Міністерство освіти і науки України
НТУ «Дніпровська політехніка»
ТОВ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Ройтлінгенський університет техніки та економіки (Німеччина)
Еслінгенський університет прикладних наук (Німеччина)
Технічний університет Фрайберзька гірнича академія (Німеччина)
Університет Кобленц-Ландау (Німеччина)
Вроцлавський технічний університет (Польща)
Краківська гірничо-металургійна академія (Польща)

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТІ, НАУЦІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

XX МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

5 грудня 2025 року
м. Дніпро

Збірник наукових праць
№ 10 (частина друга)

Дніпро
Журфонд
2025

УДК 622 (06)
П78

Редакційна колегія:
О.О. Азюковський, Г.Г. Півняк, О.С. Поважний, О.С. Бешта, В.А. Бойко, А.В. Голоядов, С.В. Детюк, О.В. Бондар, Є.Є. Мостіпан, І.М. Луценко, І.М. Удовик, Є.В. Кошеленко, М.О. Алексєєв, В.І. Корнієнко, В.В. Гнатушенко, О.О. Сдвижкова, Т.А. Желдак, О.О. Бешта, А.В. Бубліков, Ю.А. Папаїка, В.О. Пінчук, С.С. Худолій, Л.І. Мещеряков, А.І. Купін, М.І. Горбійчук, О.А. Дмитрієва, А. Дерен, Н. Нойбергер.

П78 **Проблеми** використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф. (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025. – № 10 (частина друга). – 38 с.

ISBN 978-617-8737-34-4

Подано результати теоретичних та експериментальних досліджень з різних аспектів використання інформаційних технологій та енергетики в освіті, науці та керуванні промисловістю. У публікаціях розглянуто питання створення та вдосконалення інформаційних систем та технологій, системного аналізу та наук про дані, кібербезпеки та захисту інформації, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, цифрової трансформації енергетики, мехатроніки та робототехніки і електромобільності.
Для наукових, інженерно-технічних співробітників і студентів, які спеціалізуються в галузі інформаційних технологій.

УДК 622 (06)

ISBN 978-617-8737-34-4 © НТУ «Дніпровська політехніка», 2025
© Журфонд, 2025

Вітаю, шановні учасники ***XX Міжнародної конференції з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості***. Накопичений досвід та знання наукових шкіл НТУ «Дніпровська політехніка» у галузі інформаційних технологій дозволив інтегрувати наші здобутки у реальні кейси в освіті, енергетиці та промисловості. Підкреслюючи надзвичайну важкі виклики, з якими зіткнулась наша країна під час воєнного стану, хочу підкреслити чинники, що призвели до необхідності перегляду стратегії розвитку та цифровізації енергетики. Існуюча генерація за рахунок використання традиційних технологій спричиняє значне погіршення екологічної ситуації та збільшення споживання органічного палива і, відповідно, зменшення його запасів та зростання ціни. Одночасно спостерігається об'єднання традиційних енергетичних систем і систем з розподіленою генерацією при активному використанні відновлюваних джерел енергії.

Необхідність врахування цих важливих вимог дозволила сформулювати нову ***концепцію розвитку енергетики*** (концепція Smart Grid). Концепція передбачає проведення системної трансформації енергетики на всіх етапах електроенергетичного процесу: генерація, передача, перетворення та розподілення енергії. Її реалізація носить інноваційний характер і створює необхідні умови визначального переходу до нового технологічного укладу в електроенергетиці та економіці країни.

Рівень керованості електричних мереж потребує відповідної елементної бази та програмного забезпечення. Розвиток концепції дозволить реалізувати вимоги: всі промислові та побутові енергоспоживачі отримують можливість організації взаємодії в інформаційній мережі, стануть керованими і будуть виконувати функції вимірювання власного споживання енергії та потужності.

Зважаючи на комплексність проблематики цифрової трансформації енергетики, наша конференція об'єднала науковців електроенергетичної галузі, комп'ютерних наук та автоматизації, мехатроніки та робототехніки, які презентують нові результати наукових та практичних робіт, що дозволить швидко та ефективно реалізувати проєкти повоєнного відновлення нашої країни!

Щиро Ваш академік НАН України Геннадій ПІВНЯК

РОЗДІЛ 1

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 004.94

M. Aleksieiev[1], V. Kremnov[1]
[1]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESULTS OF SYNTHESIS OF A SIMULATION-BASED COMPUTER TECHNOLOGY FOR PREDICTIVE CONTROL OF GRAIN CROP MOISTURE MODES

Abstract. This paper presents a simulation-based computer technology for predictive control of soil moisture in grain crop production. The solution enables the collection, processing, and visualisation of irrigation data to support decision-making in real-time. The architecture utilises a containerised IoT stack on a Raspberry Pi, featuring MQTT communication, Node-RED routing, InfluxDB storage, and Grafana analytics. Experimental results confirm the feasibility of remote monitoring and autonomous irrigation, contributing to improved water use efficiency under variable agroclimatic conditions.

Keywords: *simulation model, predictive control, moisture, grain crop, IoT, stack.*

Introduction. In the current conditions of dynamic growth in land use intensity in the agricultural sector, both globally and in Ukraine, against the backdrop of progressive depletion and degradation of agricultural ecosystems, there is an urgent need to substantiate and implement the latest applied information and computer technologies. In this context, computerised monitoring and control of key parameters and factors in agroecosystems enable the effective adaptation of crop cultivation processes. One of the central indicators that determines the state of the soil-plant ecosystem and, consequently, the overall efficiency of cultivation, is soil moisture. This indicator not only directly affects the final yield but also serves as a basis for implementing strategies to increase land resource productivity and adapt agricultural production systems to dynamic climate change and other destabilising factors.

Therefore, the introduction of computer methods and predictive control systems for soil moisture levels ensures the optimised use of water resources, reduces the risks of soil erosion, and promotes the sustainable economic and environmental development of the agricultural sector. In this regard, it is essential to continue scientific and applied research into the methodological foundations of predictive control for soil irrigation modes in real-time grain crop production.

The aim of the study is to enhance the efficiency of planning agrotechnical procedures for growing crops in field conditions by synthesising and validating computerised technology for predictive soil moisture control.

Main outcomes. To implement a simulation model of computer technology for predictive control of grain crop moisture modes, taking into account the possibility of

forming a local database of measurement observations and calculation results, together with providing remote access to graphical interpretation of results in accordance with user rights, the IoT Stack technology [1] has been used, based on available containerised solutions that provide flexible data processing, storage and visualisation. The following main components have been deployed within this architecture: Portainer, Node-RED, Mosquitto, Grafana and InfluxDB. All services run on a single device, Raspberry Pi 4, which simultaneously acts as both the end node for data processing [2]. After installing the Raspberry Pi OS Lite operating system, standard settings were performed: system update, user password change, SSH activation for remote access. The result is a stack deployed on a localhost Raspberry Pi with the above components, as shown in Fig. 1.

In this case, the MQTT protocol has been chosen as the primary means of data exchange between the Simulink model on Raspberry Pi and the server part of the developed computer technology for agricultural purposes. The MQTT broker Mosquitto [3] is configured to listen to port 1883 without authentication to simplify internal communication. The MQTT broker receives data from the "MQTT Publish" block in Simulink, which is sent in uint8 ASCII format with the topic "/moistening/sensors".

The Node-RED simulation environment has been used as a tool for processing, transforming, and routing data between services, as shown in Fig. 2.

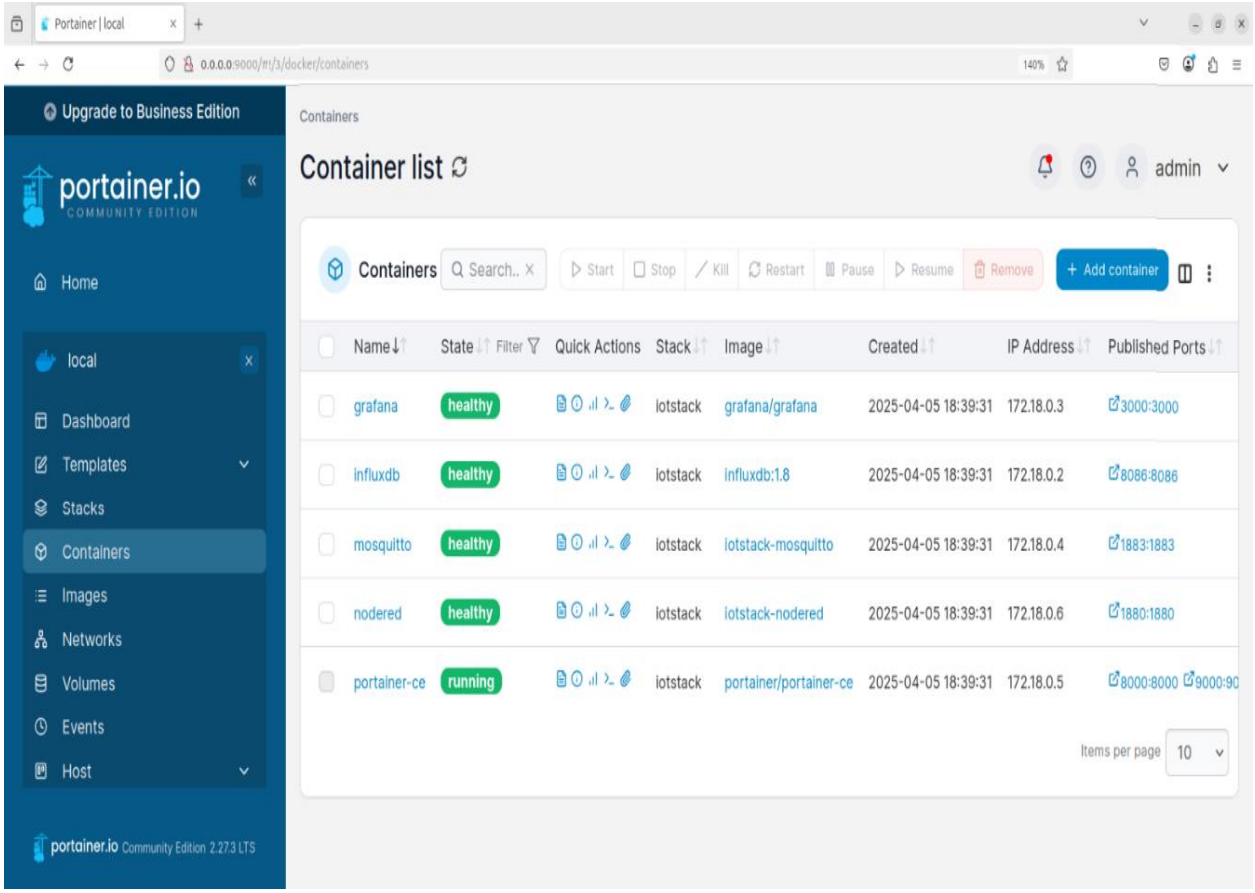

Fig. 1. Visualisation of an IoT stack window deployed on a Raspberry Pi microcomputer device

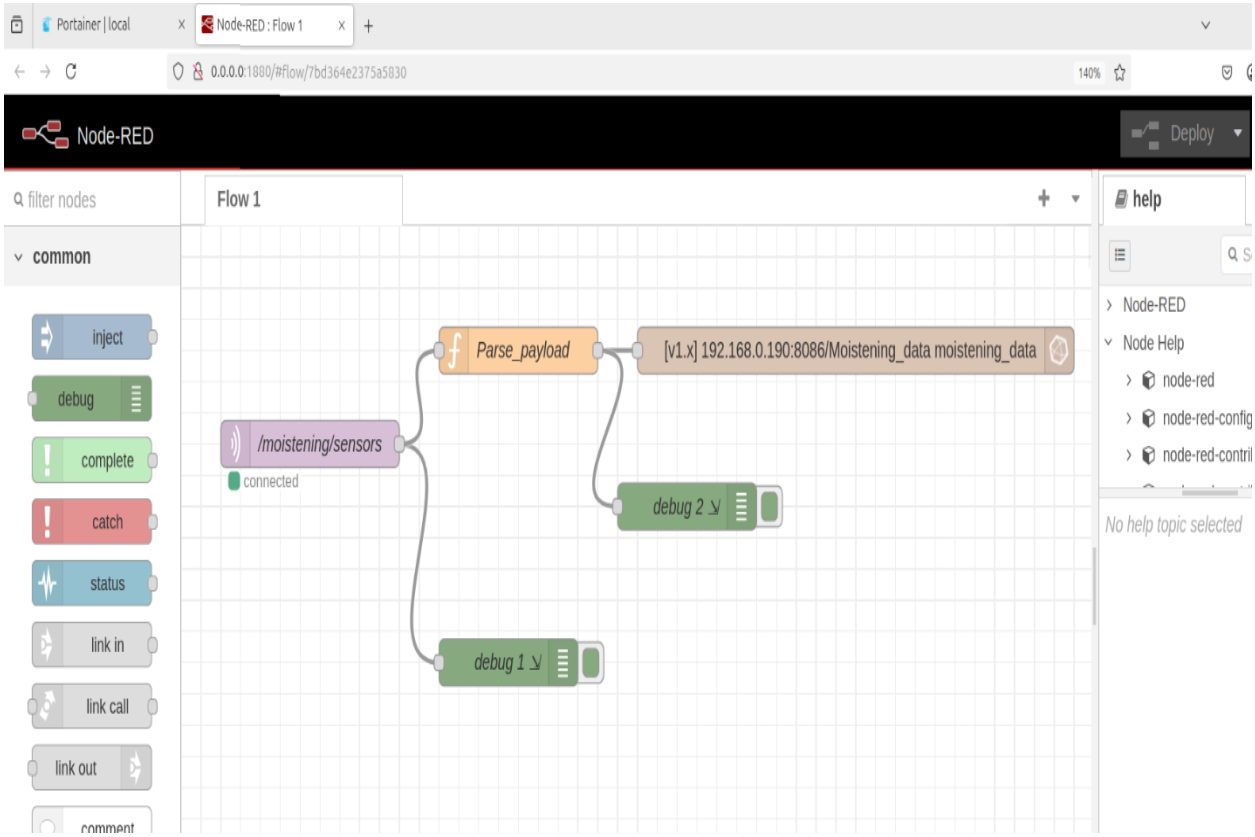

Fig. 2. The structure of information flow in Node-RED

The implemented information flow in the Node-RED environment has the following structure:

– the ‘Mqtt in’ node receives messages from the topic “/moistening/sensors”;

– the ‘Function’ node decodes the data in uint8 ASCII string format and creates a JSON format structure in JavaScript for storage in the InfluxDB block;

– the ‘Influxdb out’ node sends the processing results for storage in the database.

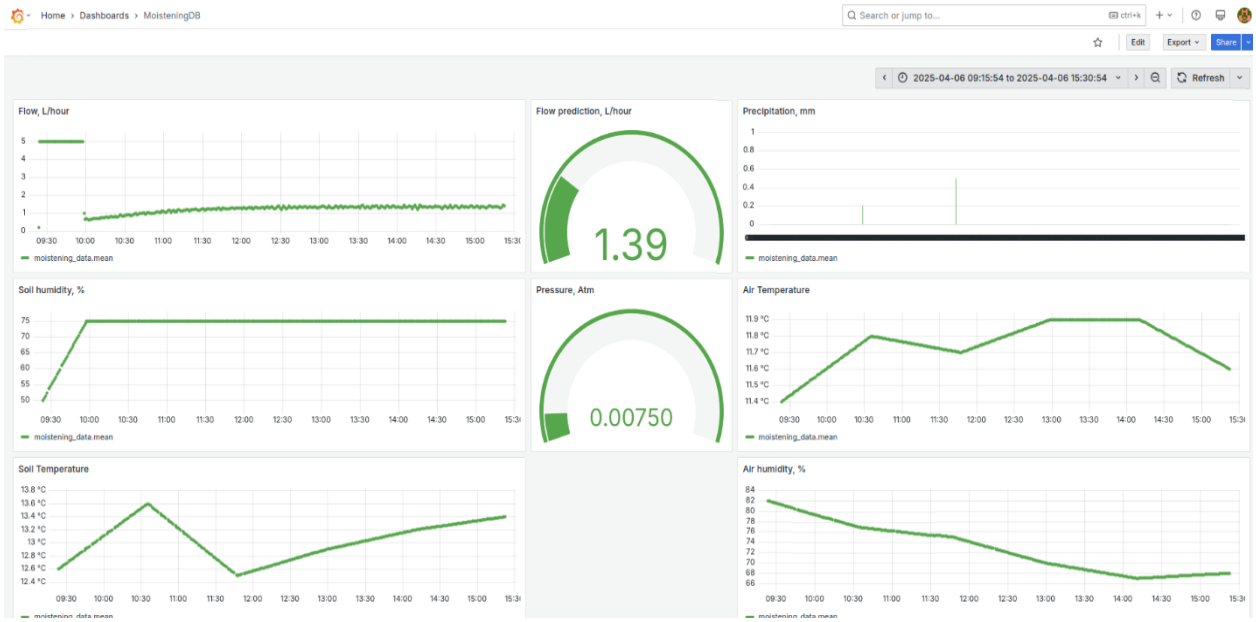

Fig. 3. The graphical interface in Grafana

For the graphical visualisation of the technical and functional parameters of the irrigation system, as well as indicators of soil and climatic conditions for cultivation, and for remote user access, the Grafana software system was deployed, which connects to the moistening data database using InfluxQL, as shown in Fig. 3.

Thus, as a result of the research, a comprehensive simulation model has been developed for the autonomous operation of computer technology in predictive control of grain crop moisture regimes, providing both processing, storage, and presentation of results in a convenient format.

Conclusions. A simulation model of the computer technology under study has been synthesised, implementing a decentralised structural and functional organisation of step-by-step transformations of data distributed in space and time, characterising the moistening modes of grain crops, namely: collection of data on soil and climatic conditions of cultivation, collection of measurement data on the technical and functional characteristics of the irrigation system, wireless data transmission from a network of field microprocessor monitoring devices to a local microprocessor device with subsequent data transmission to a microcomputer Raspberry Pi computer device for intelligent predictive processing of measurement information and generation of control signals for the executive mechanisms of automated grain crop irrigation systems, storage of measurement information in a database, and graphical interpretation of computer control results with the possibility of remote user access.

REFERENCES

1. GitHub Pages: Getting Started – IOTstack. URL: https://sensorsiot.github.io/IOTstack/Basic_setup/ (accessed at 03.11.2025).
2. Kremnov V.V. Results of a computer experiment on the architectural integration of hardware and software components for the multilevel transformation of measured data from predictive soil moisture control. *Scientific works of DonNTU. Series: 'Informatics, cybernetics and computing technology'*. 2025, No. 1 (40). P. 89–96. (in Ukrainian).
3. GitHub Pages: Mosquitto. URL: https://sensorsiot.github.io/ IOTstack/Containers/Mosquitto/ (accessed at 03.11.2025).

УДК 331.108.4:004.8

В.М. Льовкін[1], В.І. Горобець[1]
[1]Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЛИННОСТІ КАДРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Анотація. Проведено дослідження методу прогнозування плинності кадрів підприємства шляхом класифікації працівників за ймовірністю їх звільнення та створення програмного забезпечення для підвищення ефективності управління персоналом, що дозволяє зменшити витрати на заміну працівників і своєчасно виявляти ризики втрати ключових кадрів. Методологія дослідження ґрунтується на застосуванні алгоритмів машинного навчання, зокрема моделі Random Forest, доповненої процедурою автоматичного відбору ознак, що забезпечує побудову оптимальної моделі класифікації на основі аналізу великих обсягів даних про працівників. Результати дослідження можуть бути використані у сфері бізнесу та корпоративного менеджменту.

Ключові слова: *плинність кадрів, прогнозування, людськи ресурси, штучний інтелект, HR-менеджер, Random Forest, машинне навчання.*

Вступ. В сучасних умовах проблема плинності кадрів набуває особливої актуальності. Це комплексне явище, яке формується під впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх чинників: динамічний розвиток ринку праці, економічна нестабільність, зміна професійних пріоритетів, кар'єрні перспективи та зростаюча доступність цифрових ресурсів. Усі вони стимулюють працівників до частішої зміни місця роботи. Пошук нової зайнятості, який раніше вимагав значних часових і фізичних ресурсів, сьогодні значно спрощено завдяки широкому розповсюдженню онлайн-платформ та сервісів працевлаштування [1].

Після початку повномасштабного вторгнення в Україні ситуація в країні суттєво ускладнилася. Війна спричинила глибокі соціально-економічні зміни, які безпосередньо вплинули на ринок праці та діяльність підприємств. Масова зовнішня та внутрішня міграція, мобілізація працездатного населення, знищення інфраструктури, економічна нестабільність – усе це створює додаткові навантаження для українського бізнесу. Підприємства змушені працювати в умовах постійної невизначеності, кадрового дефіциту та зростаючої плинності співробітників. У таких умовах, дієве управління персоналом та зменшення небажаного відтоку, стають критично важливими факторами збереження конкурентоспроможності та життєздатності підприємств [2].

В останні роки важливе місце у вирішенні цих проблем займають технології з використанням функцій штучного інтелекту (ШІ), трансформуючи різноманітні процеси та підвищуючи їхню результативність. Їх інтеграція у системи управління кадрами відкриває нові обрії для створення прозорих, об'єктивних та персоналізованих систем мотивації. Завдяки аналізу великих обсягів даних про продуктивність, поведінку та індивідуальні вподобання працівників, стає можливим формувати адаптовані мотиваційні стратегії, що

суттєво підвищують продуктивність персоналу. Своєчасне включення до процесу мотиваційних важелів – економічних, соціальних, соціально-психологічних, морально-виховних, впливає на успішність та стабільність бізнесу [3]. Автоматизація кадрових процесів із застосуванням передових технологій дозволяє підприємствам значно скоротити час і фінансові витрати на управління персоналом, підвищити залученість співробітників та знизити рівень плинності кадрів. Впровадження інноваційних технологій у сфері керування людськими ресурсами є важливим кроком для подолання труднощів, пов'язаних із втратою кадрового складу, і сприяє формуванню стабільного та конкурентоспроможного кадрового потенціалу підприємств. Ефективне управління кадрами приваблює талановитих співробітників, сприяє їх розвитку, що створює умови для довгострокового зростання компанії [4], [5].

У процесі дослідження застосовано комплекс взаємодоповнюючих алгоритмів, який забезпечив цілісний та системний підхід до аналізу теоретичних засад, практичних підходів і сучасних технологічних рішень у сфері дослідження плинності персоналу із використанням ШІ [6].

Вибір оптимального метода машинного навчання. Поставлене завдання було деталізовано на основі набору даних Employee/HR Dataset (ALL in One) [7], який містить комплексну інформацію про працівників, їхню трудову історію, поведінкові характеристики та організаційні показники. Зазначений датасет повністю відповідає вимогам дослідження та забезпечує можливість проведення ґрунтовного аналізу чинників, що визначають імовірність звільнення співробітників. Вибір моделі машинного навчання становить один із визначальних кроків дослідження, оскільки коректний добір алгоритмів безпосередньо впливає на точність, узагальнювальну здатність та ефективність процесу прогнозування.

Linear regression – це один із базових методів машинного навчавння, що застосовується для розв'язання задач регресійного типу, пов'язаних з прогнозуванням кількісних показників на основі одного або декількох незалежних змінних [8]. Для прогнозування цей метод дає змогу побудувати математичну модель, яка демонструє залежність між різними характеристиками та ймовірністю зміни цільової змінної під впливом цих характеристик.

Decision Tree – поширений алгоритм машинного навчання, який застосовується для розв'язання задач як класифікації, так і регресії [9]. Метод дерев рішень використовується для побудови моделі, що здійснює послідовне розділення даних, формуючи ієрархічну структуру прийняття рішень. Кожен внутрішній вузол дерева відповідає певному критерію або умові поділу, а листові вузли відображають кінцеві прогнози. Метою побудови дерева є пошук найкращих точок поділу для характеристик, які мінімізують різницю між передбачуваними та реальними значеннями [10].

Random Forest – це ансамблевий метод машинного навчання, який ґрунтується на побудові великої кількості дерев прийняття рішень для підвищення точності прогнозів та зменьшення ризику перенавчання [11]. Кожне дерево в лісі навчається на випадково вибраних підмножинах даних та робить

власне передбачення, а результат формується як середнє значення або як результат голосування більшості. Окремі дерева можуть давати неточні результати через перенавчання, проте при поєднанні всіх дерев випадкові помилки взаємно компенсуються, роблячи загальний прогноз більш точним.

На основі порівняльного аналізу обрано метод Random Forest, який вирізняється високою точністю прогнозування, стійкістю до перенавчання та здатністю ефективно обробляти шумові дані. Результативний у роботі з великими обсягами даних та здатний оперувати як числовими, так і категоріальними ознаками, потребує мінімального попереднього опрацювання даних.

Метод класифікації працівників підприємства за ймовірністю звільнення. Для прогнозування плинності кадрів необхідно послідовно виконати низку етапів, кожен із яких фактично розв’язує задачу класифікації працівників за ймовірністю звільнення, що у сукупності забезпечує побудову цілісної моделі прогнозування (рис. 1).

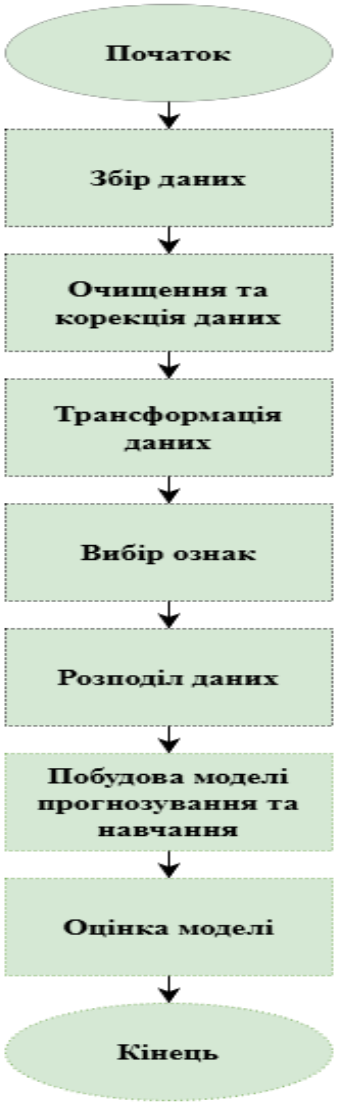

Рис. 1. Метод класифікації працівників підприємства за ймовірністю звільнення

На першому етапі формується структурований масив даних про працівників, що охоплює їхні індивідуальні та професійні характеристики. Інформація подається у табличному форматі з урахуванням репрезентативності вибірки – охоплення різних підрозділів, посад, вікових груп та рівнів кваліфікації.

Другий етап передбачає очищення даних від помилок, пропусків і аномалій. Забезпечується узгодження форматів, однорідність та висока якість вхідних даних із застосуванням автоматизованих методів виявлення викидів та експертної перевірки.

Третій етап включає підготовку даних до моделювання: нормалізацію числових змінних, кодування категоріальних ознак і формування похідних показників, що точніше описують закономірності плинності кадрів.

На четвертому етапі здійснюється відбір інформативних характеристик. Для оцінювання значущості кожної змінної використовується критерій χ^2. Ознаки з високими значеннями χ^2 (> 0.5) визначаються як ключові для моделі, тоді як малозначущі характеристики ($\chi^2 < 0.2$) вилучаються, що підвищує інтерпретованість моделі та знижує ризик перенавчання.

П’ятий етап передбачає поділ даних на навчальну та тестову вибірки у пропорції 80/20 для оцінювання здатності моделі узагальнювати інформацію на нових даних.

На шостому етапі будується модель прогнозування плинності кадрів на основі алгоритму Random Forest, здатного враховувати нелінійні залежності та складні взаємодії між ознаками. Проводиться оптимізація гіперпараметрів (кількості дерев, глибини дерев тощо) для досягнення максимальної точності.

Сьомий етап передбачає оцінювання ефективності моделі. Аналізуються матриця помилок та ключові метрики – точність, повнота та F1-міра – що дає змогу визначити сильні та слабкі сторони моделі, виявити типові помилки та оцінити її здатність до генералізації.

Матеріали та методи. В процесі проєктування і реалізації програмного забезпечення було застосовано комплекс сучасних технологічних рішень та інструментів, що забезпечило досягнення високої ефективності розробленої системи. Ключову роль у створенні програмного продукту відіграла мова програмування Python, яка завдяки інтуїтивному синтаксису, численним бібліотекам та модулям надала змогу реалізувати структуровано-продуктивний код. У якості фреймворку було обрано Django, оскільки він забезпечує високий рівень безпеки, гнучкість, масштабованість при розробці вебзастосунків. Для збереження інформації проєкту використовується СКБД MySQL, яка забезпечує надійну обробку й ефективне управління великими даними.

Експериментальне дослідження. На початковому етапі експериментального дослідження здійснено завантаження відкритого набору даних Employee/HR Dataset (ALL in One), який містить інформацію про персонал підприємства у форматі CSV [12]. До складу даних входили змінні, що характеризують особисті, професійні та адміністративні атрибути співробітників. Для імпортування даних у середовище Python використовувалися функціональні

можливості бібліотеки pandas, зокрема метод read_csv(), який забезпечує зчитування інформації з CSV-файлів безпосередньо у структуру DataFrame.

На етапі очищення та корекції даних було проведено перевірку на наявність пропущених значень у атрибутах. Виявлені пропуски були замінені медіанними значеннями. Було виконано видалення дубльованих записів та скореговані категоріальні змінні, що мали різні формати запису.

Вибір ознак проводиться, щоб визначити найбільш релевантні змінні, які мають статистично значущий вплив на залежну змінну Turnover. Було використано клас SelectKBest з бібліотеки scikit-learn, що призначений для відбору ознак з параметрами score_func = "chi2" та k = "all". Даний підхід дозволяє кількісно оцінити силу зв'язку між кожною незалежною змінною та цільовою ознакою, що є оптимальним для завдань класифікації. Після розрахунків було відібрано підмножину найбільш інформативних параметрів (табл. 1).

Таблиця 1

Оцінка важливості ознак

Ознака	Статистичний критерій (χ^2)
Pay_Zone	5,1594
Performance_Score	3,5923
Age_Status	1,3811
Title	1,2955
Work_Experience_Status	0,9397
Marital_Status	0,8429
Employee_Status	0,6509
Department_Type	0,2352
Employee_Classification_Type	0,2137
Current_Employee_Rating	0,1406
Race	0.0004

Після проведення відбору релевантних ознак дані були розподілені на навчальну та тестову вибірки у пропорції 80 % до 20 % відповідно. Такий розподіл забезпечує достатній обсяг даних для навчання моделі, водночас залишаючи частину даних для оцінки її якості та узагальнювальної здатності. Для реалізації цієї операції було використано функціональність бібліотеки scikit-learn, а саме функцію train_test_split, яка дозволяє випадковим чином розподілити спостереження між вибірками.

Переходячи до шостого етапу, створюється модель машинного навчання на основі алгоритму Random Forest для прогнозування плинності кадрів. Для реалізації моделі використовується бібліотека scikit-learn, зокрема клас RandomForestClassifier. Для налаштування моделі задаються ключові параметри, кількість дерев у ансамблі встановлюється на рівні 100, що дозволяє досягти балансу між точністю та обчислювальною ефективністю. Максимальна глибина

дерев обмежується значенням 10, щоб запобігти надмірному пристосуванню моделі до навчальних даних.

На наступному етапі було проведено побудову та навчання моделей прогнозування з використанням бібліотеки scikit-learn. Для порівняння ефективності застосовувалися три алгоритми машинного навчання: RandomForestClassifier у складі запропонованого методу класифікації працівників підприємства за ймовірністю звільнення, DecisionTreeClassifier та LogisticRegression. Кожна модель навчалася на однаковому наборі даних з однаковими параметрами, що забезпечувало об'єктивність дослідження (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність застосування алгоритмів ШІ

Метод / модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Random Forest	0,8966	0,8732	0,8957	0,8794
Decision Tree	0,7866	0,7515	0,8114	0,7803
Logistic Regression	0,8100	0,7845	0,8185	0,8011

Висновок. За результатами експериментального дослідження встановлено, що модель Random Forest у складі запропонованого методу класифікації працівників підприємства за ймовірністю звільнення разом зі всіма його відповідними етапами продемонструвала найвищу точність прогнозування плинності кадрів, забезпечуючи оптимальний баланс між ключовими показниками оцінки. Висока стійкість моделі до шуму та здатність ефективно працювати з великою кількістю нелінійних змінних підтверджують доцільність застосування ансамблевих методів для прогнозування відтоку працівників. Підвищення точності класифікації відповідно призводить до покращення інформативності рішень, які приймаються стосовно управління персоналом, базуючись на більш точній інформації про плинність кадрів. Вираженням такого збільшення обґрунтованості стратегій є посилення ефективності управління персоналом. Це має призводити до зниження витрат, пов'язаних із заміною працівників, а також до своєчасного виявлення ризиків втрати ключових кадрів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Процик, І. Плинність кадрів на підпрємстві та шляхи її зменшення [Електрон. ресурс] / І. Процик, Н. Кара // Молодий вчений. – 2020. – № 3 (79). – Режим доступу : https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/1616.
2. Цимбалюк, І. Динаміка ринку праці в Україні під час війни: аналіз міграційних тенденцій та показників безробіття [Електрон. ресурс] / І. Цимбалюк, Н. Павліха, С. Цимбалюк // Інноваційна економіка. – 2023. – № 2. – Режим доступу : https://inneco.org/index.php/innecoua/article/view/1064.
3. Свидрук, І. Вплив штучного інтелекту на мотивацію праці [Електрон. ресурс] / І. Свидрук, М. Кардаш // Вісник ЛТЕУ. Економічні науки. – № 78. – Режим доступу : http://journals-lute.lviv.ua/index.php/visnyk-econom/article/view/1619.
4. Bibikova, Y. HR administration in Ukraine and its automation – a must-have for business in 2025 [Electronic resource] / Y. Bibikova, A. Evstifeeva // Accace. – 2025. – Access mode : https://accace.com/hr-administration-in-ukraine/.

5. Пристемський, О. Вплив сучасних інформаційних технологій на ефективність управління підприємством [Електрон. ресурс] / О. Пристемський, А. Пашинний // Херсонський державний аграрно-економічний університет, 2023. – Режим доступу : https://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/8248.
6. Дриньов, Д. Штучний інтелект в процесі прийняття та реалізації управлінських рішень [Електрон. ресурс] / Д. Дриньов, К. Войтех, Р. Тимошенко // Таврійський науковий вісник. Серія : Економіка. – 2023. – Вип. 18. – Режим доступу : https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.18.7.
7. Employee/HR Dataset (All in One) [Electronic resource] // KaggleDatasets. – Access mode : https://www.kaggle.com/datasets/ravindrasinghrana/employeedataset.
8. Montgomery, D. Introduction to linear regression analysis [Text] / D. Montgomery, G. Vinind, E. Peck. – 6th ed. – Hoboken, NJ : Wiley, 2021. – 704 p.
9. Theobad, O. Machine learning and AI for absolute beginners: decision trees [Text] / O. Theobad. – O'Reilly Media, 2024.
10. Salame, N. The decision tree algorithm use in supervised machine learning [Electronic resource] / N. Salame // IJSREM. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/372409344_The_Decision_Tree_Algorithm_Use_in_Supervised_Machine_Learning.
11. Rose, M. Survey of random forest pruning techniques [Electronic resource] / M. Rose, H. Hassen // Computer Science & Information Techology. – 2019. – Vol. 9, № 18. – Access mode : https://aircconline.com/csit/papers/vol9/csit91808.pdf.
12. DataFrame.to_csv [Electronic resource] // Pandas. – Access mode : https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.to_csv.html.

УДК 005.353

Є. Д. Чемерис[1], Л.В. Кабак[1], Варех Н.В.[2]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
[2]Університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна.

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ ЧЕРГАМИ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ НА БАЗІ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ В KUBERNETES

Анотація. У роботі розглянуто підхід до створення системи управління електронними чергами використовуючи середовище Kubernetes. Розроблена архітектура базується на мікросервісній моделі та використовує прогнозування часу очікування користувачів для динамічного масштабування сервісів.

Ключові слова: *електронна черга, Kubernetes, мікросервісна архітектура, Go, оператор, CRD, прогнозування часу очікування, автоматичне масштабування.*

Вступ. Для реалізації сучасних, навантажених інформаційних систем необхідно використовувати ефективні механізми керування запитами і користувачами. Електронні черги є частим інструментом взаємодії користувача і системи обслуговування, проте їх ефективність залежить від можливості прогнозування часу очікування та динамічного розподілу навантаження між

компонентами. Традиційні підходи до побудови черг мають обмеження щодо масштабованості й стійкості. Тому актуальним є створення системи управління електронними чергами на базі мікросервісної архітектури в Kubernetes [1], яка динамічно реагує на зміну кількості запитів за допомогою прогнозування та автоматичного масштабування.

Постановка задачі. Метою роботи є розробка системи управління електронними чергами з прогнозуванням часу очікування користувачів у середовищі Kubernetes. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- Розробити мікросервісну архітектуру, яка забезпечує масштабованість компонентів системи.
- Реалізувати модель прогнозування часу очікування та експериментально дослідити її точність.
- Створити Kubernetes-оператор і власний тип ресурсу (CRD QueuePolicy), що дозволяє описувати правила роботи черги та автоматично узгоджувати їх зі станом кластера.
- Забезпечити автоматичне масштабування компонентів системи на основі прогнозованого часу очікування користувачів за допомогою HPA/KEDA[2].
- Провести експериментальну оцінку ефективності запропонованого рішення за показниками середнього часу очікування (AWT) у порівнянні із більш традиційними системами.

Основний зміст роботи. Метою дослідження є створення керованої системи електронних черг, здатної динамічно реагувати на зміну навантаження. Для цього використано підхід мікросервісної архітектури в поєднанні з можливостями середовища Kubernetes, що дозволяє забезпечити незалежність компонентів, їх оновлення, масштабування та стійкість до збоїв завдяки можливості реалізувати різні стратегії розгортання сервісів.

З архітектурної точки зору система складається з трьох логічних рівнів: прикладного, інфраструктурного та керуючого.

Прикладний рівень (Queue, Predictor, API Gateway): обробляє створення, виклик та завершення квитків, а також прогнозує час очікування користувачів у черзі.

Queue Service – це основний компонент, який, використовуючи ефективну мову Golang[3], реалізує логіку управління електронними чергами. Predictor Service – аналітичний модуль, який здійснює прогнозування середнього часу очікування користувачів у черзі.

Інфраструктурний рівень (Kubernetes, KEDA): здійснює моніторинг стану сервісів і автоматичне масштабування залежно від навантаження.

Kubernetes Cluster (рис. 1) виступає платформою для розгортання мікросервісів, забезпечуючи ізоляцію виконання коду, автоматичне відновлення сервісів і керування ресурсами[4]. KEDA (Kubernetes Event Driven Autoscaler) забезпечує автоматичне масштабування подів сервісів Queue та Predictor залежно від навантаження[5]. Argo CD реалізує GitOps-підхід до розгортання: усі компоненти системи описані у вигляді Helm-чартів, і зміни в репозиторії автоматично синхронізуються з кластером.

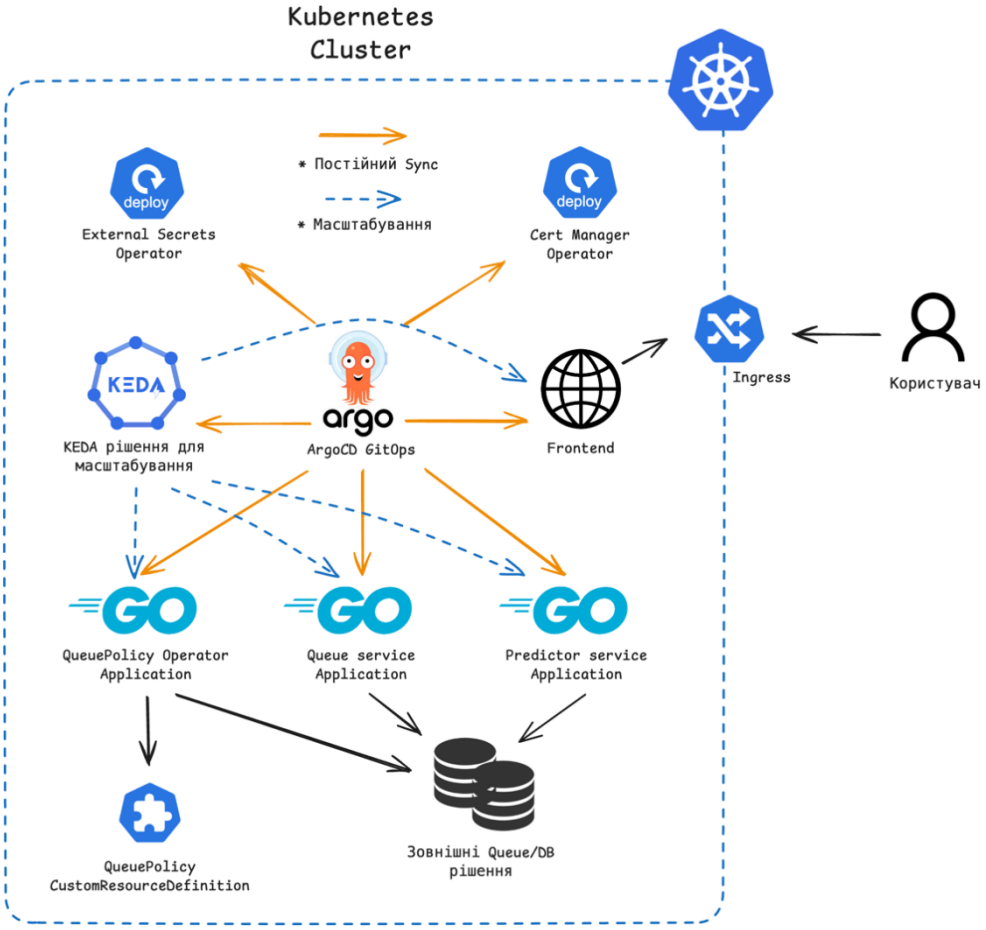

Рис. 1. Схема архітектури Kubernetes кластера

Керуючий рівень (QueuePolicy Operator): реалізує контроль політик черг у вигляді CRD, створює ресурси HPA та ServiceMonitor, а також узгоджує реальний стан системи з очікуваним.

Для контролю реалізовано власний Kubernetes-оператор що реалізує Custom Resource Definition (CRD) під назвою QueuePolicy. QueuePolicy — описує правила обслуговування, пріоритети, допустимий час очікування та порогові значення для масштабування. Оператор періодично зчитує ці об’єкти, порівнює їх із реальним станом системи та вносить зміни: створює або оновлює ресурси HPA, ServiceMonitor і ConfigMap.

Описана система реалізує наступний алгоритм роботи:

1. Користувач створює заявку через веб-портал.
2. Запит потрапляє до сервісу Queue, де створюється подія ticket.created , щоб усі інші сервіси могли реагувати асинхронно.
3. Predictor отримує ці події, оновлює статистику та обчислює новий прогноз середнього часу очікування.
4. KEDA порівнює значення метрики з порогом і у випадку перевищення збільшує кількість подів сервісу Queue або Predictor.
5. При зниженні навантаження кількість реплік автоматично скорочується.

Наукова новизна. У роботі запропоновано новий підхід до управління електронними чергами, який поєднує модель прогнозування часу очікування з автоматичним масштабуванням сервісів у Kubernetes. На відміну від звичайних систем, що працюють за фіксованими налаштуваннями, розроблене рішення самостійно адаптується до зміни навантаження. Такий підхід дозволяє зменшити середній час очікування користувачів і забезпечити стабільну роботу системи навіть при різких піках навантаження.

Реалізовано Kubernetes-оператор, що приймає політики обслуговування у вигляді CRD і автоматично підтримує працездатність системи.

Висновки. Запропонована система дозволяє ефективно керувати електронними чергами за допомогою Kubernetes-оператора, який забезпечує автоматичне масштабування сервісів відповідно до прогнозованого часу очікування користувачів. Такий підхід може бути використаний для підвищення ефективності сервісів у електронних системах і хмарних рішеннях, що базуються на інфраструктурі Kubernetes.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Burns B., Grant B., Oppenheimer D., Brewer E., Wilkes J. Borg, Omega, and Kubernetes: Lessons Learned from Three Container-Management Systems, 2016 — 25 ст.
2. Google Cloud. Horizontal Pod Autoscaling in Kubernetes. – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://cloud.google.com/kubernetes-engine/docs/concepts/horizontalpodautoscaler
3. Go Documentation. Effective Go. – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://go.dev/doc/effective_go
4. Hightower K., Burns B., Beda J. Kubernetes: Up and Running. 3rd edition. O'Reilly Media, 2023. — 342 ст.
5. KEDA: Kubernetes Event-Driven Autoscaling. – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://keda.sh/docs/2.18/setupscaler/

УДК 004.9:624

В.В. Янко[1], О.В.Халимендик[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Анотація. У статті наведено системний аналіз сучасних інформаційних технологій у будівництві з акцентом на конкретні програмні продукти, що забезпечують цифрову трансформацію галузі. Розглянуто застосування платформ для інформаційного моделювання будівель (BIM), геоінформаційних систем, хмарних сервісів, інструментів комп'ютерного аналізу, систем для управління будівництвом, аналітичних комплексів на основі штучного інтелекту та рішень для роботизованого контролю. Визначено роль програмних продуктів у підвищенні ефективності інженерної діяльності, зниженні ризиків, оптимізації ресурсних потоків та формуванні цифрових двійників споруд.

Ключові слова: *BIM, інформаційні технології, програмні продукти, будівництво, цифровий двійник, проєктування, штучний інтелект*.

Основна частина. Сучасна будівельна галузь активно змінюється під впливом цифрових технологій, які забезпечують автоматизацію інженерних процесів, оптимізацію взаємодії учасників проєктування та будівництва, підвищення точності й зменшення ризиків. Наукові дослідження підтверджують, що цифровізація є одним із ключових драйверів ефективності будівництва у глобальному масштабі [1; 2]. Центральною складовою цих трансформацій є впровадження спеціалізованих програмних продуктів, які забезпечують інтеграцію цифрових даних, створення цифрових двійників споруд, автоматизацію контролю якості та планування.

Building Information Modeling (BIM) є найбільш поширеною цифровою технологією, яка забезпечує об'єктно-орієнтоване моделювання будівель і споруд. Відомими програмами для створення BIM-моделей є Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, Bentley OpenBuildings Designer, Allplan Engineering та Renga. Revit широко використовується у світовій практиці завдяки універсальності, наявності великих бібліотек та інтеграції з іншими інструментами Autodesk [3]. ArchiCAD забезпечує ефективну роботу архітекторів та проєктних груп, використовуючи технологію BIMcloud для колективного моделювання. Tekla Structures відзначається високою точністю при моделюванні металевих і залізобетонних конструкцій, що робить її незамінною для конструктивних інженерів. Bentley Systems забезпечує моделювання інфраструктурних об'єктів і транспортних систем на основі стандартів ISO 19650 [4].

Важливою складовою BIM-процесу є координація моделей та аналіз колізій. Для цього застосовуються Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker, BIMcollab ZOOM, які дозволяють інтегрувати багатоформатні моделі та автоматично знаходити технічні зіткнення. Ці системи забезпечують скорочення кількості помилок у проєктній документації на 30-40 %, що підтверджується аналітичними дослідженнями міжнародних консалтингових компаній [1].

Для кошторисного моделювання й інтеграції фінансових даних із BIM застосовуються системи CostX, Smeta Wizard, Buildertrend, а в Україні – АВК-5, що адаптована до національної нормативної бази [5]. Використання таких рішень підвищує точність кошторисів, дозволяє автоматично зчитувати обсяги робіт з цифрової моделі та забезпечує прозоре фінансове планування.

У сфері геоінформаційних технологій використовуються ArcGIS, QGIS, AutoCAD Map 3D, InfraWorks. ArcGIS забезпечує багатофункціональну просторову аналітику та використовується у містобудуванні, кадастрових системах та інженерних вишукуваннях [6]. QGIS, будучи відкритим програмним забезпеченням, дозволяє інтегрувати геодані з різних джерел та формувати цифрові карти. InfraWorks поєднує геопросторові дані з BIM-моделюванням, створюючи концептуальні моделі територій і транспортних систем.

Хмарні платформи стали основним механізмом організації спільної роботи в будівництві. Найвідомішими продуктами є Autodesk Construction Cloud, BIM 360, Procore, PlanRadar, Trimble Connect. Autodesk Construction Cloud забезпечує централізовану роботу з документами, планами та моделями, а також містить модулі для контролю якості й логістики [7]. Procore застосовується компаніями США та ЄС як комплексна система управління будівництвом, що дозволяє керувати графіками, ресурсами та комунікаціями. PlanRadar популярний як інструмент для мобільного контролю будівельних дефектів та формування звітів про їх усунення.

Значним напрямом цифровізації є технології інтернету речей (IoT). Основними продуктами для моніторингу стану бетонування і конструкцій є Giatec SmartRock, Sensohive Maturix, Trimble WorksOS, Hilti ON!Track. SmartRock забезпечує вимірювання температури й розрахунок міцності бетону в реальному часі завдяки бездротовим датчикам, що значно зменшує ризики дефектів. Hilti ON!Track дозволяє управляти інструментами, обладнанням і ресурсами на будівельному майданчику, відстежуючи їх переміщення та технічний стан.

Штучний інтелект у будівництві впроваджують такі програмні продукти, як Buildots, OpenSpace, nPlan, Delve, Autodesk Insight. Buildots використовує комп’ютерний зір для автоматичного порівняння фактичного стану об’єкта з BIM-моделлю, забезпечуючи точний контроль виконання робіт [7]. OpenSpace застосовує 360°-фото для створення цифрового архіву будівельного процесу. nPlan здійснює прогнозування ризиків затримок на основі машинного аналізу тисяч завершених проєктів.

У сфері роботизації та 3D-сканування особливе значення мають програмні комплекси Leica Cyclone, FARO Scene, Trimble RealWorks, які дозволяють обробляти хмари точок, створювати цифрові двійники та виконувати точні вимірювання. Лазерне сканування є одним із найточніших методів цифрової фіксації будівельних об’єктів, що широко застосовується у реконструкції та інжинірингу [8].

Опрацьовані програмні рішення підтверджують, що цифровізація будівельних процесів суттєво підвищує продуктивність, зменшує кількість помилок, оптимізує витрати, а також створює передумови для повної

автоматизації проєктування та реалізації об'єктів. Аналітичні дані McKinsey свідчать про скорочення строків будівництва на 20 % у компаніях, що впровадили комплексні цифрові платформи [3]. Цифрові двійники, основані на BIM та IoT, розглядаються як ключовий інструмент експлуатації та управлінням інженерними системами споруд [9].

Висновки. Таким чином, інтеграція BIM, ГІС, IoT, хмарних платформ, систем аналізу та роботизованих комплексів формує нову парадигму будівництва, у якій інформаційні технології виступають не допоміжним, а базовим елементом інженерної діяльності. Подальший розвиток галузі залежатиме від рівня стандартизації, підготовки фахівців і загального рівня цифрової культури, що визначає успішність впровадження програмних рішень у національну практику.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. McKinsey Global Institute. Imagining Construction’s Digital Future. McKinsey & Company, 2016. 34 p.
2. European Commission. Digital Transformation of the Construction Sector: Report. Brussels: European Union, 2020. 42 p.
3. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 680 p.
4. International Organization for Standardization. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO, 2018. 24 p.
5 Литвиненко, А. М. Цифровізація будівельної галузі: сучасні тренди та перспективи. Будівельні конструкції. 2021. № 95. С. 12–21.
6. Гуменюк, М. Ф., Шевчук, Л. В. Геоінформаційні системи в інженерній діяльності: навч. посіб. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2019. 312 с.
7. Autodesk. Construction Technology Report 2022. Autodesk Inc., 2022. 58 p.
8. Пучков, М. П. Інформаційне моделювання будівель і споруд: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2020. 256 с.
9. Malleson, A., Smith, S. IoT Applications in Construction Industry. London: ICE Publishing, 2021. 198 p.

УДК 621.867.5

Н.В. Григоренко[1]
[1]Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ СПІРАЛЬНО-ГВИНТОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ

Анотація. У роботі теоретично обґрунтовано та математично змодельовано процеси транспортування сипких матеріалів у спірально-гвинтовому транспортері. Проаналізовано сили, що діють на частинки матеріалу, та розроблено математичні моделі руху в вертикальних і похилих транспортерах із використанням диференціальних рівнянь у циліндричній системі координат. Отримані результати дозволяють прогнозувати продуктивність роботи транспортера, оптимізувати конструктивні параметри і зменшити енергетичні витрати.

***Ключові слова**: спірально-гвинтовий транспортер, гнучкий шнек, математичне моделювання, транспортування сипких матеріалів, кінематика, оптимізація, енергоефективність.*

Вступ. Транспортування сипких матеріалів є важливою складовою технологічних процесів у сільському господарстві, будівництві та промисловості. Спірально-гвинтові транспортери вирізняються універсальністю, компактністю та можливістю роботи під різними кутами нахилу. Складна кінематика руху матеріалу всередині гнучкого кожуха та відсутність жорсткого вала у спіралі зумовлюють потребу у створенні уточнених математичних моделей, які б дозволили точніше прогнозувати продуктивність і енергетичні характеристики обладнання.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та математичне моделювання процесу транспортування сипких матеріалів спірально-гвинтовим транспортером з метою визначення закономірностей руху частинок, прогнозування продуктивності та оптимізації конструктивних і енергетичних параметрів транспортера.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети у роботі сформовано такі завдання:

- обґрунтувати процеси взаємодії сипкого матеріалу зі спіраллю та внутрішньою поверхнею транспортера;
- вивести математичні моделі руху частинок у вертикальних та похилих спірально-гвинтових транспортерах;
- виконати чисельне моделювання процесу транспортування з урахуванням конструктивних параметрів та силових взаємодій;
- визначити залежності, що дозволяють оцінити продуктивність, усталену швидкість та енергетичні втрати.

Наукова новизна. Удосконалено математичну модель процесу транспортування сипких матеріалів гнучким спірально-гвинтовим транспортером шляхом інтеграції динамічних змін сил тертя, реакцій контактних

поверхонь та впливу кута нахилу труби. Отримані рівняння враховують реальну кінематику руху частинок, що дозволяє більш точно прогнозувати продуктивність і енергоефективність транспортера.

Основний зміст роботи. У статті розглянуто особливості роботи спірально-гвинтових транспортерів різних типів. Показано, що переміщення матеріалу в таких системах забезпечується поєднанням сил тертя, гравітаційних складових та реакцій зі спірального витка.

Для аналізу руху частинки у вертикальному транспортері спіраль було замінено дротовим кільцем, що обертається у циліндричному кожусі. На основі цього методу отримано рівняння руху з урахуванням коефіцієнтів тертя об спіраль та стінку труби.

Для похилих транспортерів розроблено систему диференціальних рівнянь у координатах (r, φ, z), що описує криволінійну траєкторію руху частинки під дією гвинтової поверхні та сили тяжіння. У моделі враховано кут нахилу транспортера, крок та радіус спіралі, діаметр дроту, розміри частинок та параметри тертя.

Значення з початкової умови при $t=\infty$ та $\omega=0$. Тоді c=0. формулою:

$$\omega = lim\, a_1 \frac{1 - e^{-2a_1 f_2 t}}{1 + e^{-2a_1 f_2 t}} = a_1.$$

Формула дає величину кутової швидкості при сталому режимі руху. Матеріальна точка досягне граничної теоретичної швидкості a_1, у разі якщо кутова швидкість обертання гвинта ω_k перевищує це значення ($a_k > a_1$). Якщо ж кутова швидкість гвинта менша за теоретичну межу ($\omega_k < a_1$), то усталена кутова швидкість частинки буде дорівнювати швидкості гвинта: $\omega=\omega_k$.

Таким чином, a_1 є максимально можливою швидкістю руху частинки, що визначається геометричними та фрикційними параметрами транспортера.

Значення відношення швидкостей ω/a_1 залежно від безрозмірного часу $2a_1f_2t$ наведені в Таблиці 1:

Таблиця 1.

Значення ω/a_1, в залежності від $2a_1f_2t$

$2a_1f_2t$	1	2	3	4
ω/a_1	0,46	0,76	0,9	0,97

при значенні $2a_1f_2t = 4$ кутова швидкість частинки $\omega = 0{,}97\ c^{-1}$, що незначно відрізняється від її теоретичної граничної швидкості.

Якщо транспортер розміщений горизонтально, тобто $\delta=0$, то отримаємо:

$$\ddot{\varphi}=\frac{f_1(g\cos\varphi+r\dot{\varphi}^2)\left(B(\dot{\varphi})\frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})}-A(\dot{\varphi})\right)-g\sin\varphi}{\left(1+tg\alpha\frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})}\right)}.$$

Якщо вертикально, тобто $\varepsilon=\frac{\pi}{2}$, то

$$\ddot{\varphi}=\frac{fr\dot{\varphi}^2\left(B(\dot{\varphi})\frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})}-A(\dot{\varphi})\right)+g\frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})}}{\left(1+tg\alpha\frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})}\right)}.$$

Розрахунки здійснено чисельними методами в середовищі Mathcad, що дозволило отримати часові залежності кутових швидкостей, переміщень та усталених режимів транспортування. Встановлено, що для кутів нахилу до 25° забезпечується найбільш стабільний характер руху без утворення застійних зон.

Висновки. В результаті дослідження:

- аналітично обґрунтовано механізм руху частинок сипкого матеріалу у спірально-гвинтових транспортерах;
- розроблено математичну модель для вертикальних і похилих систем;
- визначено залежності, що впливають на усталений режим руху та продуктивність;
- встановлено, що оптимальні кути нахилу (до 25°) забезпечують стабільне транспортування і зменшення втрат;
- результати можуть бути використані під час проектування енергоефективних спірально-гвинтових транспортних систем.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штуць А. А., Зозуляк І. А. Григоренко Н. В. Аналіз факторів ризику аварій ліній електропередач, обумовлених кліматичними умовами. – Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки, 2024, Т. 1, № 3 (335). – С. 314–325.
2. Штуць А. А., Колісник М. А., Григоренко О. В. Григоренко Н. В. Аналіз сучасних методів транспортування сільськогосподарської продукції спірально-гвинтовими транспортерами. – Вібрації в техніці та технологіях, 2024, № 3 (114). – С. 97–110.
3. Стаднік М., Штуць А., Григоренко Н. Колісник М. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. – Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки, 2025, Т. 347, № 1. – С. 291–299.
4. Михалевич В., Колісник М., Штуць А. Григоренко Н. Дослідження технологічних процесів штампування деталей типу фланець на основі застосування способів комбінованого видавлювання. – Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки, 2025, Т. 351, № 3.1. – С. 590–599. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-351-77.1
5. Бойко І. В., Ковальчук П. М. Машини та обладнання для транспортування сипких матеріалів. – К.: Аграрна освіта, 2020. – 256 с.

6. Якубенко І. М. Теоретичні основи шнекових транспортуючих механізмів. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 228 с.
7. Єрмаков В. І., Литвиненко А. О. Математичне моделювання машинних процесів. – К.: НТУУ «КПІ», 2021. – 280 с.
8. ISO 7119:2021. Continuous mechanical handling equipment — Screw conveyors — Design and calculation. International Organization for Standardization, Geneva, 2021.
9. Попов С. В., Романчук І. Л. Механізація процесів транспортування зерна в аграрному секторі. – Одеса: Астропринт, 2023. – 198 с.

УДК 616.2:004.8

Д.О. Камінський[1], В.М. Льовкін[1]
[1]Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

РОЗРОБКА ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИПАДКІВ ПНЕВМОНІЇ НА ОСНОВІ ЗАСОБІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ВЕБФРЕЙМВОРКУ

Анотація. У роботі розглянуто задачу автоматизованого виявлення пневмонії на рентгенівських знімках грудної клітини. В основі дослідження лежить використання методів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж. Забезпечено порівняння цілого ряду архітектур згорткових нейронних мереж, включаючи ResNet50, MobileNetV2, AlexNet, на основі проведеного експериментального дослідження. Для підтримки експериментального дослідження та забезпечення прикладної програми, яка б серед функцій надавала можливість визначення випадків пневмонії, розроблено програмну систему з застосуванням Python-вебфреймворку Django.

Ключові слова: *пневмонія, діагностування, рентгенівський знімок, згорткові нейронні мережі, глибоке навчання, обробка медичних зображень*.

Актуальність проблеми. Пневмонія залишається однією з провідних причин смертності від інфекційних хвороб у світі: лише у 2019 році від цього захворювання померло близько 2,5 мільйона осіб (The Every Breath Counts Coalition, 2023). За даними фармацевтичної корпорації Pfizer оцінки смертності від пневмонії у світі складають 3 мільйони людей на рік (Pfizer, 2025). Це величезна кількість випадків, при чому не захворювання, а саме смертельних випадків, що саме по собі вказує на актуальність завдання розпізнавання випадків пневмонії. Додатковим ускладненням загалом ситуації і діагностики зокрема є те, що клінічним проявом пневмонії можуть бути і легкі симптоми, а не тільки критичні стани.

Традиційний аналіз рентгенівських знімків залежить від людського фактору: втоми лікаря та суб'єктивності сприйняття, що може призводити до помилок. Нерідко сам доступ до медичних послуг може бути ускладненим, зважаючи на недостатню кількість медичних працівників. Це може не бути критичним фактором у випадку критичних станів, однак, коли спостерігаються

тільки легкі симптоми, то візит до лікаря може відкладатись, стан пацієнта може ускладнюватися, а своєчасні заходи можуть бути не задіяні.

У цьому контексті автоматизація процесу аналізу медичних зображень за допомогою засобів машинного навчання є критично важливою задачею, яка дозволяє створити допоміжний інструмент для підтримки прийняття рішень лікарями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досить велика кількість сучасних досліджень присвячена визначенню випадків пневмонії. Сучасні підходи до аналізу медичних зображень базуються на використанні згорткових нейронних мереж, або convolutional neural network (CNN). Часто використовується підхід Transfer Learning для навчання моделей.

У роботі (Bhuvanya, 2025) розпізнавання пневмонії реалізується за допомогою CNN-моделі XceptionNet з застосуванням гібридної архітектури зорового трансформера X-Vision, при цьому розпізнавання відбувається для сукупності хвороб легенів, включаючи як пневмонію, так і Covid-19. Подібний підхід застосовується в роботі (Lasker, 2026), де модель побудована на основі архітектури LungConVT-Net з об'єднанням зорового трансформера з CNN.

У дослідженні (Vazralu, 2025) використовується глибока архітектура CNN VGG-19. Класифікація відбувається також між рядом легеневих хвороб, включаючи також і туберкульоз.

У роботі (Jareanpon, 2025) реалізується порівняння різних CNN-архітектур, включаючи EfficientNet, CheXNet, ResNet50, для виявлення саме пневмонії, а особливостями дослідження є визначення структури виконання етапу передобробки даних.

Особливості застосування підходу до навчання моделей на основі Transfer Learning розглянуто в роботі (Kermany, 2018). У роботі (Tripathy, 2025) даний підхід використовується разом з різними архітектурами CNN, зокрема Xception, VGG16, ResNet152V2.

У роботі (Katreddi, 2025) досліджено такі архітектури CNN як DenseNet169, DenseNet121, VGG16 для випадків дитячої пневмонії.

Представлені моделі демонструють високі результати класифікації, проте мають і недоліки у вигляді високих вимог до обчислювальних ресурсів. Необхідно проаналізувати різницю між даними моделями, виконуючи вибір моделей для створення програмної системи для застосування їх для визначення пневмонії на практиці.

Мета дослідження. Метою роботи є програмна реалізація діагностування пневмонії на основі рентгенівських знімків грудної клітини з використанням різних архітектур згорткової нейронної мережі для забезпечення оптимального вибору моделі для розв'язання задачі на практиці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробку прикладної програми для виявлення випадків пневмонії було виконано на основі технологічного стеку, що включає мову програмування Python, фреймворк Django, бібліотеку Django REST Framework для забезпечення реалізації самої

програмної системи як вебзастосунку, бібліотек TensorFlow і Keras для реалізації глибоких нейронних мереж.

Розроблена програмна система надає ряд функцій для пацієнта, лікаря та адміністратора, щоб забезпечити зручність підтримки роботи над виявленням випадків пневмонії та інформуванням про такі випадки.

Для пацієнта надається можливість:

– перегляду діагнозів та висновків, які були зафіксовані лікарем;

– перегляду рентгенівських знімків, які належать самому пацієнту;

– перегляду списку зафіксованих медичних випадків та відповідних статусів роботи над цими випадками.

Для адміністратора системи надається можливість:

– перегляду загальної статистики роботи програмної системи;

– перегляду записів усіх користувачів системи, змінювання даних їх профілів;

– керування моделлю класифікації випадків пневмонії на основі перезапуску навчання моделей штучних нейронних мереж різних архітектур, перегляду та керування збереженими чекпоінтами для створених моделей класифікації стосовно їх використання під час безпосередньо оброблення рентгенівських знімків;

– перегляду статистики підтвердження та скасування автоматизованих діагностувань випадків пневмонії лікарями.

Для лікаря надається можливість:

– перегляду списку доступних для лікаря медичних випадків;

– внесення нового і редагування існуючого медичного випадку;

– завантаження до вмісту медичного випадку рентгенівських знімків, внесення анотацій;

– пошуку серед всіх доступних лікарю медичних випадків за заданим ним пацієнтом;

– перегляду рентгенівських знімків та результатів, які було отримано після автоматичного розпізнавання;

– встановлення шляхом підтвердження та змінювання на той, який лікар вважає адекватним, остаточного діагнозу за рентгенівським знімком.

Для експериментального дослідження було використано набір даних з відкритого джерела Kaggle (Mooney, 2017), що містить 5 863 рентгенівські зображення. Дані було поділено на навчальну (5 216), тестову (624) та валідаційну (16) вибірки.

У зв’язку з дисбалансом класів (перевага знімків з пневмонією), було застосовано методи аугментації даних:

– зміну масштабу;

– випадкове обертання;

– зсуви;

– відображення.

У результаті фінальний обсяг валідаційної вибірки залишився відносно невеликим (близько 900 зображень), що попри підвищений рівень статистичного

шуму на ранніх епохах виявилося достатнім для подальшої стабільної оцінки якості моделей.

Для проведення експериментального дослідження, враховуючи результати аналізу досліджень, було виділено наступні архітектури моделей класифікації для виявлення випадків пневмонії:

– AlexNet;
– VGG19;
– ResNet50;
– MobileNetV2;
– DenseNet121.

Результати порівняння моделей наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння точності розпізнавання різних моделей для діагностування пневмонії грудної клітини

Модель	Точість	Прецизійість	Чутливість	Специфічність	AUC
AlexNet	0.9628	0.9851	0.9603	0.9681	0.9905
ResNet50	0.9594	0.9872	0.9561	0.9647	0.9972
MobileNetV2	0.9545	0.9855	0.9517	0.9622	0.9920
VGG19	0.9499	0.9852	0.9448	0.9523	0.9915
DenseNet121	0.9386	0.9711	0.9304	0.9461	0.9870

Як видно з табл. 1, модель AlexNet має найвищу точність розпізнавання на рівні 0.9628, при цьому значення показника прецизійності є дещо меншим. За даним показником найкращий результат має модель ResNet50. За показниками чутливості, специфічності AlexNet має кращі результати порівняно зі всіма іншими моделями.

У свою чергу найменші результати продемонструвала модель DenseNet121, при чому це стосувалось всіх показників. Так точність моделі склала 0.9386 (порівняно з 0.9628 у AlexNet), прецизійність – 0.9711 (порівняно з 0.9872 у ResNet50), чутливість – 0.9304 (порівняно з 0.9603 у AlexNet), специфічність – 0.9461 (порівняно з 0.9681 у AlexNet).

Слід також враховувати, що модель ResNet50 характеризується 23.8 мільйонами параметрів, у той час як AlexNet – 30 мільйонами параметрів. Це додатково підкреслює, що моделі окрім точності класифікації ще характеризуються своєю складністю, що впливає на те, в яких умовах вони в принципі можуть застосовуватися на практиці.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі виконано розробку прикладної програми визначення випадків пневмонії за допомогою мови програмування Python, фреймворку веброзробки Django, бібліотек Django REST Framework, TensorFlow і Keras.

Програмна реалізація базувалась на створенні множини моделей, побудованих на основі різних архітектур, включаючи ResNet50, MobileNetV2, AlexNet, DenseNet121, VGG19. Програмне забезпечення було використано для проведення експериментального дослідження, де ці моделі були порівняні

стосовно показників точності, прецизійності, чутливості, специфічності, метрики AUC.

Отримані результати дозволяють порівняти ефективність отриманих результатів класифікації, враховуючи зокрема і складність таких моделей. У подальших дослідженнях необхідно модифікувати існуючі моделі для того, щоб при порівнюваній точності досягти меншої складності моделей. Це б дозволило використовувати їх за умов обмеження обчислювальних ресурсів, що нерідко характеризує випадки застосування програмних систем на практиці в цій сфері.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. The Every Breath Counts Coalition. World Pneumonia Day 2023. URL: https://stoppneumonia.org/latest/world-pneumonia-day-2023/ (дата звернення: 30.11.2025).
2. Pfizer. Pneumonia Overview: Types, Causes, Symptoms, and Treatment. URL: https://www.pfizer.com/disease-and-conditions/pneumonia (дата звернення: 30.11.2025).
3. A hybrid deep learning approach using XceptionNet and vision transformer for accurate chest disease detection from X-ray images / R. Bhuvanya, V. Vanitha, M. M. Iqbal. Biomedical Signal Processing and Control. 2025. Volume 110. Article 108118. DOI: 10.1016/j.bspc.2025.108118.
4. LungConVT-Net: A visual transformer network with blended features for Pneumonia detection / A. Lasker, Mr. Ghosh, Md O. Sk. Et al. Pattern Recognition. 2026. Volume 171. 112150. DOI: 10.1016/j.patcog.2025.112150.
5. Vazralu M., Madiajagan M. Multiclass Classification of Chest X-rays based Pulmonary Disorder Using a Specialized VGG-19 Deep Neural Network. Journal of Innovative Image Processing. 2025. Volume 7, Issue 4. Pp. 1153-1167. DOI: 10.36548/jiip.2025.4.004.
6. The Preprocessing Combination for Pneumonia Classification from Chest X-Ray Images System Using Covolutional Neural Networks / C. Jareanpon, W. Srapsooksri, S. Jarunpen et al. ICIC Express Letters. Part B: Applications. 2025. Volume 16, Number 12. Pp. 1321-1330. DOI: 10.24507/icicelb.16.12.1321.
7. Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning / D. S. Kermany, M. Goldbaum, W. Cai et al. Cell. 2018. Volume 172, Issue 5. Pp. 1122 - 1131.
8. Pediatric pneumonia X-ray image classification: predictive model development with DenseNet-169 transfer learning / S. Katreddi, A. Midatani, A. P. Roy et al. Journal of Medical Artificial Intelligence. 2025. Volume 8. DOI: 10.21037/jmai-24-356.
9. TL-PneuNet: a transfer learning-based pneumonia classification framework / B. Tripathy, S. Khan, S. Bebortta et al. Sci Rep. 2025. Volume 15. Article 40307. DOI: 10.1038/s41598-025-24180-8.
10. Mooney P. Chest X-Ray Images (Pneumonia). URL: https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia (дата звернення: 30.11.2025).

УДК 004.056:004.94

І.С. Послєд[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТРИРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ КІБЕРФІЗІЧНИХ СИСТЕМ ВІД ВИТОКУ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. В роботі обґрунтована трьохрівнева структура елементів інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації. Визначено, що обробка акустичної інформації та прийняття рішень із використанням методів штучного інтелекту забезпечує ефективне розпізнавання аномальних станів акустичного середовища на границі контрольованої зони та адаптацію параметрів для генерації контршуму.

Ключові слова: структура, система захисту, кіберфізична система, акустична інформація, інтелектуальна обробка інформації, нейронна мережа.

Вступ. Стрімкий розвиток цифрових систем та інформаційних технологій розширює можливості як несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації, так і засобів захисту від цього. Захист акустичної інформації у кіберфізичних системах (КФС) набуває актуальності для державних установ, військових об'єктів, а також на різних рівнях проведення конфіденційних переговорів. Загроза витоку важливої акустичної інформації потребує постійного вдосконалення методів виявлення, класифікації таких загроз та їх нейтралізацію за допомогою шумозаглушення. В роботі обґрунтовується структура та розглядаються функції елементів інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації. Методи штучного інтелекту (ШІ), зокрема, технології машинного навчання та глибокого навчання, здатні ефективно аналізувати акустичні сигнали для виявлення потенційних загроз, значно розширюючи можливості обробки акустичних даних на всіх етапах, зокрема, аналізу сигналів та їх зашумлення. Алгоритми ШІ можуть розпізнавати аномальні звукові шаблони, ідентифікувати несанкціоновані пристрої запису та прогнозувати можливі канали витоку інформації. Це дає змогу створювати адаптивні системи захисту та реагувати на зміну акустичного середовища в режимі реального часу.

Постановка задачі. Метою дослідження є підвищення рівня захисту кіберфізичних систем КФС від витоку акустичної інформації шляхом розробки структури системи захисту інформації на основі інтелектуальних методів обробки інформації та прийняття рішень.

Для досягнення поставленою мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- Обґрунтувати трирівневу структуру системи захисту, яка включає фізичний, рівень цифрової обробки сигналів та рівень інтелектуального аналізу даних.

- Розробити методи обробки акустичних сигналів з використанням перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення для ефективного аналізу нестаціонарних сигналів.
- Створити алгоритми інтелектуальної обробки інформації на основі нейронних мереж і машинного навчання для розпізнавання аномальних станів акустичного середовища.
- Забезпечити адаптивне керування процесом шумозаглушення (формування контршуму) з урахуванням поточних характеристик акустичного середовища.
- Розробити критерії оцінювання ефективності системи, зокрема використати метрику F1-score для визначення якості класифікації аномалій.

Основний зміст роботи. Структура інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації включає три рівні (табл. 1), які забезпечують: збір і аналіз акустичної інформації всередині та на границі контрольованої зони; оцінку стану каналів витоку акустичної інформації; формування контршуму для маскування конфіденційної акустичної інформації на границі контрольованої зони.

Таблиця 1

Структура інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації

Рівень	**Апаратно-програмна частина**	**Функції**
1. Фізичний	Мікрофони, вібросенсори, лазерні детектори, екрани, мікроконтролери, генератори шума	Збір та попередня обробка сигналів, екранування, генерація шуму, безперебійне живлення
2. Цифрової обробки сигналів	DSP-процесори, Фур'є-перетворення, вейвлет перетворення	Аналіз час-частотних характеристик сигналів, формування спектру контршуму
3. Інтелектуальної обробки інформації та прийняття рішень	Алгоритми адаптивної фільтрації, алгоритми машинного та глибокого навчання, спеціалізоване програмне забезпечення	Розпізнавання аномалій акустичного середовища, адаптація параметрів шумозаглушення

Фізичний рівень складається з:

- акустичних сенсорів та мікрофонів – для реєстрації звукових коливань у приміщенні;
- лазерних детекторів – для виявлення лазерного перехоплення на границі контрольованої зони;

- вібраційних сенсорів – для моніторингу поверхонь на предмет віброакустичних атак та витоків;
- генераторів шуму – для активного маскування мовлення (білий шум, адаптивний шум);
- засобів екранування – звукоізоляційних матеріалів, що обмежують поширення звуку за межі приміщення (контрольованої зони);
- блоку безперебійного живлення – для автономної роботи системи;
- фізичної пам'яті – для резервування та зниження ризиків при передачі даних на сервер та їх локальної обробки;
- мікроконтролерів, що включають в себе програми обробки даних.

Цифрова обробка сигналів. Обробка сигналів здійснюється в часовій, частотній та час-частотній областях. Для переходу в частотну область використовується перетворення Фур'є, а в час-частотну – вейвлет перетворення.

Алгоритми обробки сигналів реалізуються на цифрових сигнальних процесорах DSP, що збільшує швидкодію та зменшує вимоги до ресурсів мікроконтролера.

Такий підхід дозволяє аналізувати спектральний склад сигналів та визначати їх аномалії (особливості) в режимі реального часу. Перетворення Фур'є показує, які частоти присутні у сигналі, але не вказує, коли саме ці частоти виникають. Для сигналів із змінними у часі характеристиками це є суттєвим.

Більш гнучким інструментом для час-частотного аналізу є вайвлет-перетворення, який шляхом розділення сигналу на компоненти різного часового масштабу дає можливість отримати більш точну інформацію про еволюції спектру сигналу у часі. Основна область застосування вейвлет-перетворень – аналіз і обробка сигналів і функцій, нестаціонарних в часі або неоднорідних в просторі, коли результати аналізу повинні містити не тільки загальну частотну характеристику сигналу (розподіл енергії сигналу по частотних складових), але і відомості про певні локальні координати, на яких проявляють себе ті або інші групи частотних складових, або на яких відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу (Корнієнко, 2020). Прикладами таких сигналів є, зокрема, мова і музика.

Для виділення (фільтрації) корисного сигналу на тлі шуму використовуються різні методи: Вінера, спектрального віднімання тощо. При цьому, наприклад, фільтр Колмогорова-Вінера забезпечує мінімізацію середньоквадратичної помилки між оригінальним та відновленим сигналами (Горєв, 2024).

Для виявлення витоків інформації або сторонніх пристроїв запису використовуються автоенкодери із формуванням моделей нормального стану акустичного середовища, що дозволяє виявляти аномалії у звукових записах.

Формування спектру контр шуму здійснюється шляхом генерації маскувального шуму в частотній або часовій (Active Noise Cancellation, ANC) областях.

В спектральній області формується шум зі спектром H~A/X, де X – спектр корисного сигналу на границі контрольованої зони, A – постійний коефіцієнт

перетворення. Тоді сигнал за межами контрольованої зони буде мати спектр Y=HX ~ A, тобто спектр постійної амплітуди A, а це білий шум.

В часовій області формування шуму з ANC здійснюється шляхом генерування звуку в протифазі до корисного сигналу, який підлягає маскуванню. Відбувається придушення корисного сигналу у реальному часі. Для цього використовуються адаптивні алгоритми, зокрема, найменшої середньоквадратичної помилки LMS або найменшої рекурсивної квадратичної помилки RLS (Горєв, 2024).

Інтелектуальна обробка інформації та прийняття рішень. Інтелектуальна обробка сигналів акустичної інформації здійснюється за допомогою адаптивних фільтрів-апроксиматорів (АФА), які мають рекурсивні і нерекурсивні зв'язки, а також виконують перетворення сигналів. У них процес адаптації включає оцінювання шуканого виходу фільтру і корегування його параметрів за значенням вихідної похибки.

Для побудови і реалізації структури динамічної моделі сигналу перспективними є засоби інтелектуальної обробки інформації (нейронні мережі (НМ), системи нечіткого висновку, гібридні системи), оскільки вони легко настроюються (адаптуються) під властивості сигналу, що змінюється, і, відповідно, є ефективними засобами моделювання складних систем (Корнієнко, 2020; Горєв, 2024).

Наприклад, при побудові АФА перспективним вважається використання НМ, зокрема, НМ із функціями активації у вигляді вейвлет (вейвнетів – **Wave**net **Net**work). Такі АФА апроксимують нелінійні функції з високою точністю. Наразі вейвнети широко застосовуються для аналізу та машинного синтезу голосу. Іншим прикладом засобу інтелектуальної обробки інформаціє є нейронний вайвлет АФА, який використовує вейвлет-аналіз та НМ, що дозволяє ефективно апроксимувати і фільтрувати сигнали, особливо в умовах шуму чи невизначеності.

Інтелектуальне прийняття рішень передбачає вирішення задачі класифікації стану акустичного середовища. При цьому використовуються:

- нейронні мережі – для класифікації акустичних загроз витоку;
- методи машинного навчання – для аналізу акустичного середовища та виявлення аномальних станів на границі контрольованої зони;
- адаптивне налаштування захисту – зміна характеристик та параметрів генерації шуму залежно від особливостей та рівня загрози витоку.

Для розпізнавання аномальних станів акустичного середовища та визначення параметрів для генерації контршуму використовуються методи машинного навчання:

- Supervised lerning – навчається на відомих сигналах по базі класифікованих типів витоків або джерел за акустичними патернами (шаблонами, образами);
- Unsupervised learning – кластерізація невідомих сигналів за допомогою автоенкодерів;

- Semi-supervised learning – коли є мало «помічених» витоків, але багато фонових джерел звуку.

Для аналізу акустичних спектрограм використовуються згорткові НМ.

Методи розпізнавання джерел акустичних витоків:

- саунд-локалізація – виявляє напрямок звуку та розташування пристрою за допомогою мікрофонних матриць (рейд-мікрофони);
- аудіо-фінгерпринтинг – ідентифікує джерела, формує звукові шаблони та застосовується для зменшення навантаження на класифікатор (НМ).

Для реалізіції програмної платформи на Python використовується бібліотека Tensor Flow Scikit-learn, яка дозволяє здійснювати:

- реєстрацію сигналу з мікрофонів;
- розпізнавання мови (опціонально);
- розділення сигналу на семпли (відрізки аудіо інформації);
- кодування розкладання сигналу;
- класифікацію сигналів та акустичного середовища на границі контрольованої зони: виявлення аномалій та реалізація адаптивного шумоподавлення.

Як критерій оцінки якості виявлення аномалій застосовується метрика F1-score, яка враховується в режимах мінімізації помилкових тривог (Precision) та максимізації ймовірності виявлення аномалій (Recall), і є популярною метрикою при дисбалансі класів та показує яку вірогідність розпізнавання має класифікатор (НМ).

Таким чином, процес функціонування запропонованої інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації включає наступні процедури:

1. Збір та обробка даних: створення бази даних акустичних сигналів, що містять як безпечні, так і потенційно небезпечні зразки.
2. Навчання моделей: використання зібраних даних для тренування моделей машинного навчання, здатних розпізнавати та класифікувати різні типи станів ризиків витоку акустичної інформації на границі контрольованої зони.
3. Реалізація системи в реальному часі: інтеграція навчених моделей в апаратно-програмний комплекс, що здійснює моніторинг та захист акустичного середовища в режимі реального часу.
4. Постійне оновлення та вдосконалення: систематичне оновлення бази даних та перенавчання моделей для врахування нових загроз витоку та підвищення ефективності захисту.

Наукова новизна роботи полягає у обґрунтуванні структури та визначенні функцій елементів системи захисту на основі інтелектуальних методів обробки інформації та прийняття рішень, що підвищує рівень захисту КФС від витоку акустичної інформації.

Висновки. Обґрунтована трьохрівнева структура системи захисту КФС від витоку акустичної інформації, яка забезпечує: збір і аналіз акустичної інформації всередині та на границі контрольованої зони; оцінку стану каналів витоку

акустичної інформації; формування контршуму для маскування конфіденційної акустичної інформації на границі контрольованої зони.

Для цифрової обробки сигналів запропоновано використання перетворення Фур'є та вейвлет перетворення, що забезпечує ефективний аналіз та обробку нестаціонарних у часі та неоднорідних в просторі сигналів.

Визначено, що обробка акустичної інформації та прийняття рішень із використанням методів штучного інтелекту забезпечує ефективне розпізнавання аномальних станів акустичного середовища на границі контрольованої зони та адаптацію параметрів для генерації контршуму.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку алгоритмів для реалізації інтелектуальної системи захисту КФС від витоку акустичної інформації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Корнієнко В. І., Гусєв О. Ю., Герасіна О. В. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів у системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій : підручник / за заг. ред. В.І. Корнієнка. – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 536 с.
2. Івасюк Ю. Штучний інтелект в інформаційній безпеці: методи виявлення загроз : навч. посіб. – Київ : НАУ, 2021. – 168 с.
3. Hansen C. H. Understanding Active Noise Cancellation. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 304 с.
4. Chen X., Choo K.-K. R., Shen Q. Machine Learning for Cybersecurity: Foundations, Advanced Techniques, and Applications. – Cham: Springer, 2022. – 269 с.
5. Корнієнко В., Кручінін О., Плєц О., Герасіна О., Тимофєєв Д. (2021) Кіберфізична система моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом // *Information Technology: Computer Science, Software Engineering, Cyber Security*, 2021, Вип. 2, С. 19-25. https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3.
6. Wu Ch., Yao W., Sun G., Wu L. Security of Cyber-Physical Systems: State Estimation and Control. – Cham: Springer, 2022. – 264 с.
7. Motahhir S., Maleh Y. Security Engineering for Embedded and Cyber-Physical Systems. – Boca Raton : CRC Press (Taylor&Francis), 2024. – 200 с.
8. Koç Ç. K. Cyber-Physical Systems Security. – Cham: Springer, 2018. – 284 с.
9. Chhetri S. R., Al Faruque M. A. Data-Driven Modeling of Cyber-Physical Systems Using Side-Channel Analysis. – Cham : Springer, 2020. – 90 с.
10. Горєв В. М., Корнієнко В. І., ГусєвО. Ю. Адаптивна фільтрація: теорія та застосування: навч. посіб. / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 146 с.

УДК 004.4:681.5:536.5

С.М. Ткаченко[1], Д.Я. Маслов[1], В.О. Куліков[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО СТЕНДУ-МАКЕТУ ДІЛЯНКИ ТУНЕЛЬНОЇ КАМЕРИ НАГРІВУ

Анотація. Розглянуто макетоване технологічне обладнання, обладнання польового та керуючого рівнів кіберфізичних систем стенда-макета. Надано лінійні й кутові координати переміщення робочих органів технологічного обладнання для програмного керування. Запропоновано варіанти виконання дослідницьких і лабораторних робіт з керування ділянкою.

Ключові слова: *стенд-макет, тунельна камера нагріву, маніпулятор, конвеєр, кутові координати, лінійні координати, АРМ, перетворювач частоти.*

Вступ. Лабораторне обладнання в сучасних технічних університетах відіграє ключову роль у підготовці фахівців, що зумовлює необхідність розвитку лабораторій, пов’язаних з підготовкою фахівців у галузі інформаційних технологій. Такі лабораторії повинні включати в себе не лише спеціалізовані обчислювальні засоби й мережі, а й діючі макети технологічного обладнання [1]. Тематична лабораторія обладнання Siemens готується до відкриття в НТУ «Дніпровська політехніка». Один з діючих макетів являє собою тунельну камеру нагріву з конвеєром та маніпулятором для переміщення деталей між конвеєром цього ж макету майданчиком деталей, а також конвеєром сусіднього стенду. Метою представленої роботи є дослідження можливостей обладнання макету й обчислювальних керуючих засобів з точки зору надання варіантів завдань для виконання лабораторних робіт здобувачами вищої освіти рівня “бакалавр” у галузях Інформаційні технології та Електрична інженерія.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- розглянути обчислювальні засоби й макетоване обладнання ділянки з тунельною камерою нагріву;
- розглянути наявне програмне забезпечення АРМ ділянки з тунельною камерою нагріву;
- дослідним шляхом встановити позиції й координати лінійних та кутових переміщень робочих органів обладнання ділянки;
- зробити висновки щодо варіантів впровадження навчальних лабораторних робіт зі стендом-макетом.

Основний зміст роботи. Стенд-макет який розглянуто у роботі, який фактично імітує ділянку подачі заготовок конвеєром до тунельної камери нагріву [2], обладнану роботом-маніпулятором з трьома ступенями свободи [3]. Світлина з обладнанням показана на рисунку 1.

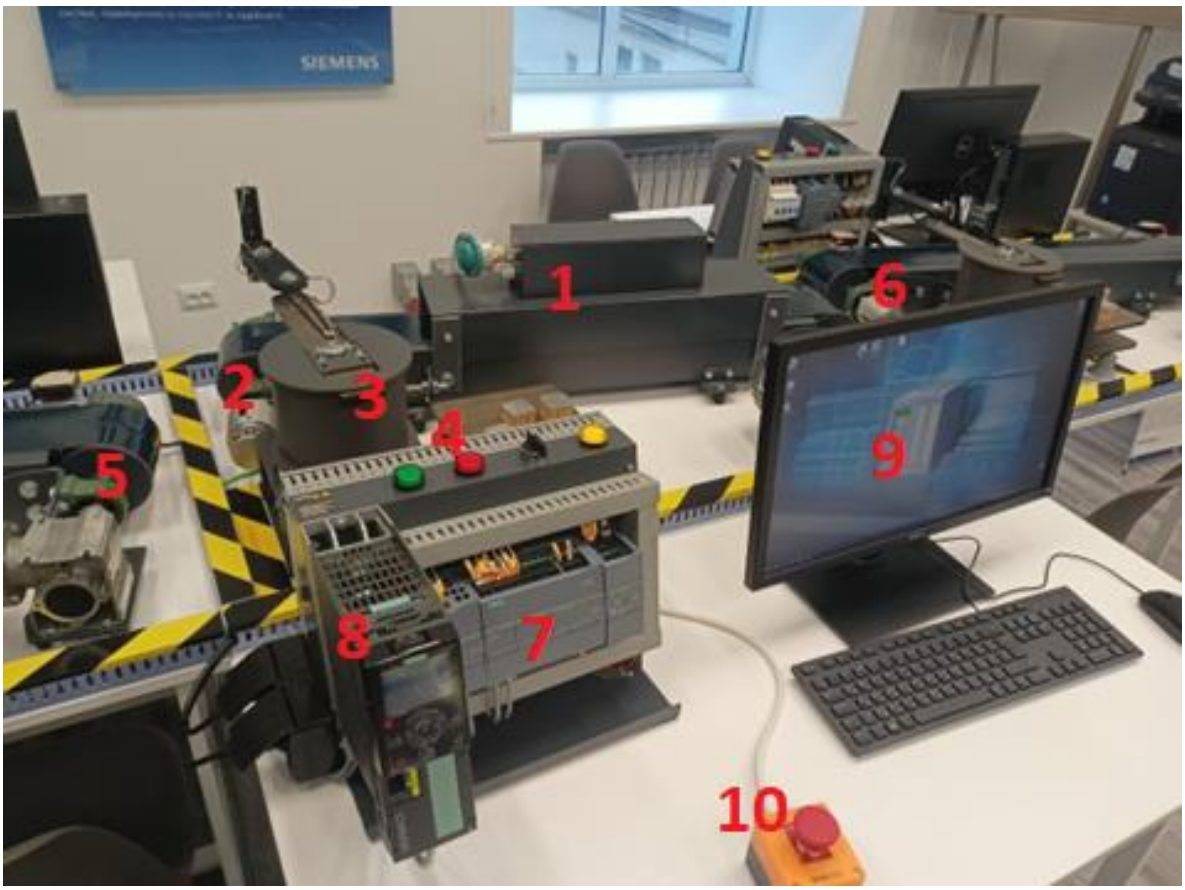

Рис. 1. Обладнання стенду-макету з тунельною камерою нагріву: 1 – камера нагріву; 2 – конвеєр; 3 – робот-маніпулятор; 4 – майданчик із заготовками; 5, 6 – конвеєри сусідніх стендів; 7 – комплект контролера; 8 – частотний перетворювач; 9 – автоматизоване робоче місце; 10 – кнопка протиаварійного захисту

Згідно рисунка 1, стенд макет включає у свій склад:

- умовну камеру нагріву 1, обладнану термометром опору від Siemens 7MC7511-1CA01-0AA1-Z E00+T10+Y01 [4] з виходом 0…20 мА, керованим вентилятором охолодження та керованим нагрівальним елементом;
- конвеєр 2 з енкодером та трифазним асинхронним приводом, котрі частково видно на світлині. Енкодер за умови наявності відповідного засобу керування електроприводом дозволяє переміщувати заготовки на конвеєрі на задану відстань;
- робот-маніпулятор 3 з трьома ступенями свободи, який позиціонується кроковими двигунами, підключеними до драйвер крокового двигуна TB6560 [5], на який необхідно подавати імпульсні сигнали переміщення та дискретні напряму від керуючого контролера;
- майданчик 4, куди маніпулятор може покласти заготовку, а може і забрати. Заготовки мають металеві пластини, а маніпулятор для їх захоплення використовує, відповідно, електромагніт;

- конвеєр 5 не входить безпосередньо до складу саме цього стенду-макету, але може бути використаний як точка приймання чи відвантаження заготовки. На конвеєрі 5 видно електропривод, аналогічний тому, що використаний на конвеєрі 2;
- комплект контролера 7, до якого входять процесор CPU 1215 DC/DC/DC, модуль введення аналогових сигналів CM 1231, промисловий комутатор PROFINET [6], блок живлення на 24 В;
- перетворювач частоти 8 типу SINAMICS G120 [7], який з однієї фази живлення формує три фази для керування електроприводом і дозволяє задавати швидкість конвеєра, напрямок його руху та відстань, на яку повинна переміщуватись заготовка на конвеєрі. Перетворювач частоти знаходиться в одній підмережі PROFINET з контролером 7, що дозволяє останньому керувати перетворювачем;
- автоматизоване робоче місце 9 оператора ділянки, і воно ж автоматизоване робоче місце програміста для виконання завдань лабораторної роботи;
- кнопка протиаварійного захисту 10 з самофіксацією, яка автономна від комплекту контролера й дозволяє зупинити всі рухомі елементи стенду у випадку помилок програми для запобігання псуванню обладнання.

У результаті розгляду наявного обладнання стенду-макету, встановлено наступне:

- відстань, напрямок й швидкість переміщення конвеєра можна задавати за допомогою частотного перетворювача. Зворотній зв'язок при цьому – енкодер;
- кути переміщення й вертикальне лінійне переміщення органу маніпулятора не має зворотного зв’язку, але задається серіями імпульсів на кроковий двигун;
- один імпульс від енкодера та один імпульс, переданий на кроковий двигун вертикального лінійного переміщення маніпулятора складає 1 мм;
- координати на всі переміщення заготовки заздалегідь невідомі.

Тим не менш, комплект контролера має попереднє програмне забезпечення, що дозволяє керувати переміщеннями виконавчих органів за завданням. Також АРМ в режимі оператора має графічний інтерфейс для ручного керування, показаний на рисунку 2.

Наявні програмні інструменти дозволили визначити позиції, показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Технологічні позиції конвеєра

Позиція	**Назва позиції (Технологічна точка)**	**Координати**	**Примітки**
1	Початкове положення	0	Старт стрічки
2	Робоча зона камери нагріву	420	Центр тунельної камери
3	Кінцеве положення	840	Кінець стрічки

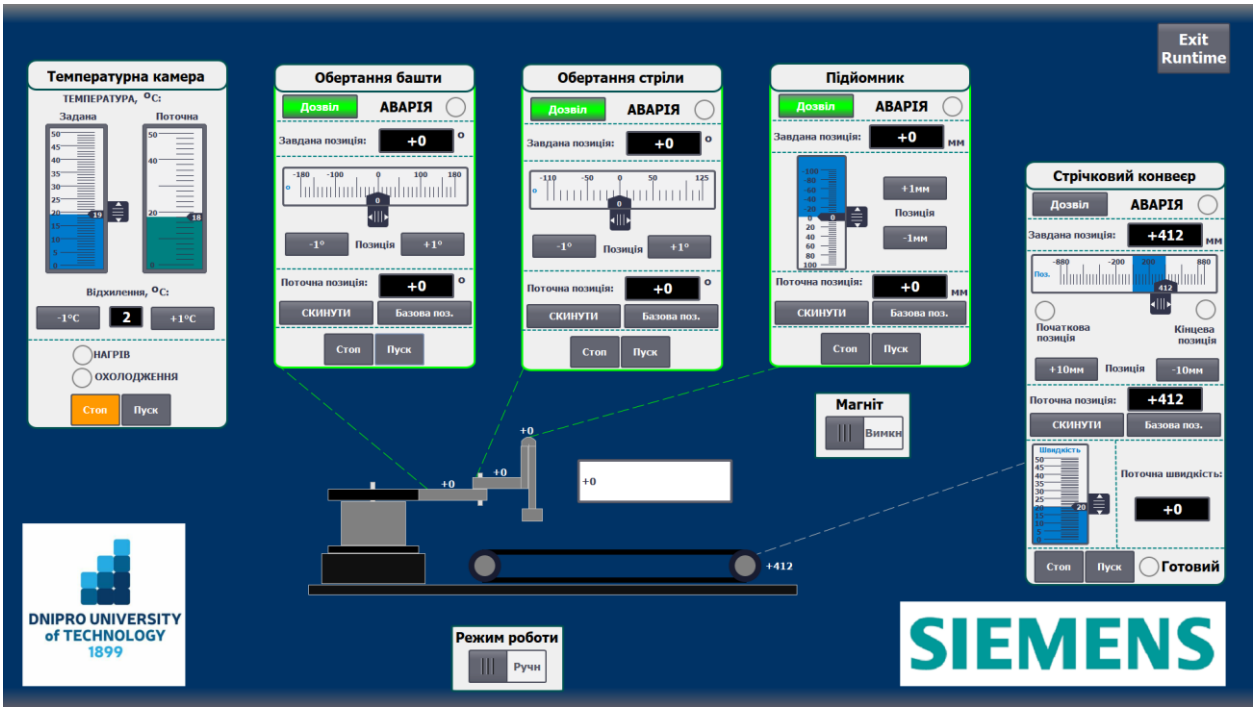

Рис. 2. Графічний інтерфейс АРМ оператора стенду-макету тунельної камери нагріву

Також, за умови введення деякого початкового положення маніпулятора та початкового положення заготовки на майданчику вдалося експериментальним шляхом визначити прямокутні та полярні координати для переміщення виконавчого органу маніпулятора представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Координати для переміщення виконавчого органу маніпулятора

Позиція	**Значення**			**Примітки**
	Башта	**Стріла**	**Підйомник**	
1	0	0	0	Базова (початкова) позиція
2	-8	23	40 52 74	Захоплення заготовки з конвеєра
3	62	23	20 32 52	Вивантаження заготовки на сусідній конвеєр

Початкова позиція маніпулятора показана на рисунку 3.

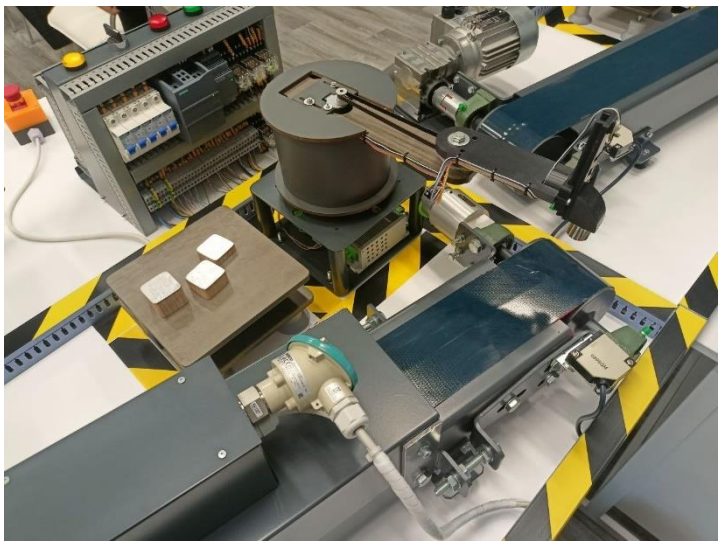

Рис.3. Зовнішній вигляд башти та стрілки

Висновки. Проведені дослідження дозволяють запровадити низку лабораторних робіт керування ділянкою з переміщенням за наступними маршрутами:

1. Маршрут "Автоматизована термообробка" Цей сценарій передбачає роботу виключно конвеєра та камери нагріву.

- Опис: Заготовка встановлюється на початок стрічки (0 мм). Задається переміщення в зону нагріву (420 мм), де відбувається імітація технологічного процесу (нагрів). Після завершення процесу конвеєр переміщує деталь у зону вивантаження до маніпулятора в кінець лінії (840 мм).

2. Маршрут "Завантаження лінії з вагової платформи" Сценарій відпрацьовує взаємодію маніпулятора з периферійним обладнанням.

- Опис: Маніпулятор переміщується до вагової платформи (Башта: -57°, Стріла: -97°, Підйомник: 40 мм) та виконує захват заготовки. Далі відбувається підйом і транспортування до стрічки конвеєра. Деталь укладається на конвеєр у точці завантаження (Башта: -9°, Стріла: 23°), після чого конвеєр транспортує її в камеру нагріву.

3. Маршрут "Сортування та між стендова передача" Найбільш комплексний сценарій, що поєднує роботу конвеєра та маніпулятора для передачі деталі на сусідній модуль.

- Опис: Конвеєр доставляє пройдену термообробку деталь у точку забору (420 мм). Маніпулятор виконує точне позиціювання для захвату деталі зі стрічки (Башта: -9°, Стріла: 23°, Підйомник: 40 мм). Після захвату маніпулятор транспортує заготовку до сусіднього стенду (Башта: 62°, Стріла: 23°), де підйомник опускається на висоту 50 мм, після чого електромагніт вимикається і деталь залишається на іншому конвеєрі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ткаченко С. М. Обґрунтування методу детермінації поточного стану колісного робота відносно направляючої // Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини :

матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 26–28 квіт. 2023 р.). – Одеса : Олді+, 2023. – Т. 1. – С. 216–220.
2. Автоматичні лінії з виробництва гарнійського лаваша [Електронний ресурс] // UTF GROUP. – Режим доступу: https://utf-group.com/ua/garny-lavash-line/ (дата звернення: 27.11.2025).
3. Ткаченко С., Бешта Д., Бешта Л. Результати дослідження та впровадження у навчальний процес моделі-симулятора автоматизованої фабрики // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – 2023. – № 2. – С. 81–89.
4. SITRANS TS500 Temperature sensor : 7MC7511-1CA01-0AA1-Z E00+T10+Y01 [Електронний ресурс] / Siemens AG. – Режим доступу: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/se/Catalog/Product/?mlfb=7MC7511-1CA01-0AA1-Z%20E00 (дата звернення: 02.12.2025).
5. TOSHIBA Semiconductor. TB6560FG: PWM Chopper-Type Bipolar Stepping Motor Driver IC [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/184216/TOSHIBA/TB6560FG.html (дата звернення: 02.12.2025).
6. Siemens AG. S7-1200 Programmable controller – Technical specifications [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109759862?c=113639392267&lc=en-WW (дата звернення: 02.12.2025).
7. Siemens AG. SINAMICS G120 Inverter with CU240B-2 and CU240E-2 Control Units: Operating Instructions. Edition 07/2010 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://support.industry.siemens.com/cs/document/50815575/sinamics-g120-inverter-with-cu240b-2-and-cu240e-2-control-units?dti=0&lc=en-mw (дата звернення: 02.12.2025).

УДК 004.4:681.5:536.5

Д.О. Бешта[1], Г.Д. Мозговий[1], О.М. Рудь[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІЛЯНКИ ЗВАЖУВАННЯ І СОРТУВАННЯ ЗАГОТОВОК

Анотація. Розглянуто макетоване технологічне обладнання, датчики, виконуючі органи, керуюче обладнання кіберфізичної системи стенду-макету. Надано лінійні й кутові координати переміщення робочих органів технологічного обладнання для керування за допомогою програми. Запропоновано варіанти виконання практичних завдань з керування ділянкою зважування і сортування.

Ключові слова: *промислові мережі, програмований логічний контролер, архітектура систем, граф автомата, графічний інтерфейс користувача.*

Вступ. Провідні технічні університети дбають про те, щоб студенти мали змогу працювати не лише над теоретичною складовою навчальної програми, але й над вирішенням проблемних інженерно-проєктних задач. Такий підхід стимулює творче мислення студентів та привчає до організованої, відповідальної роботи над технічними завданнями, покращує розуміння автоматизації в промисловості.

Апаратно-програмне цифрове керування виробничими процесами в сучасній промисловості покладено на промислові логічні контролери. Під час виконання представленої роботи використовувалось промислове обладнання Siemens, зокрема контролер CPU 1215 з модулями розширення та частотний перетворювач Sinamics G120, які входять до складу системи керування стенду-макету ділянки сортування демонстраційної установки в предметній лабораторії навчального центру Siemens в НТУ «Дніпровська політехніка». Ділянка являє собою терези для зважування заготовок, маніпулятор, для їх переміщення, та конвеєр, керований частотним перетворювачем.

Метою представленої роботи є дослідження обладнання стенду-макету ділянки зважування і сортування заготовок, включаючи промислові засоби автоматизації з точки зору його використання під час для практичного навчання здобувачів вищої освіти рівня “бакалавр” у галузях Інформаційні технології та Електрична інженерія.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- проаналізувати можливості обладнання стенду-макету з точки зору можливостей виконання дій з сортування заготовок за вагою;
- розглянути наявне програмне забезпечення АРМ ділянки зважування і сортування;
- дослідним шляхом встановити позиції й координати лінійних та кутових переміщень робочих органів обладнання ділянки;
- запропонувати варіанти керування переміщенням заготовок з використанням обладнання стенда-макета у процесі сортування;
- оцінити та покращити графічний інтерфейс користувача.

Основний зміст роботи. Стенд-макет імітує ділянку сортування заготовок за вагою, на якій застосовано маніпулятор [1]. Зовнішній вигляд стенду-макету показано на рисунку 1.

Згідно рисунка 1, стенд-макет включає у свій склад:

- терези 1 (або ваги 1) із застосуванням тензодатчика з контролером зважування Siwarex WP231 [2], які дозволяють зважувати заготовки з точністю до 1 грама;
- конвеєр 3 з енкодером та трифазним асинхронним приводом, які частково видно на рис. 1. Енкодер використано в якості засобу зворотного зв’язку для перетворювача частоти Sinamics G120 [3], що дозволяє переміщувати заготовки на конвеєрі на задану відстань;
- конвеєр 2 входить до складу іншого стенду-макету, але його використано як одне з місць приймання чи вивантаження заготовки;
- робот-маніпулятор 4 з трьома ступенями свободи, часто використовується на навчальних стендах-макетах [4]. Цей варіант реалізації використовує крокові двигуни, підключеними до спеціалізованого модуля керування[5], на який необхідно подавати імпульсні сигнали переміщення та дискретні напряму від контролера;

- заготовки, які містять металеві вставки для захоплення їх електромагнітом маніпулятора, які мають три різні номінали ваги ;
- комплект контролера 7, до якого входять процесор CPU 1215 DC/DC/DC, модуль введення аналогових сигналів СМ 1231, промисловий комутатор PROFINET [6], блок живлення на 24 В;
- перетворювач частоти 8 типу Sinamics G120 [3], який формує три фази живлення електроприводу керованої частоти, що дозволяє задавати напрямок руху і швидкість конвеєра, а також відстань, на яку повинна переміщуватись заготовка. Перетворювач частоти знаходиться в одній підмережі PROFINET з контролером 7, що дозволяє останньому керувати перетворювачем;
- автоматизоване робоче місце 8 оператора ділянки, і воно ж автоматизоване робоче місце програміста для виконання практичних і дослідницьких робіт;
- кнопка протиаварійного захисту з самофіксацією, яка дозволяє зупинити всі рухомі елементи стенду у випадку помилок програми для запобігання псуванню обладнання. На рисунку 1 не показана.

Рис. 1. Обладнання стенду-макету ділянки сортування: 1 – терези; 2 – конвеєр сусіднього стенду; 3 – конвеєр поточного стенду; 4 – робот-маніпулятор; 5 – перетворювач частоти; 7 – комплект контролера; 8 – автоматизоване робоче місце; 9 – кнопка протиаварійного захисту

У результаті огляду наявного обладнання стенду-макета, виявлено наступне:

- відстань, напрямок й швидкість переміщення конвеєра можна задавати за допомогою частотного перетворювача. Зворотній зв’язок при цьому забезпечує енкодер;
- кути переміщення й вертикальне лінійне переміщення органу маніпулятора не мають зворотного зв’язку, але задаються серіями імпульсів на кроковий двигун;
- один імпульс від енкодера конвеєра та один імпульс, переданий на кроковий двигун вертикального лінійного переміщення маніпулятора, складає 1 мм;
- координати для всіх переміщень заготовки заздалегідь невідомі;
- АРМ має графічний інтерфейс для ручного керування, показаний на рисунку 2.

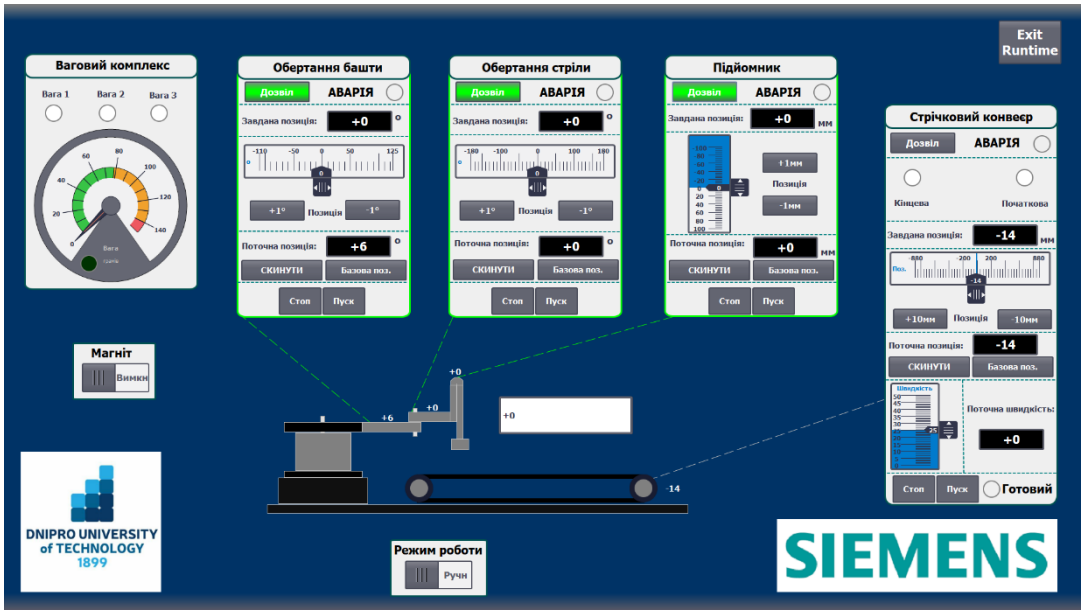

Рис. 2. Графічний інтерфейс АРМ оператора стенду-макету ділянки зважування

За допомогою АРМ оператора вдалося встановити координати позицій точок зупинок конвеєра, представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Координати позицій точок зупинок конвеєра ділянки зважування і сортування

Позиція	Значення	Примітки
“1”	0	Початкова позиція конвеєра; спрацьовує оптичний датчик початку конвеєра.
“2”	–900	Кінцева позиція конвеєра; спрацьовує оптичний датчик кінця конвеєра.

Було призначене деяке початкове положення маніпулятора, а також точні місця розташування заготовок на зважувальній поверхні терезів та конвеєрах 2, 3. Це дозволило експериментальним шляхом визначити прямокутні та полярні координати для переміщення виконавчого органу маніпулятора, які представлені у табл. 2.

Розташування заготовки та виконавчих органів маніпулятора, яке відповідає кожній з наведених у табл. 2 позицій, схематично показане на рис. 3.

Таблиця 2

Координати для переміщення виконавчого органу маніпулятора

Позиція	Значення Стріла	Башта	Підйомник	Примітки
“O”	0	0	0	Початкова (базова) позиція
“A”	−95	−55	54 66 88	Захоплення заготовки з вагів: розмір 1 розмір 2 розмір 3
“B”	−15	+35	≈35 ≈25 ≈15	Вивантаження на конвеєр 3 : розмір 1 розмір 2 розмір 3
“C”	0	+45	≈35 ≈25 ≈15	Вивантаження на конвеєр 2 : розмір 1 розмір 2 розмір 3

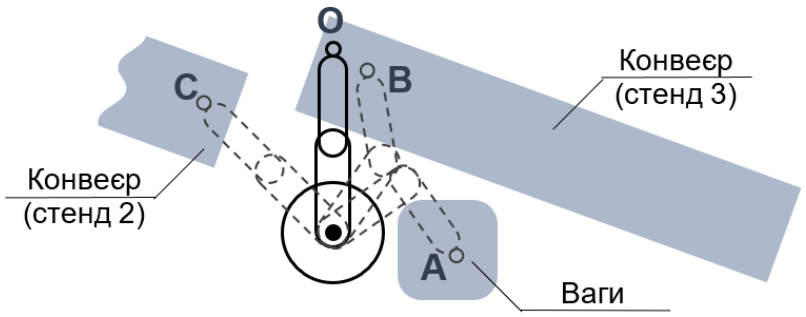

Рис. 3. Схема з позиціями позиції маніпулятора – вигляд у плані

Висновки. Проведені дослідження дозволяють запровадити низку практичних завдань з переміщення за наступними сценаріями:

1. Зважування й класифікація заготовок на терезах, перенесення їх на конвеєр 1 з подальшим переміщенням їх на різні відстані;

2. Зважування й класифікація заготовок на терезах, перенесення їх на конвеєр 1 або 2 в залежності від отриманих результатів зважування із подальшим переміщенням;

3. Захоплення заготовок з конвеєра 2, зважування й класифікація, перенесення на конвеєр 1 з подальшим переміщенням їх на різні відстані;

4. Захоплення заготовок з конвеєра 1, зважування й класифікація, повернення на конвеєр 1 з подальшим переміщенням їх на різні відстані;

5. Захоплення заготовок з конвеєра 1, зважування й класифікація, перенесення їх на конвеєр 1 або 2 в залежності від отриманих результатів зважування із подальшим переміщенням.

Звичайно, можуть бути реалізовані й комбінаторні сценарії з вищеназваних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. JR Automation. Robotic Warehouse Sortation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.jrautomation.com/industries/warehouse-logistics/robotic-sortation-systems (дата звернення: 13.01.2026).
2. SIEMENS. SIWAREX WP231 – Weighing Module for SIMATIC S7-1200 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/siwarex-wp231.html (дата звернення: 13.01.2026).
3. SIEMENS. SINAMICS G120: List Manual. Control Units CU240B-2/CU240E-2 (ред. 02/2023) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/919/109817919/att_1133702/v1/G120_CU240BE-2_list_man_0223_en-US.pdf (дата звернення: 13.01.2026).
4. Ткаченко С., Бешта Д., Бешта Л. Результати дослідження та впровадження у навчальний процес моделі-симулятора автоматизованої фабрики // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – 2023. – № 2. – С. 81–89.
5. TOSHIBA Semiconductor. TB6560FG: PWM Chopper-Type Bipolar Stepping Motor Driver IC [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/184216/TOSHIBA/TB6560FG.html (дата звернення: 02.12.2025).
6. Siemens AG. S7-1200 Programmable controller – Technical specifications [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109759862?c=113639392267&lc=en-WW (дата звернення: 02.12.2025).

УДК 004.75+004.67:681.5

С.М. Ткаченко[1], І.С. Лічман[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ЕСКІЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ТЕМПЕРАТУРИ СУШІННЯ КУКУРУДЗИ В ПОЧАТКАХ

Анотація. Представлено результат ескізного проектування кіберфізичної системи контролю та обліку температури сушіння кукурудзи в початках для сушарки камерного типу у вигляді схеми фунціональної автоматизації та схеми фунціональної структури.

Ключові слова*: камерна сушарка, качани кукурудзи, криві сушіння, система контролю та обліку температури, вологість, період сушіння, агент сушіння, схема автоматизації, функціональна структура.*

Вступ. Щоб отримати високоякісний посівний матеріал, українські насіннєві заводи здійснюють сушіння кукурудзи в качанах із використанням камерних сушарок. Крім зменшення вологості, сушіння качанів запускає в зерні низку біологічних і біохімічних процесів, які позитивно впливають на якість насіння, зокрема на його схожість та енергію проростання. Використання сушарок інших, у тому числі не камерних типів сушарок, які здійснюють сушіння у гравітаційно рухомому шарі, вважається недоцільним, оскільки вони спричиняють значне травмування зерна, що негативно впливає на властивості посівного матеріалу.

Для визначення вологості зерна здійснюється вимірювання температури агента сушіння на вході виході з камер, а також температур продукту у характерних місцях камер. На виході агент сушіння вже віддав частину температури качанам, і натомість містить випарувану вологу. Такий метод нині вважається єдиним більш-менш об’єктивним, коли мова йде саме про безперервне оперативне вимірювання нерухомого матеріалу в камерах. Необхідність проведення постійного вимірювання температури в умовах, несприятливих для людини, зумовлює потребу у створенні спеціалізованої системи.

Мета представленої роботи – розробка кіберфізичної системи збору, підготовки й відображення поточної й динаміки температури агенту сушіння й качанів кукурудзи в камерах під час сушіння.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- викласти конструкцію і принцип роботи сушарки качанів у початках;
- викласти технологічні етапи сушіння кукурудзи і їх характерні ознаки;
- виконати ескізне проектування апаратного рішення кіберфізичної системи до рівня функціональної схеми автоматизації;
- виконати ескізне проектування програмно-технічного рішення кіберфізичної системи до рівня схеми функціональної структури;

- зробити висновки щодо можливості переходу до технічного проєктування кіберфізичної системи.

Основний зміст роботи. Для ескізного проєктування розглянемо камерну сушарку СКП-6, яка працює на газовому або дизельному генераторі тепла і створює робочі температури 35-50°С в залежності від вологості матеріалу в камерах. Тут в якості агенту сушіння використовується повітря, підігріте у калориферах. Повітря у камери подається за допомогою вентиляторів, частина повітря використовується для рекуперації.

Основні елементи сушарки показано на рисунку 1.

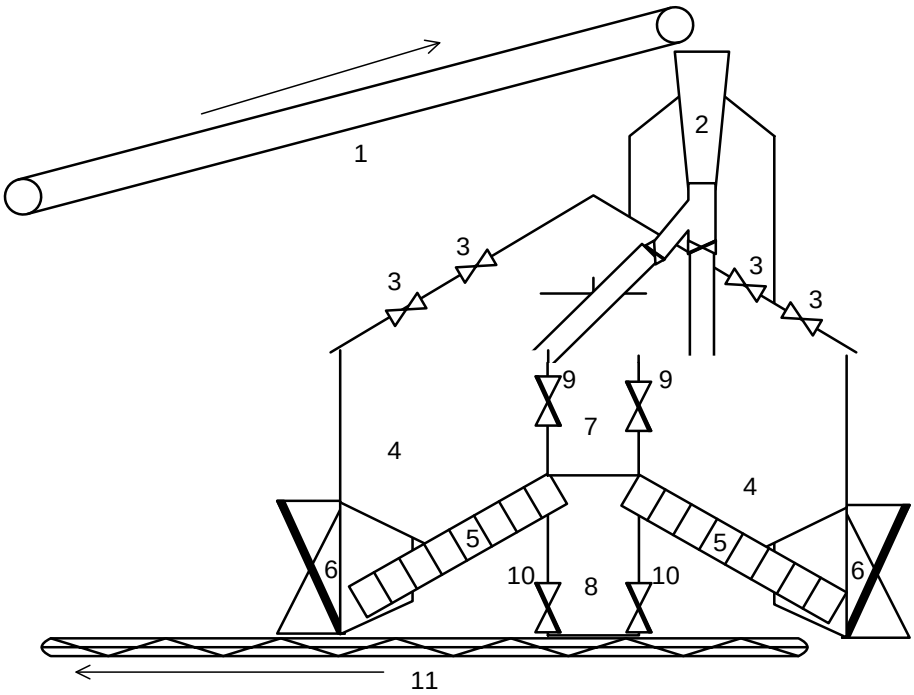

Рис. 1. Основні елементи сушарки СКП-6: 1 – завантажувальний транспортер; 2 – завантажувальний люк; 3 – випарювальні люки; 4 – сушильні камери; 5 – гратчасті дерев'яні днища сушильних камер; 6 – вивантажувальні люки; 7 – верхній коридор теплоносія; 8 – нижній коридор теплоносія; 9,10 – люки для подачі агенту сушки у камеру; 11 – розвантажувальний транспортер відходів

Принцип роботи сушарки полягає в тому, що сушильний агент із температурою +40…44 °С надходить у центральний коридор, звідки за допомогою вентиляторів проходить крізь чотири сушильні камери.

Для висушування кукурудзяних качанів із початковою вологістю близько 35% при температурі сушильного агента 41 °С сушарці СКП-6 необхідно 72–90 годин, щоб довести їхню вологість до рівня 15%. Насіннєві качани з вологістю 25% за тих самих умов сушіння потребують 50–60 годин. Для гібридів кукурудзи, стійких до перегрівання, допускається застосування теплоносія з температурою 46 °С. Хід процесу сушіння зерна може бути відображений кривими, наведеними на рисунку 2.

Згідно рисунка 2, після інтенсивного нагрівання матеріалу до температури сушіння (відрізок А1В1) починається перший період – період постійної швидкості сушіння. У цей час температура матеріалу відповідає відрізку В1С1 на температурній кривій, а вся підведена теплота витрачається на випаровування вільної вологи. Ділянка постійної швидкості сушіння відображається прямим відрізком ВС лінією з незмінним нахилом. Він триває до моменту досягнення критичної вологості, після чого настає період зниження швидкості, показаний кривою СЕ. В цей же період температура матеріалу зростає за кривою С1Е1. На цьому етапі важливо уникати перегріву, тому сушарки мають обмеження щодо кількості вологи, яку можна вилучити за один цикл. Наприкінці процесу вологість наближається до майже рівноважного значення, при якому припиняється подальше видалення вологи. На рисунку 2 не відображено третій період, під час якого вже не проводять нагрівання зерна. За цей період, охолоджуючись до температури не вище, ніж на 10 °С від навколишнього середовища, зерно виділяє залишкову вологу в межах 1–2%.

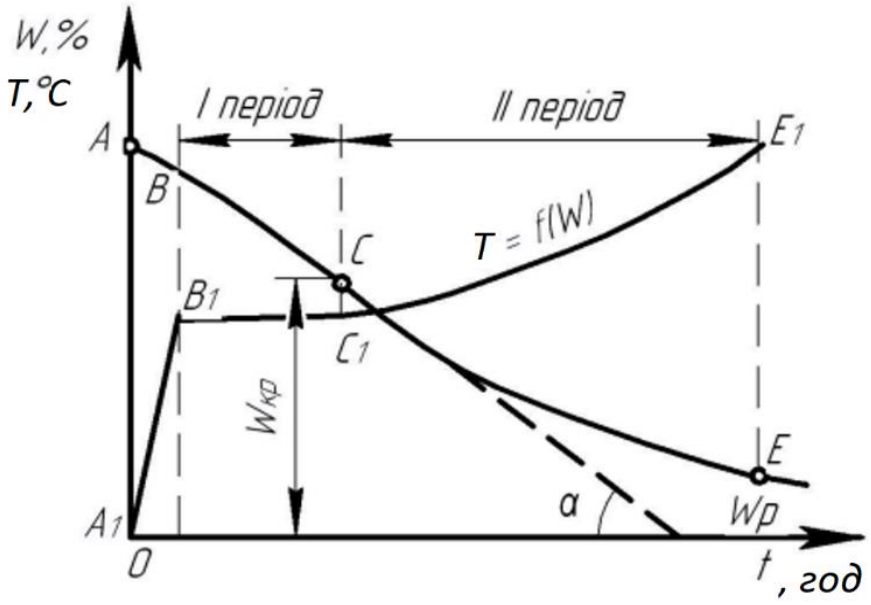

Рис. 2. Криві сушіння

Як показано, процес сушіння у сушарці СКП-6 є тривалим і потребує постійного контролю температур і сушильного агента, і качанів.

В результаті аналізу конструкції, принципу роботи обладнання сушарки, характерних точок вимірювання температур агенту сушіння й качанів кукурудзи, було сформовано функціональну схему автоматизації, показану на рисунку 3.

Згідно рисунка 3, сушарка СКП-6 має 16 точок вимірювання температури матеріалу, 2 точки вимірювання температури агенту сушіння, а також точку для вимірювання температури навколишнього середовища. Разом 19 точок, для яких пропонуємо використовувати термометри опору з мідним чи платиновим чутливим елементом зі шкалою Pt100, як найбільш тривіальне технічне рішення, що підходить до умов роботи сушарки. Варто врахувати, що розроблювана

кіберфізична система повинна надавати погодинні дані з температури у лабораторію якості, де їх вносять у журнали якості на партію посівної кукурудзи. З іншого боку, дані мають надходити і на робоче місце сушильного майстра, для того щоб він міг правильно керувати подачею агенту сушіння й витратами енергоносія. На схемі автоматизації враховано ці потреби за допомогою функціональних елементів блоків UIRHS2 і UIRHS1 відповідно.

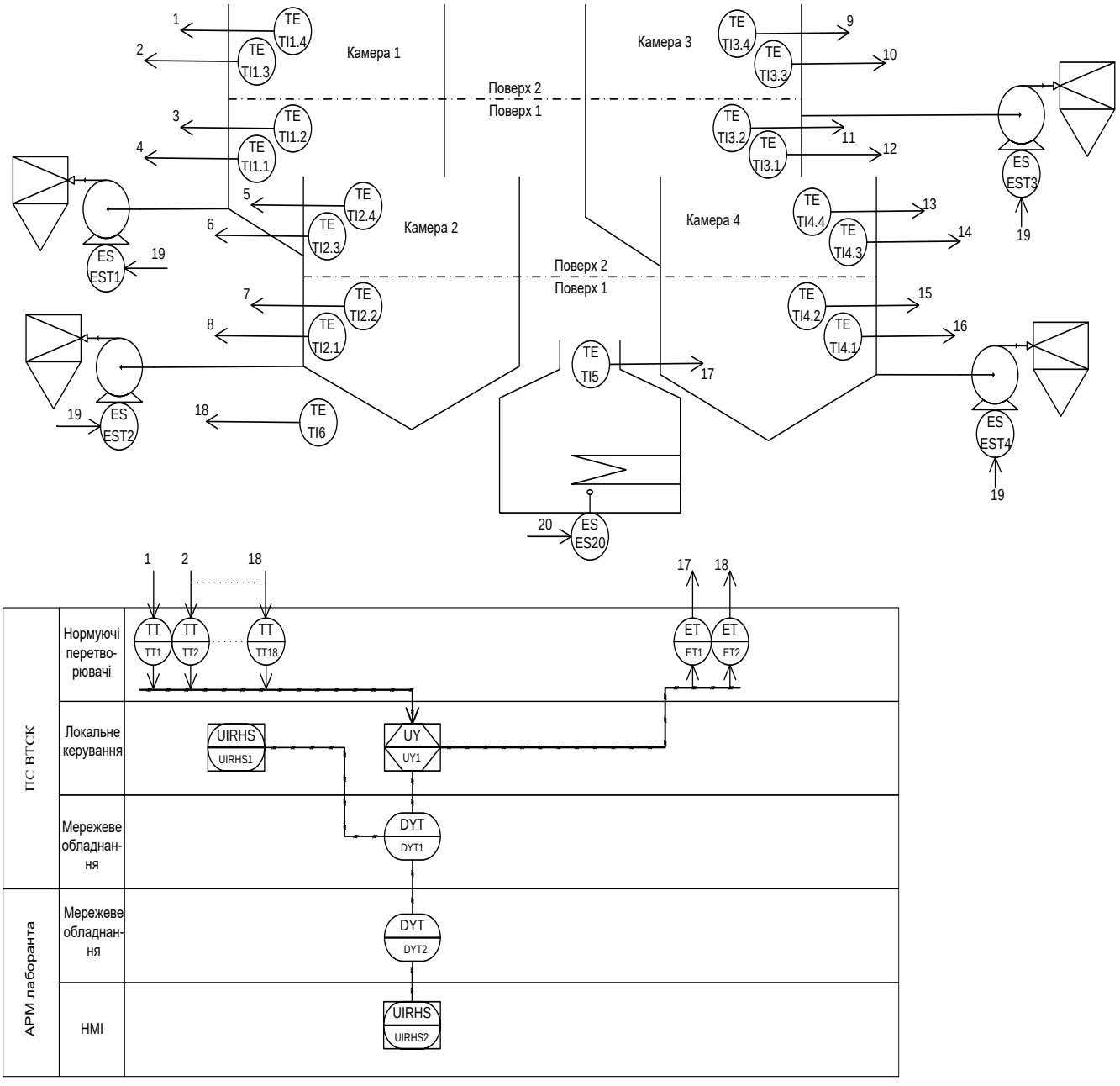

Рис. 3. Функціональна схема автоматизації для кіберфізичної системи контролю та обліку температури сушіння кукурудзи в початках

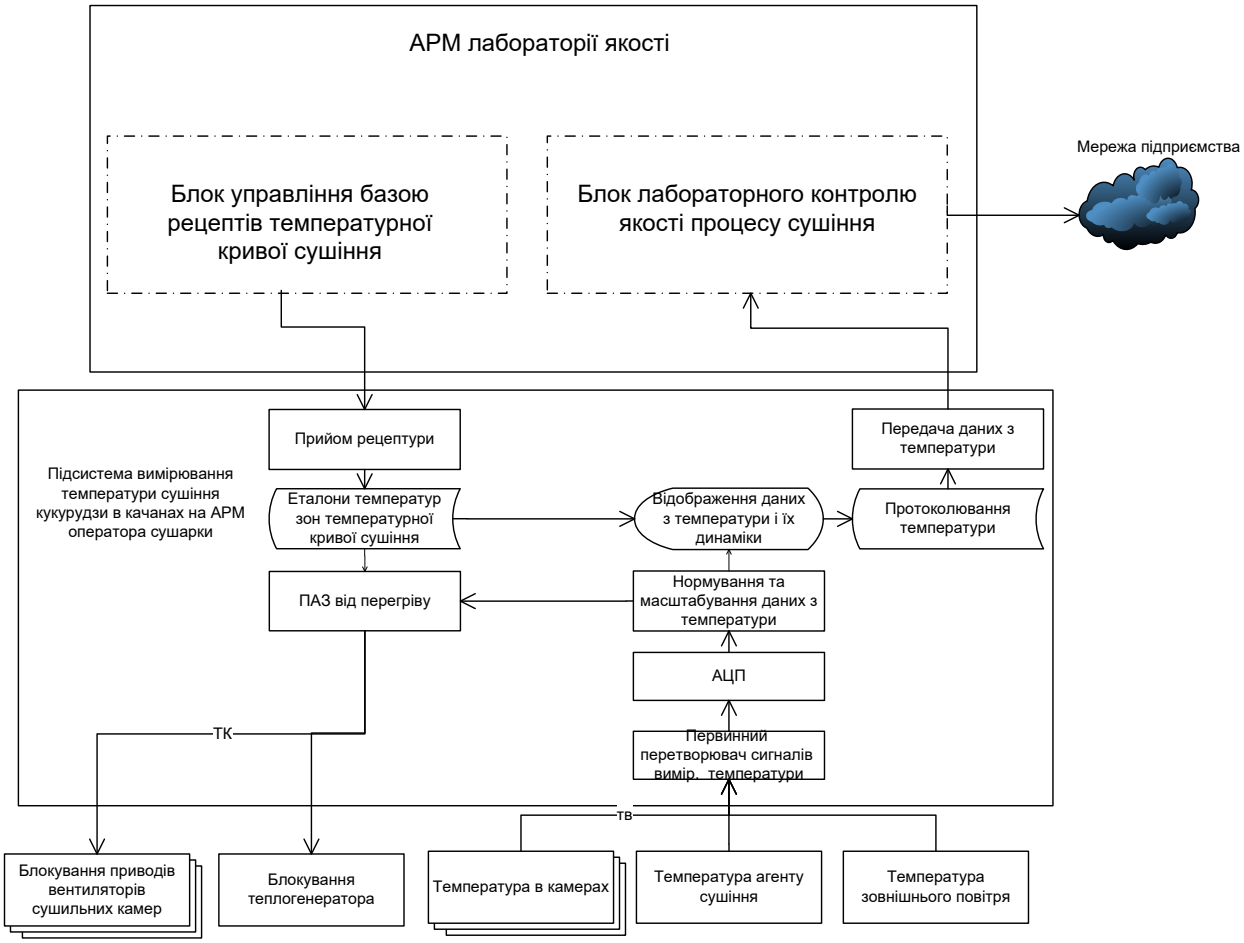

Рис. 4. Схема функціональної структури кіберфізичної системи контролю та обліку температури сушіння кукурудзи в початках

Подальше вивчення процесів сушки і використання обладнання сушарки СКП-6 дозволяє створити наступний перелік функцій кіберфізичної системи контролю та обліку температури сушіння кукурудзи в початках:

- вимірювання температур сушіння у контрольних точках камер сушарки;
- вимірювання температури агенту сушки сушарки;
- вимірювання температури зовнішнього повітря;
- відображення вимірюваних температур і їх динаміки на АРМ термометрії сушарки;
- ведення протоколу вимірювання температур на АРМ термометрії сушарки;
- керування технологічними еталонами температур для детекції зон температурної кривої;
- блокування роботи вентиляторів та теплогенератора у випадку виявлення неприпустимих технологічних показників;
- подачу інформації на АРМ термометрії сушарки про поточну зону температурної кривої;
- надання доступу до протоколу термометрії на АРМ лабораторії якості й формування звітності.

Висновки. В результаті проведеної роботи було побудовано схему функціональну автоматизації кіберфізичної системи контролю та обліку

температури сушіння кукурудзи в початках, яка дозволяє перейти до обґрунтування елементної бази й технічного проєктування схеми структурної обладнання системи. Також на основі переліку запланованих функцій системи створено схему функціональної структури системи, яка є основою для подальшої розробки алгоритмів і апаратно-програмного рішення технічного проєкту кіберфізичної системи

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сушіння та транспортування кукурудзи в початках [Електронний ресурс] / Компанія Grain Capital. – Режим доступу: https://zeo.ua/article/sushinnya-ta-transportuvannya-kukurudzi-v-pochatkah?form=MG0AV3 (дата звернення: 14.11.2025).
2. Кирпа М. Я., Пащенко Н. О. Прийоми енергозбереження в технології сушіння насіння кукурудзи [Електронний ресурс] / Інститут зернових культур НААНУ. – Режим доступу: https://institut-zerna.com/library/pdf37/1.pdf?form=MG0AV3&form=MG0AV3 (дата звернення: 14.11.2025).
3. Бойко В. С., Буденко С. Ф. Конструкція та розрахунки параметрів камерної сушарки: методичні вказівки для студентів спеціальності 8.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» ОКР «Бакалавр» / Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2016. – 23 с. – Режим доступу: konstrukcija-ta-rozrahunky-kamernoyi-susharky.pdf (дата звернення: 14.11.2025).
4. Ткаченко С. М. Обґрунтування технічного рішення для систем цифрової термометрії зерна на основі контролера Arduino // Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XVII міжнар. конф. (24 листопада 2022 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / ред. кол.: О. О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. – № 7. – С. 52–61. – Режим доступу: https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/39bd44c9-8e9d-46bc-9682-6064e184626e/content (дата звернення: 14.11.2025).
5. ДТСхх4. Термоопори з кабельним виводом [Електронний ресурс] / Контрольно-вимірювальні прилади та обладнання для автоматизації. Компанія АКУТЕК. – Режим доступу: https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/dtsxx4-termoopory-z-kabelnym-vyvodom (дата звернення: 14.11.2025).
6. Сушіння та транспортування кукурудзи в початках [Електронний ресурс] / Компанія Grain Capital. – Режим доступу: https://zeo.ua/article/sushinnya-ta-transportuvannya-kukurudzi-v-pochatkah?form=MG0AV3 (дата звернення: 14.11.2025).

УДК 004.85:004.75

П.В. Букреєв[1], Л.В. Кабак[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Дніпро, Україна

ПРОАКТИВНИЙ МЕХАНІЗМ АДАПТИВНОЇ КОМПРЕСІЇ ГРАДІЄНТІВ НА ОСНОВІ КРИВИНИ ПРОСТОРУ ВТРАТ

Анотація. Встановлено, що існуючі методи стиснення градієнтів, що базуються на статичних або простих адаптивних евристиках, є субоптимальними. Виявлено, що поширені адаптивні підходи є за своєю суттю реактивними, оскільки реагують на помилки навчання, що вже сталися. Запропоновано проактивний механізм керування стисненням, заснований на кривині простору втрат.

Ключові слова: розподілене глибоке навчання (DDL), компресія градієнтів, оптимізація другого порядку, кривина, Гесіан.

Вступ. Зростання складності моделей глибокого навчання (DL) потребує для їх тренування таких обчислювальних потужностей, що часто виходять за рамки того, що здатен забезпечити єдиний сервер з однією чи кількома відеокартами. Це природньо призвело до домінування парадигми розподіленого глибокого навчання (DDL), де обчислення розподіляються між кількома обчислювальними вузлами (серверами) [1].

Однак, при вирішенні проблеми масштабування обчислень шляхом введенням нового шару абстракції – вузлів, – на перший план виходить інше фундаментальне обмеження. Незалежно від обраної архітектури (синхронної [1] чи асинхронної [3]), виникає необхідність в обміні градієнтами між вузлами, де ефективність обмежується швидкістю комунікації. Пропускна здатність каналу, що використовується для синхронізації, стає домінуючим фактором, що обмежує ефективність та масштабованість системи. Для мінімізації цього обмеження широко застосовуються методи компресії (стиснення) градієнтів – наприклад, шляхом квантизації (зменшення бітності), розрідження (обнулення малих значень) або застосування низькорангових апроксимацій.

Аналіз існуючих рішень. Існуючі методи управління компресією градієнтів можна умовно розділити на дві категорії:

1. Статичні методи.

- Найпростіший підхід, при якому до всіх градієнтів застосовується фіксований оператор стиснення (наприклад, 8-бітна квантизація [2]).
- Такий підхід є «сліпим» до процесу навчання, він ігнорує факт того, що різні шари та параметри моделі мають різну чутливість до помилок, внесених стисненням. Застосування однакового рівня компресії до всіх компонентів часто призводить до субоптимального компромісу: менш агресивне стиснення покращує гарантію збіжності, але не дає значної економії трафіку, тоді як більш агресивне стиснення погіршує фінальну точність моделі.

2. Адаптивні методи.

- Більш просунутий підхід, де сила стиснення адаптується залежно від поточної динаміки навчання. Поширеною евристикою є аналіз динаміки функції втрат або величини самих градієнтів [4]. Наприклад, якщо функція втрат стабільно зменшується, система може посилити стиснення; якщо ж вона починає «стрибати», стиснення послаблюється для передачі більш точної інформації.
- Хоча ці методи враховують стан навчання, вони покладаються на спрощену евристику. Вони є механізмом компенсації помилки, що вже негативно вплинула на процес навчання, що може призводити до субоптимальних рішень. Наприклад, ступінь стиснення може снизитися у відповідь на «шум» у процесі стохастичного градієнтного спуску, або, навпаки, не захистити критичні компоненти градієнта на складному плато.

Постановка задачі. Аналіз показує, що хоча адаптивні методи [4] є значним кроком уперед порівняно зі статичними, їх фундаментальна природа залишається реактивною. Вони є механізмом компенсації помилки, що вже сталася і негативно вплинула на процес навчання. Такі методи реагують на симптом, а не на причину потенційної нестабільності.

Для досягнення кращого компромісу між економією трафіку та збереженням якості збіжності, система повинна діяти не реактивно, а проактивно. Вона має передбачати, які компоненти градієнта є найбільш важливими для наступного кроку оптимізації, і захищати саме їх від помилок, що вносить стиснення.

Для вирішення цієї задачі пропонується перейти від евристик, що базуються на минулому значенні функції втрат, до механізму, що базується на поточній геометрії (кривині) простору втрат.

Наукова новизна роботи полягає у формулюванні підходу, де інформація другого порядку (тобто інформація про кривину) використовується не для зміни самого градієнта (як в оптимізаторах другого порядку [5]), а для динамічної параметризації оператора стиснення.

Висновки. Перехід від «сліпих» до процесу навчання статичних методів стиснення градієнтів до адаптивних методів значно підвищує оптимальність компромісу між якістю збіжності та економією трафіку. Проте, аналіз показує, що поширені адаптивні методи є реактивними і покладаються на спрощені евристики, ігноруючи геометрію оптимізаційної задачі. У роботі запропоновано проактивний підхід, що використовує інформацію про кривину простору втрат (інформацію другого порядку) для динамічної оптимізації та параметризації оператора стиснення перед його відправкою. Очікується, що такий механізм дозволить отримати раніше недоступний, Pareto-оптимальний компроміс між точністю моделі та витраченими комунікаційними і обчислювальними ресурсами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Sergeev A.; Del Balso M. Horovod: fast and easy distributed deep learning in TensorFlow [Електронний ресурс] // arXiv. - 2018. - Режим доступу: https://arxiv.org/abs/1802.05799.

2. Alistarh D.; Grubić D.; Li J.; Tomioka R.; Vojnović M. QSGD: Communication-Efficient SGD via Gradient Quantization and Encoding // Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). - 2017. - С. 1709-1720.
3. Niu F.; Recht B.; Ré C.; Wright S. J. HOGWILD!: A Lock-Free Approach to Parallelizing Stochastic Gradient Descent // Advances in Neural Information Processing Systems 24 (NIPS 2011). - 2011. - С. 693-701.
4. Lin Y.; Han S.; Mao H.; Wang Y.; Dally W. J. Deep Gradient Compression: Reducing the Communication Bandwidth for Distributed Training [Електронний ресурс] // International Conference on Learning Representations (ICLR 2018). - 2018. - Режим доступу: https://arxiv.org/abs/1712.01887.
5. Martens J.; Grosse R. Optimizing Neural Networks with Kronecker-Factored Approximate Curvature // Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML 2015). - PMLR, 2015. - Т. 37. - С. 2408-2417.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алексєєв Михайло Олександрович – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Бешта Дмитро Олександрович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Букреєєв Павло Васильович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Варех Нона Вячеславівна – к.т.н., доцент кафедри мовних гуманітарних дисциплін ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна.

Горобець В.І. – студент магістратури, група КНТ-214м Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна.

Григоренко Назар Вікторович – аспірант другого року денної форми навчання кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Інженерно-технологічний факультет, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна.

Кабак Леонід Віталійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Камінський Денис Олексійович – студент магістратури, група КНТ-214м Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна.

Кремньов Володимир Володимирович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Куліков Віталій Олександрович – студент групи 123-23-2 кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Лічман Іван Сергійович – студент групи 123-23ск-1 кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Льовкін Валерій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри програмних засобів Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна.

Маслов Данило Ярославович – студент групи 123-23-2 кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Мозговий Гліб Дмитрович – студент групи 123-23-2 кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Послєд Ігор Сергійович – аспірант кафедри безпеки інформації та телекомунікацій НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Рудь Олексій Михайлович – студент групи 123-23-1 кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Ткаченко Сергій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Халимендик Олексій Володимирович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Чемерис Євген Дмитрович – магістр групи 122м-24-1 кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Янко Валентин Вікторович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

ЗМІСТ

Розділ 1. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ……..…. 4

1. **Aleksieiev M., Kremnov V.** Results of synthesis of a simulation-based computer technology for predictive control of grain crop moisture modes…….. 4
2. **Льовкін В.М., Горобець В.І.** Дослідження та програмна реалізація методів прогнозування плинності кадрів підприємства…… 8
3. **Чемерис Є.Д., Кабак., Л.В., Варех Н.В.** Створення системи управління електронними чергами з прогнозуванням часу очікування на базі мікросервісної архітектури в Kubernetes…….. 14
4. **Янко В.В., Халимендик О.В.** Сучасні інформаційні технології в будівництві……..… 18
5. **Григоренко Н.В.** Математичне моделювання транспортування сипких матеріалів спірально-гвинтовим транспортером……..…… 21
6. **Камінський Д.О., Льовкін В.М.** Розробка прикладної програми визначення випадків пневмонії на основі засобів машинного навчання та вебфреймворку……..…. 24
7. **Послєд І.С.** Розробка інтелектуальної трирівневої системи захисту кіберфізічних систем від витоку акустичної інформації ……. 29
8. **Ткаченко С.М., Маслов Д.Я., Куліков В.О.** Дослідження навчально-дослідного стенду-макету ділянки тунельної камери нагріву…… 35
9. **Бешта Д.О., Мозговий Г.Д., Рудь О.М.** Дослідження кіберфізичної системи ділянки зважування і сортування заготовок……. 40
10. **Ткаченко С.М., Лічман І.С.** Ескіз кіберфізичної системи контролю та обліку температури сушіння кукурудзи в початках…… 46
11. **Букреєв П.В., Кабак Л.В.** Проактивний механізм адаптивної компресії градієнтів на основі кривини простору втрат…… 52

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ……..……. 55

Наукове видання

XX Міжднародна конференція

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
В ОСВІТІ, НАУЦІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

Збірник наукових праць
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
№ 10 (друга частина)

Відповідальний за випуск та коректура
д.т.н., професор Леонід Іванович Мещеряков

Видано в редакції авторів публікацій.

Підп. до друку 01.12.2025. Формат 60×841/8.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Обл.-вид. арк. 73,3. Ум. друк. арк. 68,9.
Наклад 100 пр. Зам № 43

Підготовлено до друку НТУ «Дніпровська політехніка»,
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК №1842 від 11.06.2004 р.

Видавництво «Журфонд»
49001, Дніпро, вул. Старокозацька, 8.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК №684 від 21.11.2001 р.

Віддруковано ПП Вахмістров О.Є.
49001, Дніпро, вул. Писаржевського, 18.