмного забезпечення (ПЗ) для автоматизованого визначення значень коефіцієнтів фактичного та теоретичного гідравлічного опору ліфтових колон та шлейфів та співставлення їх.

У разі збільшення значення коефіцієнта фактичного гідравлічного опору понад задане, передбачено виведення повідомлення на монітор комп'ютера персоналу щодо можливості ускладнень [1]: «аварійний стан» або «аварія». Також ПЗ автоматизовано розраховує швидкість газового потоку на вибої, гирлі, шлейфі та на ГЗП, а ще об'єм накопиченої рідини в свердловині та шлейфі. Результати виконаних розрахунків подають у формі таблиць та графічно візуалізують на монітор.

Окрім цього, доцільно встановити обладнання на гирлі свердловин відповідно до запропонованих варіантів технологічної схеми [2] для автоматизованого подавання розчину ПАР. Уживання запропонованих заходів дасть змогу прогнозувати накопичення рідини в свердловині та шлейфі, своєчасно видаляти рідину та забезпечувати стабільний відбір газу.

### **Література**

1. Воловецький, В., Дорошенко, Я., & Щирба, О. (2020). Моніторинг гідравлічного опору ліфтових колон і трубопроводів системи збирання та підготовки газу. У *Контроль і управління в складних системах (КУСС – 2020): тези доповідей XV-ї Міжнародної конференції* (с. 131–133). Вінниця: ВНТУ.
2. Volovetskyi, V. B., Doroshenko, Ya. V., Kogut, G. M., Rybitskyi, I. V., Doroshenko, J. I., & Shchyrb, O. M. (2021). Developing a complex of measures for liquid removal from gas condensate wells and flowlines using surfactants. *Archives of Materials Science and Engineering*, 108(1), 24–41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0250>

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОДІЄВО-ОРІЄНТОВАНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ**

**С. Орлов** <sup>1</sup> [0009-0008-0680-206X], **Ph.D. С. Хламов** <sup>2</sup> [0000-0001-9434-1081],  
**Т. Трунова** <sup>3</sup> [0000-0003-2689-2679], **Д. Жужнів** <sup>4</sup> [0009-0000-3405-3053],  
**Ph.D. А. Фролов** <sup>5</sup> [0000-0001-7335-0712]

<sup>1,2,3,4,5</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна  
EMAIL: <sup>1</sup> stasorlov21@gmail.com, <sup>2</sup> sergii.khlamov@gmail.com,  
<sup>3</sup> tetiana.trunova@nure.ua, <sup>4</sup> zhuzhniev@gmail.com, <sup>5</sup> andrii.frolov@nure.ua

**PERFORMANCE EFFICIENCY OF THE EVENT-DRIVEN  
DISTRIBUTED SYSTEM**

**S. Orlov, Ph.D. S. Khlamov, T. Trunova, D. Zhuzhniev, Ph.D. A. Frolov**  
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

**Анотація.** У цій статті розглядаються покращення продуктивності, досягнуті завдяки використанню бінарних протоколів зв'язку в подієво-орієнтованих розподілених системах. У ній стверджується, що текстові протоколи, такі як JSON, незважаючи на їхню читабельність для людини, створюють значні накладні витрати з точки зору розміру даних, швидкості серіалізації/десеріалізації та споживання пропускну здатності мережі, що робить їх вузьким місцем в середовищах з високим трафіком. Аналіз ґрунтується як на кількісних показниках, таких як швидкість серіалізації та розмір стиснутих повідомлень, так і на якісних, включаючи підтримку схеми та зворотну сумісність. Результати показують, що бінарні протоколи забезпечують суттєві переваги в продуктивності, зокрема зменшену затримку, збільшену пропускну здатність та оптимізоване використання ресурсів.

**Ключові слова:** серіалізація даних, JSON, автоматизований конвеєр, продуктивність, затримка в мережі, подієво-орієнтована архітектура.

**Abstract.** This article examines the performance improvements gained by using binary communication protocols in event-driven distributed systems. It argues that text-based protocols such as JSON, despite being human-readable, create a bottleneck in high-traffic situations due to significant overhead in data size, serialization/deserialization speed, and network bandwidth consumption. The analysis uses both quantitative metrics, such as serialization speed and compressed message size, and qualitative metrics, including schema support and backward compatibility. The findings show that binary protocols provide significant

*performance benefits, including lower latency, higher throughput, and optimized resource use.*

**Keywords:** *data serialization, JSON, automated pipeline, performance, network latency, event-driven architecture.*

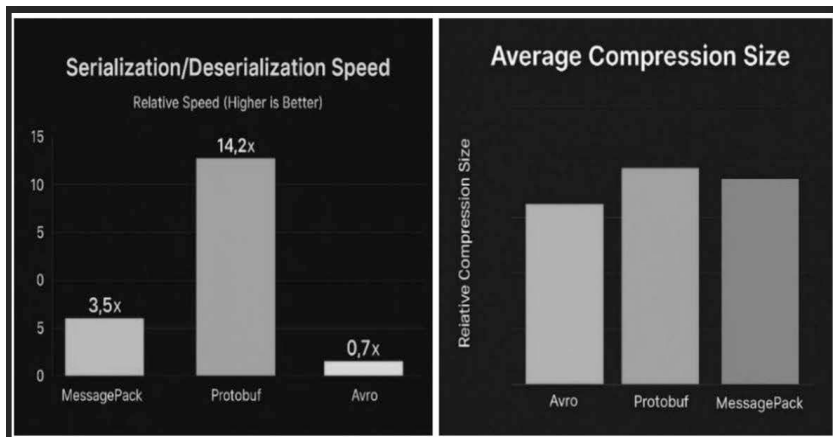
Event-Driven Architecture (EDA) is a foundational element of modern distributed systems because it naturally supports scalability, decoupling, and resilience [1]. The extent to which these advantages are realized is heavily dependent on the communication protocol selected. Traditional text-based protocols, while human-readable, introduce considerable overhead in terms of data size, serialization/deserialization speed, and network bandwidth consumption. While binary protocols undeniably enhance performance, their adoption introduces complexities related to development, debugging, and schema management.

Implemented GitAction pipeline using BenchmarkDotNet framework [2] for performance comparison provides high-precision and automation, tracking performance over time, and no local dependencies. The tables below illustrate the results obtained during GitAction performance pipeline execution and summarize the metrics. The different objects used for serialization: flat and nested objects. “Flat contract” means the simple objects without any nested objects inside, with a couple of properties of different data types. While the “Nested objects in contract” means the usage of multiple “Flat contracts” inside a single object.

Figure 1 provides the metrics on how many binary serializers (Message Pack, Protobuf, and Apache Avro) work faster and have a smaller compression size than a simple text formatter (JSON) [3]. The application of this research to edge AI models deployed near the data source opens new pathways for intelligent in-sensor processing, supporting decision-making process, and rapid, autonomous scientific discovery in the next generation of sky surveys [4].

This investigation comprehensively demonstrates that binary serialization protocols are indispensable for optimizing performance efficiency in modern event-driven distributed systems.

While text-based formats like JSON offer human readability and flexibility, their overhead in data size, serialization speed, and network bandwidth presents a significant bottleneck in high-throughput and low-latency environments.



**Figure 1.** Difference in the serialization speed between different formats

### References

1. Coulouris, G., Dollimore, J., Kindberg, T., & Blair, G. (2011). *Distributed systems: Concepts and design* (5th ed., 1080 p.). Pearson.
2. Grigorik, I. (2011). Protocol buffers, Avro, Thrift & MessagePack. <https://www.igvita.com/2011/08/01/protocol-buffers-avro-thrift-messagepack>
3. Overview of Benchmark.Net. (2025). <https://benchmarkdotnet.org>
4. Khlamov, S., et al. (2024). Machine vision for astronomical images using the modern image processing algorithms implemented in the CoLiTec software. In *Measurements and Instrumentation for Machine Vision* (pp. 269–310). <https://doi.org/10.1201/9781003343783-12>

UDC 004.942

### **MODELING THE OCULO-MOTOR SYSTEM BASED ON EYE TRACKING DATA ON A CLOUD COMPUTING PLATFORM**

**Dr.Sci. V. Pavlenko**<sup>1[0000-0002-5655-4171]</sup>, **A. Ilutsa**<sup>2[0009-0007-3445-8481]</sup>,

**D. Lukashuk**<sup>3[0009-0003-3149-3741]</sup>

*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*  
*EMAIL: <sup>1</sup>pavlenko\_vitalij@ukr.net, <sup>2</sup>ilutsa.a.s@op.edu.ua,*  
*<sup>3</sup>user111228322@gmail.com*

**МОДЕЛЮВАННЯ ОКОРУХОВОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ  
ДАНИХ АЙТРЕКІНГУ НА ПЛАТФОРМІ ДЛЯ ХМАРНИХ  
ОБЧИСЛЕНЬ**

**Dr.Sci. В. Павленко, А. Луца, Д. Лукашук**

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

**Abstract.** *The purpose of the work is the development of web-oriented software tools that combine PaaS and SaaS services. This expands the diagnostic capabilities of information technology tools for assessing the neurophysiological state of a person and helps to increase the productivity and efficiency of scientific research based on eye tracking data. The developed tools provide calculations on the server, minimal requirements for client equipment, flexible scaling and versatility. The use of an interface designer with a code translator allows you to combine graphic elements with program code, increasing the accessibility, repeatability and scalability of scientific research.*

**Keywords:** *modeling the oculo-motor system, eye-tracking, neurophysiological research, web-application, cloud computing, PaaS, SaaS, interface builder.*

**Анотація.** *Метою роботи є розробка веб-орієнтованих програмних засобів, що поєднують сервіси PaaS і SaaS. Це розширює діагностичні можливості інформаційно-технологічних засобів оцінки нейрофізіологічного стану людини та сприяє підвищенню продуктивності та ефективності наукових досліджень на основі даних айтрекінгу. Розроблені засоби забезпечують виконання обчислень на сервері, мінімальні вимоги до клієнтського обладнання, гнучке масштабування та універсальність. Використання конструктора інтерфейсів із транслятором коду дає змогу поєднувати графічні елементи з програмним кодом, підвищуючи доступність, повторюваність та масштабованість наукових досліджень.*

**Ключові слова:** *моделювання окуло-моторної системи, айтрекінг, нейрофізіологічні дослідження, web-застосунок, хмарні обчислення, PaaS, SaaS, конструктор інтерфейсів.*

The study of the relationship between dynamic eye movements and the central nervous system, as well as the analysis of psycho-emotional states, deepens understanding of brain mechanisms, disorders, psychophysiological changes, and processes such as perception, thinking, imagination, and intention. Eye-tracking [1] is widely applied to diagnose neurophysiological conditions, study cognitive processes and memory [2], and monitor students during learning [3], enabling insights into both conscious and subconscious aspects of behavior. Eye movement data has theoretical and practical value,

opening opportunities to study professional specifics and improve efficiency.

The growing use of eye-tracking hardware in neural research requires specialized software capable of processing large data volumes. Demand is increasing for reliable mental health indicators for individuals and groups. Emotion recognition helps assess nervous system states in high-risk situations, such as astronaut screening and selection, where eye movement trajectory analysis provides conclusions about psychophysiological conditions. To effectively integrate such methods into research and education, the use of cloud technologies is advisable [4].

The purpose of this work is to enhance the productivity of research on the human neurophysiological state based on eye-tracking data by developing web-oriented software tools that combine PaaS and SaaS services. This is achieved through the creation of a specialized interface constructor integrated with a code translator.

Volterra polynomial models [1] were applied for the identification and modeling of the oculo-motor system (OMS) using experimental "input-output" data obtained from eye-tracking technology. Step test signals of different amplitudes were used as stimuli, while the corresponding OMS responses were recorded and preprocessed for subsequent model construction. The identified models provide first- and second-order transient functions, which compactly represent the nonlinear and dynamic properties of the OMS. These model-based characteristics form the basis for generating diagnostic feature spaces, which can be further employed in machine learning classifiers to assess psychophysiological states.

Web-oriented software tools were developed to enhance efficiency in studying neurophysiological states. They combine cloud models PaaS (Platform as a Service) and SaaS (Software as a Service), allowing work with code via an integrated script editor and with implemented software tools via a built-in interface constructor. Through this combination, users can create or adapt data-processing tools, execute computations in the cloud, and view results in the browser.

The software consists of modular, independent components that interact and can scale flexibly. On the server side reside computational modules, data processing, and task execution. The client side is a cross-platform Single Page Application (SPA) that provides interaction. Functionally, the software includes four main parts: server (request handling, task delegation,

database), client (web interface and workflows), agents (script execution and translation), and the database (storage of all research data).

A central element is the interface constructor working with the code translator. It enables declarative parameter description, allowing users without deep technical skills to configure algorithms and interact with code at a high abstraction level. This is especially important in interdisciplinary research, supporting engineers, students, and scientists.

Cloud computing has advanced with web-oriented software tools uniting PaaS and SaaS through an interface constructor and code translator. This improves productivity in research based on eye-tracking data, ensuring cross-platform cloud computing for scientific and educational use. Users can refine algorithms in Python or JavaScript and employ implemented identification methods via graphical interfaces. A dedicated interface supports modeling the oculo-motor system based on eye-tracking.

The software minimizes client hardware requirements by shifting computation to the server. Its modular design ensures scalable functionality, and the PaaS and SaaS combination adapts to diverse tasks. Compared with Project Jupyter and Google Colab, it offers advantages: support for Python and JavaScript, integration of debugged tools via GUI, higher abstraction, and extended social interaction for collaborative research and result sharing.

### **References**

1. Pavlenko, V., Shamanina, T., & Chori, V. (2023). Eyetracking technology and its application in neuroscience. In *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)* (Vol. 1, pp. 187–193). Dortmund, Germany. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IDAACS58523.2023.10348754>
2. Keehn, B., Monahan, P., Enneking, B., Ryan, T., Swigonski, N., & Keehn, R. M. (2024). Eye-tracking biomarkers and autism diagnosis in primary care. *JAMA Network Open*, 7(5), 1–14. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.11190>
3. Weiss, K., Kolbe, M., Lohmeyer, Q., & Meboldt, M. (2023). Measuring teamwork for training in healthcare using eye tracking and pose estimation. *Frontiers in Psychology*, 14, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1169940>
4. Pavlenko, V., Ilutsa, A., & Kravchenko, Y. (2024). Eye-tracker signals processing in system identification of human oculomotor apparatus using cloud technologies. *WSEAS Transactions on Signal Processing*, 20, 125–137. <https://doi.org/10.37394/232014.2024.20.13>

UDC 004.942

**ПОБУДОВА ОПОРНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ  
МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ**

**Ph.D. A. Савельєв**<sup>[0000-0002-6949-5959]</sup>, **О. Татарин**<sup>[0009-0005-3888-6569]</sup>,  
**Д. Кирпичов**<sup>[0009-0005-3725-6952]</sup>, **П. Руський**<sup>[0009-0006-3896-9329]</sup>,  
**А. Прокофьев**<sup>[0000-0002-4520-4248]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна  
EMAIL: fallbrick1985@gmail.com*

**SUPPORT NEURAL NETWORKS BUILDING FOR MODELING  
NONLINEAR DYNAMICS**

**Ph.D. A. Savieliev, O. Tataryn, D. Kirpichov, P. Ruskyi, A. Prokofiev**  
*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** Робота присвячена вирішенню суперечності між швидкістю моделювання нелінійних динамічних об'єктів і точністю побудови моделей у вигляді нейронних мереж. Метою роботи є скорочення часу побудови нелінійних динамічних моделей у вигляді нейронних мереж із забезпеченням заданої точності моделювання. Ця мета досягається шляхом розробки методу моделювання, заснованого на суперпозиції набору попередньо навчених нейронних мереж із часовими затримками (опорних моделей), які відображають основні властивості предметної області.

**Ключові слова:** ідентифікація; нелінійна динаміка; попереднє навчання; швидкість навчання нейронних мереж.

**Abstract.** The work is devoted to resolving the contradiction between the speed of modelling nonlinear dynamic objects and the accuracy of modeling. The aim of the work is to reduce the time for building nonlinear dynamic models in the form of neural networks while ensuring the specified modelling accuracy. This aim achieved by developing a modelling method based on the superposition of a set of pre-trained neural networks with time delays.

**Keywords:** identification; nonlinear dynamics; pre-training; neural networks, training speed

**Introduction**

The problem of increasing the speed of modeling remains one of the most urgent, especially in industries related to the personalization of models, which must adapt to changes in user behavior or the environment (e.g., in authentication tasks, biomedical applications, human-machine systems),

while operating in real time [1]. One of the common approaches to accelerating the process of building an NN is pre-training [2]. Pre-trained models can be quickly adapted to new tasks, making them an effective tool in reducing simulation time. This direction seems promising in modeling objects with a high degree of internal complexity and interaction, first of all, nonlinear dynamic objects. At the same time, there is a significant lack of studies in the field of NN pre-training that simulate the nonlinear dynamics of continuous objects.

**The purpose of the work** is to reduce the time for building nonlinear dynamics continuous-time models in the form of NN while ensuring the specified modeling accuracy by developing a method based on the NN models pre-training. To reach this goal, the following task was formulated: building of support models in the form of NN reflecting the basic nonlinear and dynamic characteristics of the subject area.

#### **Selecting the basic properties of the domain for forming datasets**

The basic properties of the domain in the work are understood as the characteristics of objects that reflect the essential features of their behavior. These properties can include real or abstract parameters that are important for solving the modeling problem [3]. The procedure for selecting the basic properties of the domain and generating datasets  $D_{Rk}$  reflecting the selected properties is as follows.

1. Defining the range of tasks to be solved in a given domain; analyzing properties that are important for objects in a given domain, significantly affect the results of modeling and should be taken into account when forming the dataset  $D_S$ .

2. Determination of signal types (for example, periodic, random, pulsed) that best reflect the properties of the objects under study.

3. Formation of the dataset  $D_S$  based on the list of basic properties of the domain established in paragraph 1, the set of input signals and reactions of the object formed in paragraph 2.

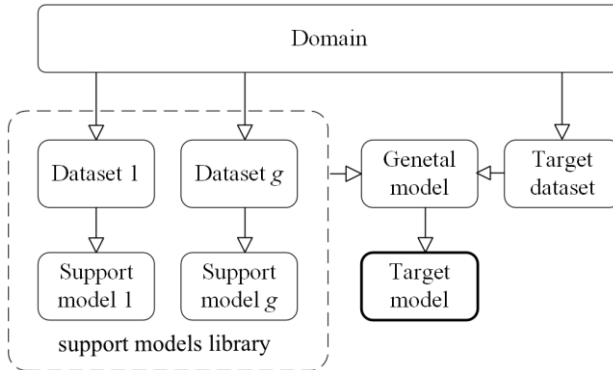
4. Segmentation of the dataset  $D_S$  into separate datasets  $D_{Rk}$  according to the defined list of basic properties of the domain.

The structural scheme of the training process based on support models is presented in Fig.1.

To automate the selection of support models, improve the reproducibility and reduce the subjective factor of the support model method, this paper proposes two approaches: input data clustering and feature contribution analysis [4].

1. Clustering-based approach: to automatically segment the overall  $D_S$  dataset into  $D_{Rk}$  subsets that clearly demonstrate elementary properties of the object under study.

2. Feature contribution analysis approach: to identify and quantify the underlying properties of the subject area  $P_k$ .



**Figure 2.** Structural diagram of the training process using support models

The experiment shows the advantage of using support NN at the modelling nonlinear dynamics, namely, a significant reduction in the training time of the TDNN model (by 4.6 times) compared to the pre-trained general model with comparable accuracy of both models. Applying separate support models as general ones can also reduce the training time of an accurate model (by 1.8 times).

### Conclusion

The effectiveness of the developed method for modeling nonlinear dynamics was proven when solving the problem of modelling a test nonlinear dynamic object. The experiment demonstrates a 4.6-fold reduction in the time of building a target model using support models compared to the traditional modeling method based on pre-training. The advantages of the proposed approach are the ability to quickly adapt to changing operating conditions, high speed of building the target model while ensuring the specified modeling accuracy. In addition, the developed method allows improving the efficiency of model training in the lack of labeled data for the target task.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

The disadvantages of the proposed approach, inherited from methods based on pre-training, are the dependence of the modeling results on the quantity and quality of data of the target dataset.

**References**

1. Kariri, E., Louati, H., Louati, A., & Masmoudi, F. (2023). Exploring the advancements and future research directions of artificial neural networks: A text mining approach. *Applied Sciences*, 13(5), 3186. <https://doi.org/10.3390/app13053186>
2. Gholizade, M., Soltanizadeh, H., Rahmanimanesh, M., et al. (2025). A review of recent advances and strategies in transfer learning. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 16, 1123–1162. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02684-2>
3. Liao, T. W. (2005). Clustering of time series data—A survey. *Pattern Recognition*, 38(11), 1857–1874. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2005.01.025>
4. Fomin, O. O., & Orlov, A. A. (2024). Modeling nonlinear dynamic objects using pre-trained time delay neural networks. *Applied Aspects of Information Technology*, 7(1), 24–33. <https://doi.org/10.15276/aait.07.2024.2>

UDC 004.942

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АЛГОРИТМИ ПАКУВАННЯ ДЛЯ 3Д-  
ДРУКУ: МАТЕМАТИЧНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ПІДХОДИ**

**Dr.Sci. Г. Яськов**<sup>1,2</sup>[0000-0002-1476-1818], **Dr.Sci. А. Чугай**<sup>1,3</sup>[0000-0002-4079-5632],  
**Dr.Sci. О. Старкова**<sup>3</sup>[0000-0002-9034-8830], **М. Щербіна**<sup>1</sup>[0009-0003-1873-6358]

<sup>1</sup> Інститут енергетичних машин і систем ім. анатолія підгорного, Україна,

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

<sup>3</sup> Харківський національний економічний університет ім. с. кузнеця, Україна

EMAIL: yaskov@ukr.net

**INTELLIGENT PACKING AND PLACEMENT ALGORITHMS IN  
3D PRINTING: MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL  
APPROACHES**

**Dr.Sci. G. Yaskov**<sup>1,2</sup>, **Dr.Sci. A. Chuhai**<sup>1,3</sup>, **Dr.Sci. O. Starkova**<sup>3</sup>,  
**M. Shcherbyna**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems,

<sup>2</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,

<sup>3</sup> Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

**Анотація.** У роботі розглядаються математичні та обчислювальні методи пакування й розміщення об'єктів у 3D-друці з використанням методу  $\phi$ -функцій. Запропонований підхід дозволяє формалізувати умови неперетинання тіл у вигляді аналітичних функцій та інтегрувати їх у задачі оптимізації. Наведено результати чисельних експериментів, які демонструють підвищення коефіцієнта заповнення, зменшення штучних порожнин та можливість масштабування алгоритмів. Практичне застосування методів полягає в оптимізації процесів адитивного виробництва, зокрема у скороченні часу друку, економії матеріалу та покращенні якості готових виробів.

**Ключові слова:** інтелектуальні технології, математичне моделювання, оптимізація, 3D-друк

**Abstract.** This paper addresses mathematical and computational methods for packing and placement of objects in 3D printing using the  $\phi$ -function method. The proposed approach formalizes non-overlapping conditions of bodies as analytical functions and incorporates them into optimization models. Numerical experiments demonstrate improvements in packing density, reduction of artificial voids, and scalability of the algorithms. Practical applications include optimization of additive manufacturing processes, such as reducing printing time, saving material, and improving the quality of printed products.

**Keywords:** intelligent technologies, mathematical modeling, optimization, 3D printing

Сучасні технології адитивного виробництва потребують нових підходів до оптимізації процесу 3D-друку. Одним із центральних завдань у цій галузі є проблема пакування та розміщення тривимірних об'єктів у заданому об'ємі з урахуванням геометричних, технологічних і виробничих обмежень. Вирішення цієї задачі має ключове значення для зменшення витрат матеріалу, скорочення часу друку та підвищення ефективності використання обладнання.

Традиційні методи пакування часто ґрунтуються на дискретних евристиках або комбінаційних підходах, однак їхня обчислювальна складність зростає експоненційно зі збільшенням кількості об'єктів. У зв'язку з цим виникає потреба у застосуванні математичних моделей та інтелектуальних алгоритмів, які дозволяють досягати якісних рішень у прийнятний час.

У даній роботі розглядаються підходи до пакування й розміщення об'єктів у 3D-друці з використанням методу  $\phi$ -функцій. Цей підхід є

ефективним інструментом для формалізації геометричних обмежень: він дозволяє описати умови неперетинання тіл у вигляді аналітичних функцій, що перетворює геометричну задачу на задачу безперервної оптимізації. Метод  $\phi$ -функцій [1, 2] має такі ключові переваги:

універсальність у застосуванні для різних класів тіл (сфери, циліндри, еліпсоїди, поліедри);

можливість точного врахування обмежень у вигляді систем нерівностей;

інтеграція з чисельними методами оптимізації, зокрема з градієнтними алгоритмами та методами внутрішніх точок.

У поєднанні з обчислювальними евристиками (генетичні алгоритми, симуляція відпалу, алгоритми рою частинок) метод  $\phi$ -функцій забезпечує ефективне знаходження розташувань із високим коефіцієнтом заповнення. Для задач пакування у 3D-друці важливим є баланс між точністю та обчислювальною складністю. Запропонований підхід передбачає застосування релаксаційних технік, які дозволяють зменшити вплив межових ефектів і отримати коректні оцінки пористості.

У роботі виконано низку чисельних експериментів для пакування сферичних і циліндричних тіл у контейнерах, що моделюють робочий простір 3D-принтера. Порівняння стандартних алгоритмів і методів, заснованих на  $\phi$ -функціях, показало: підвищення коефіцієнта заповнення; зменшення штучних порожнин і покращення однорідності структури; можливість масштабування алгоритмів до систем із великою кількістю об'єктів.

Розроблені алгоритми можуть бути інтегровані у програмне забезпечення для підготовки моделей до 3D-друку. Це відкриває можливість: оптимізації розміщення кількох деталей на одній платформі; зменшення кількості підтримок та, відповідно, економії матеріалу; скорочення часу друку завдяки більш раціональному використанню робочого об'єму.

Крім того, методи пакування на основі  $\phi$ -функцій можуть застосовуватися для моделювання пористих структур у матеріалознавстві, що є важливим напрямком досліджень у створенні нових композиційних матеріалів.

Запропонований підхід демонструє перспективність використання інтелектуальних алгоритмів пакування та методу  $\phi$ -функцій для задач 3D-друку. Поєднання строгих математичних моделей і сучасних

обчислювальних стратегій дозволяє досягти високої якості результатів при прийнятних витратах часу. Подальші дослідження плануються спрямувати на інтеграцію запропонованих алгоритмів із системами автоматизованого проєктування (CAD/CAM) та застосування методів машинного навчання для прогнозування ефективності пакування.

### **Література**

1. Stoyan, Y., Pankratov, A., & Romanova, T. (2016). Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. *Journal of Global Optimization*, 65(2), 283–307. <https://doi.org/10.1007/s10898-015-0331-2>
2. Romanova, T., Chuha, A., Yaskov, G., Litvinchev, I., & Stoian, Y. (2023). Irregular packing for additive manufacturing. In H. Altenbach et al. (Eds.), *Advances in Mechanical and Power Engineering (CAMPE 2021)*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_26)

UDC 004.8: 004.9

## **INTELLIGENT SYSTEM FOR MODELLING AND OPTIMIZATION OF THE IT-PROJECT MANAGEMENT PROCESS**

**Y. Pelekh<sup>[0000-0003-4153-5418]</sup>, Y. Kynash, O. Riznyk, T. Kovaliv**

*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

*EMAIL: yurii.m.pelekh@lpnu.ua*

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЕКТАМИ**

**Ю. Пелех, Ю. Кинаш, О. Різник, Т. Ковалів**

*Львівський політехнічний національний університет, Україна*

**Анотація.** У цій статті представлено розробку веб-додатку для управління проектами, який використовує штучний інтелект для автоматизації процесів планування, прогнозування та управління ресурсами в ІТ-проектах. У дослідженні розглядаються ключові аспекти створення проєктів, такі як визначення цілей, опис, бюджетування та планування, а також моделювання проєктних процесів, зокрема розподіл завдань. Робота фокусується на використанні ШІ для оптимізації розподілу завдань, прогнозування термінів і бюджетів за допомогою таких алгоритмів, як лінійна регресія, а також на застосуванні методу критичного шляху (CPM) для визначення пріоритетності завдань.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

**Ключові слова:** управління IT-проектами, інтелектуальна система, оптимізація розподілу завдань, штучний інтелект, метод критичного шляху

**Abstract.** *This article presents the development of a web application for project management that uses AI to automate planning, forecasting, and resource management processes in IT projects. The study examines key aspects of project creation, such as goal definition, description, budgeting, and scheduling, as well as modeling of project processes, including task distribution. The work focuses on the use of AI to optimize task allocation, forecast deadlines and budgets using algorithms such as linear regression, and implement the Critical Path Method (CPM) to determine task prioritization.*

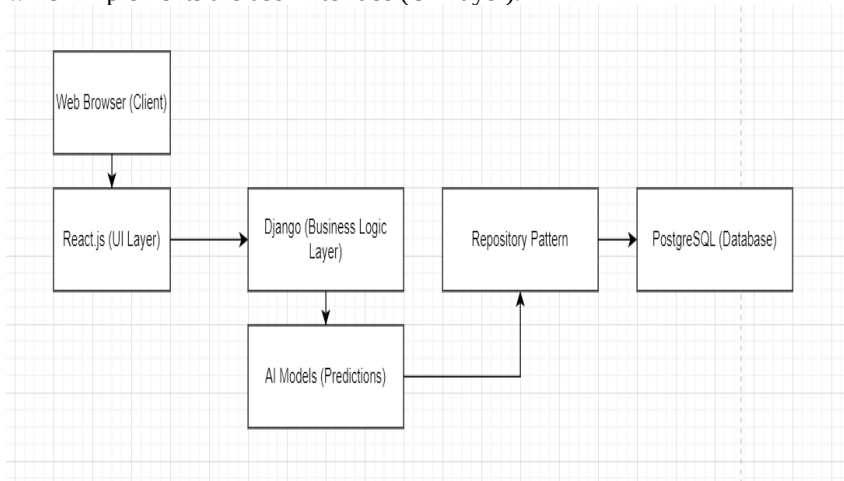
**Keywords:** *IT project management, intelligent system, task allocation optimization, artificial intelligence, critical path method*

The technological breakthrough that has occurred across all industries has led to the creation of powerful tools for project planning and execution. Especially noteworthy is the use of artificial intelligence (AI) in project management, which remains an underestimated yet promising technology capable of significantly enhancing project execution efficiency [1]. AI enables the automation of decision-making and forecasting of outcomes based on data analysis. With AI, it is possible to build a system that not only assists in managing projects but also adapts to changing conditions. The application of AI in project management provides a powerful tool for real-time data analysis, enabling the generation of detailed reports on finances, resources, and task deadlines. This equips users with the most accurate information for informed decision-making.

This study aims to develop an automated project management system that utilizes artificial intelligence to improve planning processes, resource management, and task execution monitoring. The primary objective of the system is to provide users with convenient tools for effective project management, thereby enhancing team productivity and reducing the time required to complete tasks. This study focuses on the project management process in the IT sector, which includes task planning and project execution monitoring. The system is intended to facilitate the management of complex projects using analytics and data-driven forecasting. It includes a model and software tools for an IT project management system that combines web development and artificial intelligence technologies. The study covers algorithms for optimizing resource allocation, forecasting project completion timelines, and collecting data for analyzing team and overall

project performance. To achieve the goal set, the following research tasks must be completed: conduct a systematic analysis of project management processes; develop the architecture of a web application for project management; design AI-powered modules for forecasting deadlines and progress; create UI mockups for user-friendly application interaction.; implement the web application, including software modules, database design, chosen architecture, and layout of UI components.

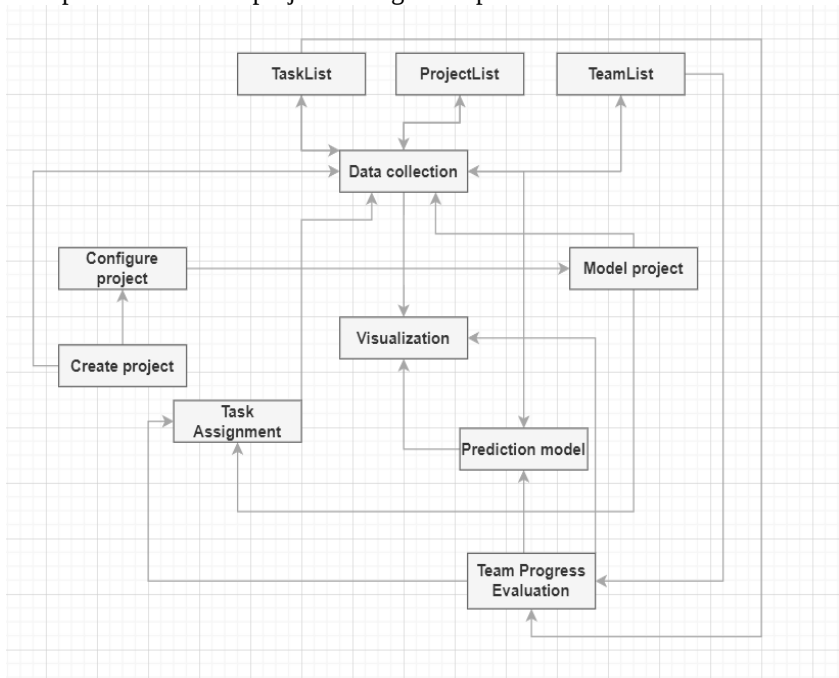
The developed model of the project management system served as the foundation for creating a comprehensive and unique product on the market that utilizes AI to optimize management processes. The resulting system features a distinctive architecture that offers solutions for automating project management and adapting to changing conditions. The practical value lies primarily in the developed software, algorithms, data structures, and models for forecasting and optimization. The proposed system model is aimed at simplifying and improving project management processes by enabling more efficient resource utilization and enhancing team productivity. The system architecture (Figure 1) is designed to ensure efficient IT project management using AI technologies. At the core of the system is React.js [2], which implements the user interface (UI Layer).



**Figure 1.** Architecture of the Mobile Application

This allows the creation of interactive and dynamic web pages for project management, the display of tasks, their progress, and visualizations such as Gantt charts and cost graphs [3]. The component diagram illustrates the interaction and dependencies between the components of an AI-enabled IT project management system (Figure 2).

The system provides reliable IT project management by offering tools for efficient resource allocation, forecasting, and workflow optimization. With the integration of artificial intelligence technologies, the system becomes a powerful tool for business process optimization. The system can operate effectively in real-world working conditions, enabling users to make swift and informed management decisions while automating project management workflows. This confirms that the system is ready for integration and effective use in business settings, contributing significantly to improvements in IT project management processes.



**Figure 2.** Sequence diagram

**References**

1. Johnson, T. M., & Smith, A. R. (2021). Integration of AI tools in project management: Methodologies and case studies. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 64(1), 102–115.
2. Kolomoiets, M., & Kynash, Y. (2023). Modern approaches to interact smart-contracts in React.js development with ThirdWeb framework. In *Proceedings of the IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)* (pp. 1–4). IEEE.
3. King, J. (2021). The importance of statistical analysis in project management. *Business of Apps*. <https://www.businessofapps.com/data/android-statistics>

UDC 004.8: 004.9

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ  
МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗМІЩЕННЯ КАПСУЛ У  
БРАХІТЕРАПІЇ**

**Dr.Sci. Г. Яськов<sup>1,2</sup>[0000-0002-1476-1818], Dr.Sci. А. Чугай<sup>1,3</sup> [0000-0002-4079-5632],  
Є. Яськова<sup>4</sup>[ 0009-0007-6306-3366], Ph.D. А. Журавка<sup>5</sup> [ 0000-0002-0924-1789]**

<sup>1</sup>Інститут енергетичних машин і систем ім. Анатолія Підгорного, Україна,

<sup>2</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна,

<sup>3</sup>Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Україна,

<sup>4</sup>Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна,

<sup>5</sup>Національний університет «Львівська політехніка», Україна

EMAIL: yaskov@ukr.net

**INTELLIGENT SYSTEM BASED ON MATHEMATICAL  
PROGRAMMING FOR AUTOMATED CAPSULE PLACEMENT IN  
BRACHYTHERAPY**

**Dr.Sci. G. Yaskov<sup>1,2</sup>, Dr.Sci. A. Chuhai<sup>1,3</sup>, Y. Yaskova<sup>4</sup>, Ph.D. A. Zhuravka<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems,

<sup>2</sup>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,

<sup>3</sup>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine,

<sup>4</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine,

<sup>5</sup>Lviv Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація:** У цьому дослідженні представлено інтелектуальну систему для автоматизованого розміщення радіоактивних капсул у брахітерапії з

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

---

*використанням методів математичного програмування. Області пухлин моделюються як опуклі багатогранники, а капсули — як багатогранні об'єкти з можливістю обертання. Система оптимізує розміщення з урахуванням геометричних обмежень, використовуючи  $\Phi$ -функції та алгоритми пакування. Обчислювальні експерименти підтверджують її адаптивність, точність і потенціал для клінічного застосування.*

**Ключові слова:** *брахітерапія, математичне програмування, паралелепіпед, циліндр, багатогранник*

**Abstract:** *This study presents an intelligent system for automated placement of radioactive capsules in brachytherapy using mathematical programming. Tumor regions are modeled as convex polyhedra, and capsules as rotatable polyhedral approximations. The system optimizes placement under geometric constraints using phi-functions and packing algorithms. Computational experiments confirm its adaptability, precision, and potential for clinical integration.*

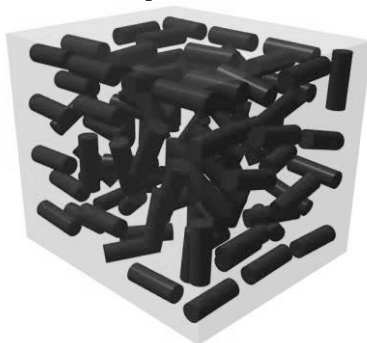
**Keywords:** *brachytherapy, mathematical programming, parallelepiped, cylinder, polyhedron*

Brachytherapy is a targeted cancer treatment method that involves placing radioactive sources directly inside or near a tumor. Accurate placement is essential to ensure effective radiation delivery to the tumor while minimizing exposure to healthy tissues [1, 2].

This study presents a novel intelligent system that automates the placement of cylindrical radioactive capsules within irregular tumor volumes. The tumor is modeled as a convex polyhedron, and capsules are approximated by rotatable polyhedral shapes. This enables precise control over both position and orientation, which is important for accurate dose distribution. The problem is formulated as a nonlinear optimization problem, aiming to maximize the number of capsules placed while satisfying geometric constraints. The phi-function technique [3, 4] allows to maintain safe distances between capsules and from the tumor boundary. The system uses a two-stage optimization strategy: it first generates an initial configuration and then refines it using mathematical programming to improve packing density and constraint compliance. To reduce computational complexity, the system applies a decomposition technique.

Computational experiments using real-world parameters confirmed the system's adaptability and precision. It successfully placed up to 100 capsules in various tumor geometries and spacing conditions, demonstrating

its potential for clinical integration across multiple cancer types. An illustration of placement of 100 capsules is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Illustration of placement for 100 capsules

### References

1. Morén, B., Larsson, T., & Carlsson Tedgren, Å. (2021). Optimization in treatment planning of high dose-rate brachytherapy – Review and analysis of mathematical models. *Medical Physics*, 48(5), 2057–2082. <https://doi.org/10.1002/mp.14762>
2. Banerjee, S., Goyal, S., Mishra, S., et al. (2021). Artificial intelligence in brachytherapy: A summary of recent developments. *British Journal of Radiology*, 94(1122), 20200842. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200842>
3. Stoyan, Y., Pankratov, A., & Romanova, T. (2016). Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. *Journal of Global Optimization*, 65(2), 283–307. <https://doi.org/10.1007/s10898-015-0331-2>
4. Romanova, T., Chuha, A., Yaskov, G., Litvinchev, I., & Stoian, Y. (2023). Irregular packing for additive manufacturing. In H. Altenbach et al. (Eds.), *Advances in Mechanical and Power Engineering: CAMPE 2021*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_26)

UDC 621.039.51:004.942

### **МАТЕМАТИЧНЕ ТА МОДЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕНОСЕННЯ НЕЙТРОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ OPENMC**

**В. Лаврухін** <sup>[0009-0001-4926-1063]</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: lavrslava@gmail.com*

## MATHEMATICAL AND SIMULATION MODELING OF NEUTRON TRANSPORT USING OPENMC

V.Lavrukhin

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

**Анотація.** У роботі розглянуто математичне та імітаційне моделювання процесів транспорту нейтронів із використанням програмного комплексу OpenMC. Детально проаналізовано метод Монте-Карло, структуру вхідних даних, принципи побудови геометрії, конфігурацію матеріалів та загальний процес моделювання. Особливу увагу приділено можливостям моделювання вигорання палива та інтеграції з Python для автоматизації та аналізу. Висвітлено практичне застосування OpenMC у ядерній енергетиці, наукових дослідженнях і навчанні. Окреслено переваги, обмеження та перспективи подальшого розвитку цього потужного програмного інструменту.

**Ключові слова:** математичне моделювання, імітаційне моделювання, OpenMC, метод Монте-Карло, нейтронний транспорт, ядерна енергетика, вигорання палива, реакторна фізика

**Abstract.** This paper explores mathematical and simulation modeling of neutron transport processes using the OpenMC software package. It provides a detailed analysis of the Monte Carlo method, input structure, geometry modeling techniques, material configuration, and the overall simulation workflow. Particular attention is given to OpenMC's depletion modeling capabilities and its integration with Python for automation and analysis. The practical use of OpenMC in nuclear energy systems, academic research, and education is highlighted. The paper outlines the advantages, limitations, and future development directions of this powerful open-source computational tool.

**Keywords:** mathematical modeling, simulation modeling, OpenMC, Monte Carlo method, neutron transport, nuclear energy, fuel depletion, reactor physics

Mathematical and simulation modeling are fundamental tools for modern engineering and scientific research, especially in areas where physical experiments are costly, hazardous, or practically unfeasible. One such field is nuclear engineering, where accurate modeling of neutron transport is vital for reactor design, safety analysis, fuel cycle studies, and more. OpenMC (Open Monte Carlo) [1] is a prominent open-source tool specifically developed for this purpose, enabling high-fidelity neutron transport simulations using the Monte Carlo method.

The Monte Carlo method is a probabilistic numerical technique used to solve physical and mathematical problems through random sampling. In the context of neutron transport, this involves simulating the life histories of many individual neutrons as they travel through and interact with a defined geometry and material composition. Each neutron history includes events such as scattering, absorption, fission, and leakage.

The transport of neutrons in a nuclear reactor is governed by the Boltzmann neutron transport equation [2], which in general time-dependent form is:

$$\left(\vec{\Omega} \cdot \nabla + \Sigma_t(\vec{r}, E)\right) \psi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = \int_{4\pi} \int_0^\infty \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \psi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E') dE' d\Omega' + S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$$

where  $\vec{\Omega} \cdot \nabla \psi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$  - neutron movement in the direction of  $\vec{\Omega}$  describes the displacement of neutrons in space  $\vec{r}$ ;

$\Sigma_t(\vec{r}, E) \psi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$  - total neutron losses due to any interactions (scattering, absorption, fission);

$$\int_{4\pi} \int_0^\infty \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \psi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E') dE' d\Omega' - \text{neutron flux}$$

from other directions  $\vec{\Omega}'$  and energies  $E'$ , which scattered into the current state  $(E, \vec{\Omega})$ ;

$S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$  - a neutron source that delivers them directly into the phase space of the system.

Direct analytical solutions to this equation are typically infeasible for realistic geometries and materials. The Monte Carlo method [3] offers a way to solve it statistically by sampling the probability distributions associated with these interactions.

The simulation tracks individual neutron histories, modeling their interactions until absorption, escape, or fission. This process enables high parallelization and scalability. A common application is simulating a pressurized water reactor (PWR) fuel assembly using infinite lattice models with tallies to assess fission rates, flux, and the effective multiplication factor ( $k_{eff}$ ). The open-source nature of OpenMC encourages community contributions and collaboration, making it a dynamic and evolving platform for nuclear simulation research.

### References

1. Romano, P. K., Forget, B., Smith, K., & others. (2015). OpenMC: A modern Monte Carlo code for neutron transport. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.07.048>
2. Reuss, P. (2008). *Neutron physics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-79364-4>
3. Lux, I., & Koblinger, L. (1991). *Monte Carlo particle transport methods: Neutron and photon calculations*. CRC Press.

UDC 004.92: 004.94

### USING THE NON-EQUIDISTANT RAY TRACING ALGORITHM FOR 3D RENDERING

**O. Riznyk**<sup>[0000-0002-3815-043X]</sup>, **Y. Kynash, M. Semeniv, Y. Pelekh**  
*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*  
*EMAIL: oleh.y.riznyk@lpnu.ua*

### ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ НЕЕКВІДИСТАНТНОГО ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ ДЛЯ 3D-РЕНДЕРИНГУ

**О. Різник, Ю. Кинаш, М. Семенів, Ю. Пелех**  
*Львівський політехнічний національний університет, Україна*

**Анотація.** У цій роботі реалізовано алгоритм нееквідистантного трасування променів для побудови 3D зображень, який дозволяє скоротити в середньому на 25% час у порівнянні з стандартним алгоритмом трасування променів. Реалізація запропонованого алгоритму особливо є корисною при використанні в автономних системах та для попереднього перегляду побудованих 3D зображень, оскільки суттєво економить час.

**Ключові слова:** дзеркальна трасування променів, 3D-візуалізація, нееквідистантні структури, візуалізація в реальному часі, комп'ютерна графіка, фотореалістична візуалізація, автономні системи, дзеркальне відображення, обчислювальна ефективність.

**Abstract.** In this paper, we implement a non-equidistant ray tracing algorithm for constructing 3D images, which reduces the time by 25% on average compared to the standard ray tracing algorithm. The implementation of the proposed algorithm is especially useful when used in autonomous systems and for previewing the constructed 3D images, as it significantly saves time.

**Materials of the XIII International Scientific Conference  
«Information-Management Systems and Technologies»  
24th – 26th September, 2025, Odesa**

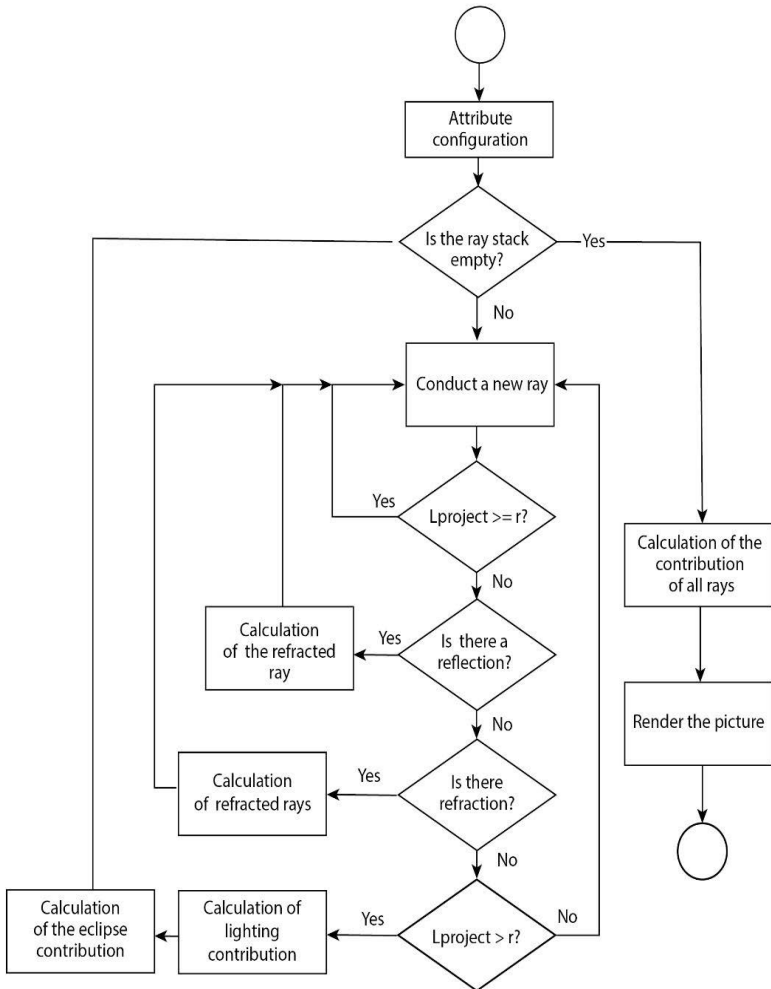
---

**Keywords:** *ray tracing, 3D rendering, non-equidistant structures, real-time rendering, computer graphics, photorealistic visualization, autonomous systems, specular reflection, computational efficiency.*

For the fields of scientific, industrial, architectural visualization, cinematography and television, development of video games, advertising, the use of realistic computer graphics is important. This leads to increased interest in the use of such approaches as the ray tracing algorithm [1,2]. Ray tracing is a computer graphics technique that allows you to generate realistic images by tracing the path of light in a scene [3]. The actual task is to create a photorealistic image, which is characterized by certain features: reliable reflection of reflections, lighting, shadows, penumbras, transparency, translucency, as well as specular reflection. From the set of available methods, the use of ray tracing allows you to ensure the best reliability of the result, because it allows you to simulate the physical processes of the real world and perceive the world as we see it [1]. Although ray tracing provides the best results, it requires a lot of calculations. Performing such calculations requires specialized, powerful equipment and a long time. The ray tracing method is mostly not a real-time rendering technique. This, in turn, requires simply colossal costs on the part of the GPU, even for individual objects [4]. Finding an effective method to reduce image processing time is an important task [5]. Many methods are used to speed up ray tracing.

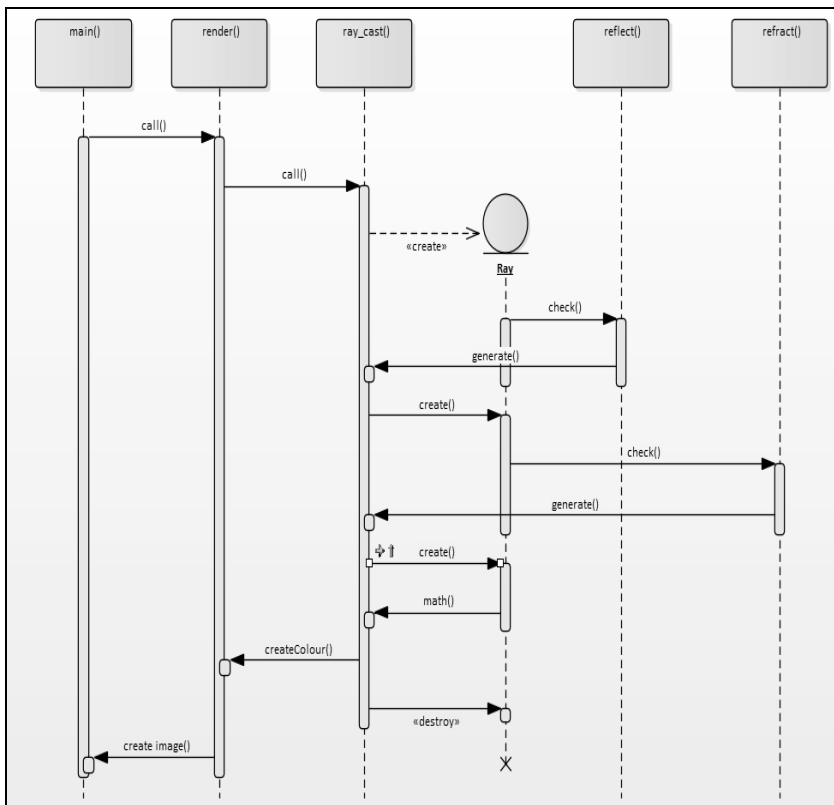
The use of the fastest tracing algorithms makes it possible to process entire beam bundles at once, and this significantly speeds up the process of mathematical calculation of beams of the same direction. Although such a modification is effective for the main primary or shadow rays, it still does not allow efficient calculation of reflection and refraction rays. This paper proposes a modified ray tracing algorithm to speed up calculations based on non-equidistant structures [6, 7]. The work's task is to optimize the ray tracing mechanism. In this article, the ray tracing algorithm is implemented in the C++ language, uses built-in and specially written libraries, and uses multithreading. A flowchart (Figure 1) shows a brief description of the algorithm. The logic of the program is shown in the sequence diagram (Figure 2).

The objects of the sequence diagram are the main functions of the developed program, including: `render()`, `ray_cast()`, `reflect()`, `refract()`, and the Ray object.



**Figure 1.** Flowchart of the ray tracing algorithm

The sequence diagram shows that the functions are used in iteration cycles during operation. In contrast, the Ray object is created and destroyed in the process of calculating rays an average of  $x \times y$  times, where  $x, y$  are the height and width of the desired image resolution. The proposed algorithm for accelerating ray tracing uses non-equidistant structures. The use of a non-equidistant ray tracing algorithm allows us to speed up calculations by an average of 25% compared to standard ray tracing when rendering a 3D scene image.



**Figure 2.** Sequence diagram

**References**

1. Suffern, K. (2016). *Ray tracing from the ground up*. Natick, MA: A. K. Peters, Ltd.
2. Akenine-Möller, T., Haines, E., & Hoffman, N. (2018). *Real-time rendering*. Natick, MA: A. K. Peters, Ltd.
3. Wald, I., Mark, W. R., Gunther, J., Boulos, S., Ize, T., Hunt, W., Parker, S. G., & Shirley, P. (2009). State of the art in ray tracing animated scenes. *Computer Graphics Forum*, 28(6), 1691–1722.
4. Meister, D., Boksansky, J., Guthe, M., & Bittner, J. (2020). On ray reordering techniques for faster GPU ray tracing. In *I3D '20: Symposium on Interactive 3D Graphics and Games* (No. 13, pp. 1–9).
5. Kynash, Y., & Semeniv, M. (2025). New approach to dominant and prominent color extraction in images with a wide range of hues. *Technologies*, 13, 230.
6. Riznyk, O., Myaus, O., Kynash, Y., Martysyshyn, R., & Miyushkovych, Y. (2020). Noise-resistant non-equidistant data conversion. In S. Babichev, D. Peleshko, & O. Vynokurova (Eds.), *Data stream mining & processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1158, pp. 127–139). Cham: Springer.
7. Riznyk, O., Povshuk, O., Kynash, Y., Nazarkevich, M., & Yurchak, I. (2018). Synthesis of non-equidistant location of sensors in sensor network. In *2018 XIV International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 204–208). Lviv, Ukraine: IEEE.

УДК 004.4

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ  
КРОСПЛАТФОРМЕННИХ ДОДАТКІВ З ФУНКЦІЯМИ ШІ**

**Н. Войніков<sup>1</sup>[0000-0032-1191-0933], Ph.D. М. Рудніченко<sup>2</sup>[0000-0002-7343-8076],**

**Dr.Sci. І. Петров<sup>3</sup>[0000-0002-8740-6198]**

<sup>1,2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>3</sup>Національний університет «Одеська морська академія», Україна,

EMAIL: <sup>1</sup>voinikov.8895593@stud.op.edu.ua, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com,

<sup>3</sup>firmlless@ukr.net

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CROSS-PLATFORM  
APPLICATION DEVELOPMENT TOOLS WITH AI FEATURES**

**N. Voinikov<sup>1</sup>, Ph.D. N. Rudnichenko<sup>1</sup>, Dr.Sci. I. Petrov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Odessa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Odessa Maritime Academy National University, Ukraine

***Анотація.** Ця робота присвячена порівняльному аналізу популярних кросплатформових фреймворків (Flutter, React Native, Xamarin) з точки зору їхньої здатності інтегрувати та ефективно використовувати функції штучного інтелекту.*

***Ключові слова:** кросплатформова розробка, штучний інтелект*

***Abstract.** This work is devoted to a comparative analysis of popular cross-platform frameworks (Flutter, React Native, Xamarin) in terms of their ability to integrate and effectively use artificial intelligence functions.*

***Keywords:** cross-platform development, artificial intelligence*

Розвиток технологій машинного навчання та поширення мобільних пристроїв та вебу зумовлюють потребу в інструментах, що дозволяють створювати універсальні, ефективні та функціональні програмні продукти. У роботі розглядаються такі популярні фреймворки, як Flutter, React Native та Xamarin. Кожен з них має свої архітектурні особливості та підходи до інтеграції ШІ-можливостей [1]. Flutter, розроблений Google, використовує мову Dart та підхід "все є віджетом", що дозволяє створювати високопродуктивні та візуально привабливі інтерфейси. Інтеграція ШІ у Flutter зазвичай здійснюється через використання бібліотек TensorFlow Lite, ML Kit від Google або сторонніх пакетів, що дозволяють виконувати моделі машинного навчання безпосередньо на пристрої [2]. React Native, заснований на JavaScript та React, дозволяє розробникам використовувати знайомі веб-технології для створення мобільних додатків. Інтеграція ШІ-функцій у React Native часто реалізується за допомогою нативних модулів, які взаємодіють із системними бібліотеками для ШІ (наприклад, Core ML для iOS та TensorFlow Lite для Android). Це дозволяє використовувати потужні можливості платформ, але може ускладнювати кросплатформове розгортання. Xamarin, що є частиною платформи .NET, використовує мову C# і дозволяє створювати нативні інтерфейси для різних платформ. Інтеграція ШІ-функцій у Xamarin здійснюється за допомогою бібліотек ML.NET або сторонніх інструментів, що дозволяють використовувати моделі ML.

Ключовим аспектом порівняльного аналізу є оцінка можливостей кожного фреймворку щодо продуктивності виконання ШІ-моделей, зручності інтеграції, доступності бібліотек та розміру кінцевого додатку. Flutter зазвичай демонструє високу продуктивність завдяки компіляції в нативний код, що є перевагою для ресурсомістких ШІ-

задач. React Native може мати невелику втрату продуктивності через використання JavaScript-мосту, проте це залежить від складності ІІІ-завдань. Xamarin також забезпечує високу продуктивність, оскільки використовує компіляцію в нативний код. Ще одним важливим критерієм є екосистема та спільнота [3]. Flutter має зростаючу спільноту та велику кількість пакетів, що спрощує інтеграцію ІІІ. React Native також має велику та активну спільноту, що надає доступ до широкого спектру готових рішень. Xamarin, будучи частиною екосистеми .NET, має стабільну підтримку від Microsoft. У рамках аналізу досліджується також підхід до розробки. Flutter використовує концепцію гарячого перезавантаження (hot reload), що пришвидшує розробку та налагодження. React Native має схожу функцію, що називається гарячим оновленням (hot refreshing). Xamarin також підтримує швидку розробку завдяки гарячому перезавантаженню XAML. Особлива увага приділяється можливостям побудови моделей ІІІ та їх розгортанню. Більшість фреймворків не надають вбудованих інструментів для навчання моделей, а зосереджені на їхньому використанні. Тому аналізується, наскільки легко розробник може імпортувати та використовувати вже навчені моделі. Flutter та React Native надають зручні API для роботи з моделями TensorFlow Lite, що дозволяє виконувати висновки (inference) безпосередньо на пристрої, зменшуючи затримки та залежність від мережі [4].

Зрештою, порівняльний аналіз враховує також вартість розробки та вхідний поріг. Flutter і React Native є безкоштовними фреймворками з відкритим кодом. Xamarin також безкоштовний, але для комерційної розробки може знадобитися ліцензія Visual Studio, що робить його менш доступним для деяких розробників.

### **Література**

1. Grinberg, D. M., Kurbatov, R. S., & Nikitin, E. S. (2021). Comparative analysis of mobile cross-platform frameworks for AI applications. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(5), 184–190.
2. Peterson, J. S., Chen, A. L., & White, T. H. (2022). Machine learning on mobile devices: A practical guide to TensorFlow Lite with Flutter. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 21(2), 256–267.
3. Smith, M. E., & Johnson, C. R. (2020). A survey of cross-platform mobile development frameworks. *Journal of Software Engineering and Applications*, 13(9), 175–188.

4. Rogers, P. H., & Adams, S. T. (2023). Implementing AI functionalities in Xamarin applications using ML.NET. *Software: Practice and Experience*, 53(4), 112–125.

УДК 004.009

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ  
ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ У СФЕРІ  
НАДАННЯ ПОСЛУГ**

**Ю. Арнаутів**<sup>[0000-2194-221X-1895]<sup>1</sup></sup>, **Ph.D. М. Рудніченко**<sup>[0000-0002-7343-8076]<sup>2</sup></sup>,  
**Ph.D. І. Шпінарева**<sup>[0000-0001-9208-4923]<sup>3</sup></sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>ryriearnaytov@gmail.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com,*

*<sup>3</sup>shpinareva.i.m@op.edu.ua@gmail.com*

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF APPLYING ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE MODELS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF  
ENTERPRISES IN THE FIELD OF SERVICE PROVISION**

**Yu. Arnautov, Ph.D. N. Rudnichenko, Ph.D. I. Shpinareva**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У статті досліджено потенціал застосування моделей штучного інтелекту для підвищення ефективності підприємств у сфері надання послуг, розглянуто приклади автоматизації клієнтської підтримки, прогнозування попиту та персоналізації сервісів.

**Ключові слова:** штучний інтелект, автоматизація послуг

**Abstract.** The article explores the potential of using artificial intelligence models to improve the efficiency of enterprises in the field of service provision, and considers examples of customer support automation, demand forecasting, and service personalization.

**Keywords:** artificial intelligence, service automation

Сфера надання послуг є однією з найбільш динамічно зростаючих галузей економіки, де конкурентоспроможність підприємства визначається здатністю оперативно реагувати на зміни попиту та забезпечувати високу якість обслуговування клієнтів. Традиційні методи управління бізнес-процесами вже не здатні повною мірою

забезпечувати необхідну гнучкість прогнозування, особливо в умовах зростаючих обсягів даних та каналів взаємодії з клієнтами [1].

Використання моделей штучного інтелекту (ШІ) дозволяє підприємствам автоматизувати рутинні процеси, підвищувати точність прогнозування попиту, оптимізувати розподіл ресурсів та персоналізувати взаємодію з клієнтами. Це відкриває нові можливості для підвищення ефективності та стійкості бізнесу. Впровадження моделей ШІ у сфері надання послуг передбачає інтеграцію алгоритмів машинного та глибинного навчання у ключові бізнес-процеси. Одним із найбільш затребуваних напрямів є інтелектуальна обробка клієнтських запитів за допомогою чат-ботів і віртуальних асистентів, що використовують архітектури трансформерів (BERT) для розуміння природної мови. Такі системи здатні надавати відповіді в реальному часі, виконувати попередню кваліфікацію запитів і зменшувати навантаження на операторів. Моделі градієнтного бустингу і рекурентні нейронні мережі дозволяють аналізувати історичні дані продажів, сезонні коливання та зовнішні фактори (економічні індикатори, погодні умови), формуючи точні прогнози та рекомендації щодо управління запасами та розподілу персоналу [2].

У сфері персоналізації сервісів ефективними є гібридні системи, що поєднують колаборативну фільтрацію з контентним аналізом. Використання моделей факторизації матриць і нейронних мереж дає змогу формувати індивідуальні пропозиції для клієнтів.

Для оптимізації внутрішніх операційних процесів активно застосовуються моделі розпізнавання та класифікації документів. Алгоритми обробки природної мови (NLP) та системи комп'ютерного зору автоматизують роботу з договорами, рахунками та іншими документами, скорочуючи час на ручну обробку та знижуючи ймовірність помилок. Окремо слід відзначити роль прогнозної аналітики у виявленні ризиків і збоїв у наданні послуг. Системи моніторингу на основі ШІ здатні виявляти аномальні патерни в роботі обладнання, IT-інфраструктури або в поведінці користувачів, що дозволяє запобігати інцидентам до того, як вони призведуть до втрат.

Реалізація таких рішень вимагає врахування питань безпеки та конфіденційності даних. У цьому контексті важливою є розробка локальних моделей, здатних працювати без передачі чутливої інформації на зовнішні сервери, а також впровадження методів диференційної приватності. Застосування моделей штучного інтелекту

у сфері надання послуг відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності бізнесу, оптимізації ресурсів та підвищення рівня задоволеності клієнтів. Інтеграція ІІІ-рішень у ключові процеси дозволяє підприємствам швидше реагувати на зміни ринку, приймати обґрунтовані управлінські рішення та формувати конкурентні переваги. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний з удосконаленням моделей, підвищенням їх інтерпретованості та забезпеченням безпеки даних.

#### **Література**

1. Davenport, T., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
2. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

УДК 004.212

### **ФАЙЛОВА СТРУКТУРА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПРЕДИКТИВНОЇ АНАЛІТИКИ В ІНВЕСТИЦІЙНІЙ СФЕРІ**

**Р. Огородюк**<sup>[0000-0031-17X9-7412]<sup>1</sup></sup>, **Д. Шведов**<sup>[0009-0002-4823-8782]<sup>2</sup></sup>,

**Ph.D. М. Рудніченко**<sup>[0000-0002-7343-8076]<sup>3</sup></sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>romathebest@gmail.com, <sup>2</sup>nickolay.rud@gmail.com,*

*<sup>3</sup>butgeorg@gmail.com,*

### **FILE STRUCTURE OF A WEB APPLICATION FOR INTELLIGENT PREDICTIVE ANALYTICS IN THE INVESTMENT SPHERE**

**R. Ogrodiuk, D. Shvedov, Ph.D. N. Rudnichenko**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

***Анотація.** У статті представлено архітектуру веб-орієнтованого застосунку на Flask для інтелектуальної аналітики інвестиційних рішень із детальним описом файлової структури.*

***Ключові слова:** інвестиції, предиктивна аналітика, проектування*

**Abstract.** *The article presents the architecture of a web-based application based on Flask for intelligent analytics of investment decisions with a detailed description of the file structure.*

**Keywords:** *investments, predictive analytics, design*

У сучасних умовах швидкоплинних фінансових ринків автоматизація аналізу інвестиційних ризиків і прибутковості набуває особливого значення. Використання інструментів машинного навчання, зокрема моделей глибинного прогнозування, дозволяє ефективно моделювати ринкові тренди та формувати рішення щодо купівлі або продажу активів [1]. У той же час, для практичного використання таких аналітичних моделей необхідна інтуїтивно зрозуміла та гнучка інтерфейсна оболонка, яка забезпечує доступ до аналітики через браузер або API [2]. Flask як мікрофреймворк на мові Python є оптимальним вибором для побудови прототипів веб-застосунків у цій сфері завдяки своїй легкості, модульності [3].

Архітектура веб-застосунку для підтримки інвестиційних рішень на базі Flask передбачає чітку логічну структуру, що відображає поділ на рівні обробки даних, моделювання, візуалізації та обслуговування клієнтських запитів. Типова файлова організація проєкту реалізується за шаблоном MVC, що спрощує масштабування системи та підвищує підтримуваність коду. У кореневій директорії проєкту (`invest_predictor/`) розміщується конфігураційний файл `config.py`, який містить параметри доступу до баз даних, API ключі, конфігурації безпеки та налаштування Flask-додатку. У файлі `app.py` або `main.py` ініціалізується застосунок, підключаються маршрути, модулі моделей.

У підкаталозі `templates/` зберігаються HTML-шаблони, що реалізують інтерфейс користувача (`dashboard.html`, `index.html`, `result.html`). Для стилізації та інтерактивності використовується каталог `static/`, де розміщено CSS-стилі, JavaScript-код та візуальні елементи. Файли, що відповідають за бізнес-логіку, зберігаються у директорії `services/` або `core/`. Тут реалізовано обробку даних, підключення до зовнішніх API (наприклад, Yahoo Finance або Alpha Vantage), обробку часових рядів та запуск моделей прогнозування. Зокрема, файл `predict.py` відповідає за формування передбачення на основі вхідних параметрів та передає результат у веб-інтерфейс або API-відповідь. Блок моделювання представлено у каталозі `models/`, де розміщено збережені треновані моделі у форматі `.pkl`, а також скрипти для їх

запуску, підвантаження та актуалізації. Файл `train.py` забезпечує можливість перевчання моделі за новими даними, а також логування метрик ефективності (MAE, RMSE,  $R^2$  тощо). Реалізація REST API, що дозволяє інтегрувати застосунок з іншими фінансовими системами, розміщена у модулі `routes.py` або `api.py`. У цьому файлі оголошуються маршрути (`/predict`, `/train`, `/update_model`, `/get_asset_info`), кожен з яких обробляє відповідні HTTP-запити (GET або POST), викликає моделі, формує відповіді у форматі JSON.

Розгортання проекту здійснюється за допомогою `requirements.txt`, де перелічено всі залежності (Flask, Pandas, Scikit-learn, Keras, yfinance, Gunicorn), та зазвичай підтримується Docker-контейнеризація для запуску в середовищі CI/CD. Файлова структура веб-застосунку для інтелектуальної предиктивної аналітики в інвестиційній сфері повинна бути модульною, логічно організованою та розширюваною. Реалізація такого застосунку на базі Flask дозволяє забезпечити гнучке поєднання аналітичних моделей із веб-інтерфейсом, а також підтримку REST API для інтеграції в зовнішні фінансові системи.

### **Література**

1. Grinberg, M. (2018). *Flask web development: Developing web applications with Python*. O'Reilly Media.
2. Brownlee, J. (2020). *Deep learning for time series forecasting*. Machine Learning Mastery.
3. Wang, Y., & Zhang, X. (2021). Intelligent prediction of stock trends using hybrid LSTM-CNN model. *Expert Systems with Applications*, 163, 113861.

УДК 004.4

### **ПРОЕКТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВ В НАСТІЛЬНО-РОЛЬОВИХ ІГРАХ**

**Ph.D. М. Рудніченко**<sup>1[0000-0002-7343-8076]</sup>, **А. Отращенко**<sup>2[0000-0032-1191-0933]</sup>,

**Ph.D. Т. Отрадська**<sup>3[0000-0002-8740-6198]</sup>

<sup>1,2</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>3</sup>Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна

EMAIL:<sup>1</sup>nickolay.rud@gmail.com, <sup>2</sup>butgeorg@gmail.com, <sup>3</sup>tv64@ukr.net

PROJECT OF AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM  
FOR CHOOSING ALTERNATIVES IN TABLE-TOP ROLE-  
PLAYING GAMES

Ph.D. N. Rudnichenko<sup>1</sup>, A. Otrashenko<sup>1</sup>, Ph.D. T. Otradska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Odesa Polytechnic National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Interregional Academy of Personnel Management, Ukraine

**Анотація.** У роботі наведені результати розробки проекту системи підтримки прийняття рішень для вибору альтернатив в настільно-рольових іграх на базі застосування кооперативної СППР.

**Ключові слова:** СППР, ІСППР

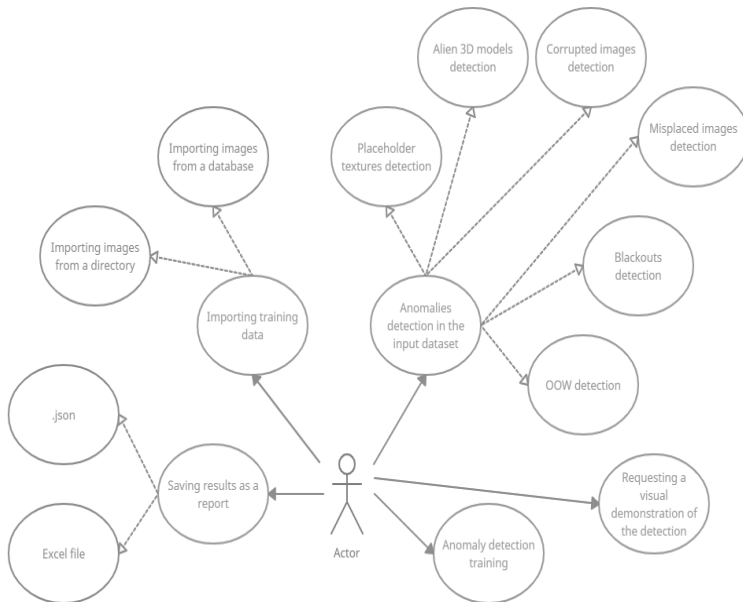
**Abstract.** The paper presents the results of the development a decision support system for choosing alternatives in tabletop role-playing games based on the application of cooperative DSS.

**Keywords:** DSS, IDSS

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) є корисним інструментом для аналізу складаних альтернатив та надання рекомендацій користувачам у більшості галузей [1]. У контексті настільних рольових ігор, де персонажам необхідно запропонувати безліч можливих варіантів вибору – класи, раси, риси, архетипи класів тощо. DSS може значно полегшити завдання першої частини створення персонажа та вибору в грі [2]. Мета проекту в створенні інтелектуальної СППР, яка допоможе гравцям вибрати найкращі альтернативи з точки зору уподобань, ігрової системи та статистики.

Система включає в себе ряд функціональних компонентів. Першим з них – модуль введення даних, до якого надходить інформація від гравця: локація пригоди (ліса, гори, пустелі), роль персонажу (танк, цилітель, той хто наносить багато урону), концепт персонажу (використовує магію, ближник, дальник), а також сеттінг, в якому відбуваються події. Потім модуль фільтрації альтернатив, вибирає можливі варіанти на основі обраної системи (у цьому випадку D&D 5e) і видаляє суперечливі або нерелевантні комбінації. Цей модуль використовує дерево рішень, забезпечуючи логічну та механічну відповідність. Наступним кроком відбувається модуль оцінки, який використовує або евристичні алгоритми, або байесівські мережі, щоб розподілити рейтинг варіантам відповідно до користувацької вибірки за обраними характеристиками [3]. Наприклад, гравець обирає

тактичну гру з підтримкою, система може надати високий рейтинг класу клірика з мудрістю як основним атрибутом. Після оцінювання модуль рекомендацій генерує 3-5 найбільш підходящих варіантів для запиту гравця. Кожен варіант супроводжується коротким поясненням – чому саме він був обраний, які його переваги та як розвивати його надалі. На останньому етапі модуль взаємодії дозволяє гравцеві переглянути або редагувати початкові параметри, експериментувати з декількома комбінацій або зберегти обраний результат у форматі PDF/JSON для подальшого використання. Розроблена діаграма варіантів використання модулю наведена на рис. 1.



**Рисунок 1.** Діаграма варіантів використання системи

Створена система може бути застосована для прискорення або автоматизації процесу створення нового персонажу в рамках інтерактивного середовища, зокрема для віртуальних настільних столів (VTT).

**Література**

1. Nilsson, N. J. (2014). *Principles of artificial intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
2. Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). *Decision support and business intelligence systems*. Boston: Pearson Education.
3. Система і методи підтримки прийняття рішень. (2025, серпень 5). Електронний ресурс. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/73de1d73-bd75-41b3-b775-a5bcfa95a454/content>

УДК 004.093

**КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СТАНУ ВОДІЇВ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА БАЗІ ГЛИБИННОГО  
НАВЧАННЯ**

**В. Савчук**<sup>[0000-0483-229X-1391]1</sup>, **Д. Шведов**<sup>[0009-0002-4823-8782]2</sup>

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>vlsavlchuk@gmail.com, <sup>2</sup>denshvedov@gmail.com*

**CONCEPT OF A SYSTEM FOR ASSESSING THE CONDITION OF  
VEHICLE DRIVERS BASED ON DEEP LEARNING**

**V. Savchuk, D. Shvedov**

*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

**Анотація.** У статті представлено проєкт системи моніторингу стану водіїв транспортних засобів, яка використовує глибоке навчання для аналізу візуальних і фізіологічних ознак з метою виявлення ознак втоми та зниження концентрації.

**Ключові слова:** глибоке навчання, безпека руху, стан водія

**Abstract.** The article presents a project for a driver condition monitoring system that uses deep learning to analyze visual and physiological cues to detect signs of fatigue and decreased concentration.

**Keywords:** deep learning, traffic safety, driver condition

Забезпечення безпеки дорожнього руху значною мірою залежить від фізичного та психофізіологічного стану водія. Втома, сонливість, стрес або неуважність можуть стати причиною зниження концентрації уваги та збільшення часу реакції, що безпосередньо впливає на

ймовірність дорожньо-транспортних пригод [1]. Традиційні методи оцінки стану водія, такі як тести на швидкість реакції або спостереження інспектора, є суб'єктивними та не завжди ефективними в реальному часі. Розвиток технологій комп'ютерного зору, біометричних сенсорів та глибинного навчання відкриває нові можливості для створення автоматизованих систем моніторингу стану водія, які можуть працювати безперервно та об'єктивно, використовуючи камери, датчики та алгоритми обробки сигналів [2].

Проект системи оцінки стану водіїв транспортних засобів базується на комплексному використанні технологій збору багатоканальних даних та глибинного аналізу зображень і фізіологічних сигналів. Архітектура системи передбачає наявність трьох основних підсистем: модулю збору даних, модуля обробки та інтерпретації інформації, а також інтерфейсу для оповіщення та взаємодії з водієм.

Модуль збору даних інтегрує камеру високої роздільної здатності, встановлену в кабіні транспортного засобу, для відстеження мікровиразів обличчя, частоти моргання, напрямку погляду та положення голови. Додатково використовуються сенсори для вимірювання частоти серцевих скорочень, електропровідності шкіри та, за можливості, електроенцефалографічні (ЕЕГ) датчики. Дані з цих джерел синхронізуються у єдиному потоці для подальшої обробки.

Модуль обробки базується на гібридній глибинній архітектурі, яка поєднує згорткові нейронні мережі (CNN) для аналізу зображень з рекурентними нейронними мережами (LSTM/GRU) для обробки часових залежностей у фізіологічних сигналах. Механізм уваги (Attention Mechanism) дозволяє моделі фокусуватися на ключових ознаках, які найбільше корелюють зі станом втоми або сонливості водія. Навчання здійснюється на розмічених наборах даних, що містять відеозаписи та фізіологічні показники водіїв у різних станах, включаючи контрольовані експерименти зі змодельованими ситуаціями. Інтерфейс системи розроблений як багатоплатформений застосунок, що може бути реалізований у вигляді вбудованого модуля в інформаційно-розважальну систему автомобіля або як окремий мобільний застосунок для службових транспортних засобів. У разі виявлення ознак зниження уваги система надсилає попереджувальні сигнали (звукові, візуальні, тактильні), а в критичних випадках може активувати додаткові системи безпеки, наприклад, адаптивне зниження швидкості. Окрему увагу в проєкті приділено алгоритмам адаптації

системи до індивідуальних особливостей водія. Використання механізмів донавчання (fine-tuning) на даних конкретної особи дозволяє підвищити точність виявлення небезпечних станів і знизити кількість хибнопозитивних спрацьовувань. Також передбачено локальну обробку даних на борту автомобіля з метою захисту та мінімізації затримок у роботі системи.

Висновки/ Запропонований проєкт системи демонструє потенціал використання сучасних методів комп'ютерного зору та аналізу фізіологічних сигналів для підвищення безпеки дорожнього руху. Гібридний підхід, що поєднує CNN, LSTM та механізм уваги, дозволяє враховувати як візуальні, так і сенсорні ознаки, забезпечуючи більш повну картину стану водія.

### **Література**

1. Abtahi, S., Hariri, B., & Shirmohammadi, H. (2014). Driver drowsiness monitoring using eye blink patterns. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(11), 3062–3071.
2. Zhao, W., Luo, Z., & Chen, L. (2017). Driver fatigue detection based on convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 2560–2564).

*Наукове видання*

**ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ  
І ТЕХНОЛОГІЇ  
(ІУСТ ОДЕСА - 2025)**

Матеріали  
XIII Міжнародної науково-практичної конференції

24–26 вересня 2025 р. Одеса

Відповідальний редактор  
В. В. Вичужанін

Підписано до друку 08.09.2025. Формат 60×84/16. Папір  
офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Умовно-друк. арк. 17,44. Тираж 50. Замовлення № 0925-81.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета.

Українсько-польське наукове видавництво «Liha-Pres»

79000, м. Львів, вул. Технічна, 1

87-100, м. Торунь, вул. Лубіцка, 44

Телефон: +38 (050) 658 08 23

E-mail: [editor@liha-pres.eu](mailto:editor@liha-pres.eu)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6423 від 04.10.2018 р.