

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

ISSN 2520-2057 (print)
ISSN 2520-2065 (online)

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»

№ 4 (183) / 2026



**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
«ІНТЕРНАУКА»
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»**

*Свідоцтво
про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
КВ № 22444-12344ПР*

Ідентифікатор медіа R30-03663

Збірник наукових праць

№ 4 (183)

Київ 2026



Повний бібліографічний опис всіх статей Міжнародного наукового журналу «Інтернаука» представлено в: **Index Copernicus International (ICI); Polish Scholarly Bibliography; ResearchBib; Turkish Education Index; Наукова періодика України.**

Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах наукових видань та наукометричних базах даних: Index Copernicus International (ICI); Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Open Academic Journals Index; Research-Bib; Turkish Education Index; Polish Scholarly Bibliography; Electronic Journals Library; Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky; InfoBase Index; Open J-Gate; Academic keys; Наукова періодика України; Bielefeld Academic Search Engine (BASE); CrossRef.

В журналі опубліковані наукові статті з актуальних проблем сучасної науки.

Матеріали публікуються мовою оригіналу в авторській редакції.

Редакція не завжди поділяє думки і погляди автора. Відповідальність за достовірність фактів, імен, географічних назв, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

У відповідності із Законом України «Про авторське право і суміжні права», при використанні наукових ідей і матеріалів цієї збірки, посилання на авторів та видання є обов'язковими.

Редакційна колегія:

Голова редакційної колегії: **Камінська Тетяна Григорівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Заступник голови редакційної колегії: **Курило Володимир Іванович** — доктор юридичних наук, професор, заслужений юрист України (Київ, Україна)

Заступник голови редакційної колегії: **Тарасенко Ірина Олексіївна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Розділ «Економічні науки»:

Член редакційної колегії: **Алієв Шафа Тифліс огли** — доктор економічних наук, професор, член Ради — науковий секретар Експертної ради з економічних наук Вищої Атестаційної Комісії при Президентові Азербайджанської Республіки (Сумгаїт, Азербайджанська Республіка)

Член редакційної колегії: **Баланюк Іван Федорович** — доктор економічних наук, професор (Івано-Франківськ, Україна)

Член редакційної колегії: **Бардаш Сергій Володимирович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Бондар Микола Іванович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Белялов Талят Енверович** — доктор економічних наук, доцент (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Вдовенко Наталія Михайлівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Гоблик Володимир Васильович** — доктор економічних наук, кандидат філософських наук, професор, Заслужений економіст України (Мукачеве, Україна)

Член редакційної колегії: **Гринько Алла Павлівна** — доктор економічних наук, професор (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Гуцаленко Любов Василівна** — доктор економічних наук, професор (Вінниця, Україна)

Член редакційної колегії: **Дерій Василь Антонович** — доктор економічних наук, професор (Тернопіль, Україна)

Член редакційної колегії: **Денисенко Микола Павлович** — доктор економічних наук, професор, член-кореспондент Міжнародної академії інвестицій і економіки будівництва, академік Академії будівництва України та Української технологічної академії (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Драган Олена Іванівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Еміне Лейла Кият** — доктор економічних наук, доцент (Туреччина)

Член редакційної колегії: **Єфіменко Надія Анатоліївна** — доктор економічних наук, професор (Черкаси, Україна)

Член редакційної колегії: **Заруцька Олена Павлівна** — доктор економічних наук, професор (Дніпро, Україна)

Член редакційної колегії: **Зеліско Інна Михайлівна** — доктор економічних наук, професор, академік Академії економічних наук України (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Зось-Кіор Микола Валерійович** — доктор економічних наук, професор (Полтава, Україна)

Член редакційної колегії: **Ільчук Павло Григорович** — доктор економічних наук, доцент (Львів, Україна)

Член редакційної колегії: **Карімкулов Жасур Іманбосевич** — доктор економічних наук, доцент (Ташкент, Республіка Узбекистан)

Член редакційної колегії: **Клочан В'ячеслав Васильович** — доктор економічних наук, професор (Миколаїв, Україна)

Член редакційної колегії: **Копилук Оксана Іванівна** — доктор економічних наук, професор (Львів, Україна)

Член редакційної колегії: **Кравченко Ольга Олексіївна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Курило Людмила Ізидорівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Кухленко Олег Васильович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Лойко Валерія Вікторівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Лоханова Наталя Олексіївна** — доктор економічних наук, професор (Львів, Україна)

Член редакційної колегії: **Малік Микола Йосипович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Мігус Ірина Петрівна** — доктор економічних наук, професор (Черкаси, Україна)

Член редакційної колегії: **Ніценко Віталій Сергійович** — доктор економічних наук, доцент (Одеса, Україна)

Член редакційної колегії: **Олійник Олександр Васильович** — доктор економічних наук, професор (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Осмятченко Володимир Олександрович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Охріменко Ігор Віталійович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Паска Ігор Миколайович** — доктор економічних наук, професор (Біла Церква, Україна)

Член редакційної колегії: **Разумова Катерина Миколаївна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Рамський Андрій Юрійович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Селіверстова Людмила Сергіївна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Смолін Ігор Валентинович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Сунцова Олеся Олександрівна** — доктор економічних наук, професор, академік Академії економічних наук України (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Танклевська Наталія Станіславівна** — доктор економічних наук, професор (Херсон, Україна)

Член редакційної колегії: **Токар Володимир Володимирович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Тульчинська Світлана Олександрівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Чижевська Людмила Віталіївна** — доктор економічних наук, професор (Житомир, Україна)

Член редакційної колегії: **Шевчук Ярослав Васильович** — доктор економічних наук, старший науковий співробітник, доцент (Нововолинськ, Волинська обл., Україна)

Член редакційної колегії: **Шинкарук Лідія Василівна** — доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НАН України (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Шпак Валентин Аркадійович** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Скриньковський Руслан Миколайович** — кандидат економічних наук, професор (Львів, Україна)

Член редакційної колегії: **Султонов Шерали Нуралиевич** — доктор філософії з економічних наук (PhD) (Ташкент, Республіка Узбекистан)

Член редакційної колегії: **Peter Bielik** — Dr. hab. (Словацька Республіка)

Член редакційної колегії: **Eva Fichtnerová** — University of South Bohemia in České Budějovice (Чеська Республіка)

Член редакційної колегії: **József Káposzta** — Dr. hab. (Угорщина)

Член редакційної колегії: **Henrietta Nagy** — Dr. hab. (Угорщина)

Член редакційної колегії: **Anna Törő-Dunay** — Dr. hab. (Угорщина)

Член редакційної колегії: **Mirosław Wasilewski** — Dr. hab., Associate professor WULS-SGGW (Польща)

Член редакційної колегії: **Natalia Wasilewska** — Doctor of Economic Sciences, professor UJK (Польща)

Розділ «Технічні науки»:

Член редакційної колегії: **Беліков Анатолій Серафимович** — доктор технічних наук, професор (Дніпро, Україна)

Член редакційної колегії: **Кузьмін Олег Володимирович** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Луценко Ігор Анатолійович** — доктор технічних наук, професор (Кременчук, Україна)

Член редакційної колегії: **Мельник Вікторія Миколаївна** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Румянцев Анатолій Олександрович** — доктор технічних наук, професор (Краматорськ, Україна)

Член редакційної колегії: **Сергейчук Олег Васильович** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Степанов Олексій Вікторович** — доктор технічних наук, професор (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Чабан Віталій Васильович** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Аль-Абабнех Хасан Алі Касем** — кандидат технічних наук (Амман, Йорданія)

Член редакційної колегії: **Артюхов Артем Євгенович** — кандидат технічних наук, доцент (Суми, Україна)

Член редакційної колегії: **Баширбейлі Адалат Ісмаїл** — кандидат технічних наук, головний науковий спеціаліст (Баку, Азербайджанська Республіка)

Член редакційної колегії: **Кабулов Нозімжон Абдукарімович** — доктор технічних наук, доцент (Республіка Узбекистан)

Член редакційної колегії: **Коньков Георгій Ігорович** — кандидат технічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Почужевский Олег Дмитрович** — кандидат технічних наук, доцент (Кривий Ріг, Україна)

Член редакційної колегії: **Саньков Петро Миколайович** — кандидат технічних наук, доцент (Дніпро, Україна)

Розділ «Медичні науки»:

Член редакційної колегії: **Самохін Анатолій Вікторович** — доктор медичних наук, професор, заслужений лікар України (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Свиридов Микола Васильович** — доктор медичних наук, головний науковий співробітник відділу ендокринологічної хірургії, керівник Центру діабетичної стопи (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Стеблюк Всеволод Володимирович** — доктор медичних наук, професор криміналістики і судової медицини, Народний Герой України, Заслужений лікар України (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Купріянова Лариса Сергіївна** — кандидат медичних наук, доцент криміналістики та судової експертології (Харків, Україна)

Розділ «Філологічні науки»:

Член редакційної колегії: **Базарбаєва Альбіна Мінгаліївна** — доктор філологічних наук (DSc), доцент (Ташкент, Республіка Узбекистан)

Член редакційної колегії: **Гомон Андрій Михайлович** — кандидат філологічних наук, доцент (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Маркова Мар'яна Василівна** — кандидат філологічних наук, доцент (Дрогобич, Україна)

Розділ «Фізико-математичні науки»:

Член редакційної колегії: **Ковальчук Олександр Васильович** — доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Губаль Галина Миколаївна** — кандидат фізико-математичних наук, доцент (Луцьк, Україна)

Експерти:

Люшенко Андрій Миколайович — провідний інженер-дослідник, архітектор мобільних систем, експерт у проектуванні масштабованих мобільних та розподілених систем, член IEEE, автор науково-технічних статей у галузі мобільної архітектури та high-load платформ, магістр прикладної математики

Новосел Сергій Володимирович — підприємець у сфері електронної комерції, 7-figure Amazon FBA wholesale продавець, старший член eCommerce & Digital Marketing Association (ECDMA), автор книги «Amazon Wholesale Advantage: Winning Playbook», спікер міжнародних конференцій (США, Європа, Латинська Америка)

Сиротенко Андрій Володимирович — провідний інженер-дослідник, експерт з індустріальної аналітики і метрології, член IEEE, автор винаходів і наукових праць у галузі контролю промислових викидів

ЗМІСТ
CONTENTS

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

Siedina Yevheniia, Mykytiuk Ihor

FINANCIAL CONTROL AND THE FINANCIAL CONDITION OF A BUSINESS ENTITY 9

МЕДИЧНІ НАУКИ

Tierientiev Oleksandr

TACTILE CERAMICS: THE BENEFITS OF MICROTTEXTURE OVER APPEARANCE 16

СОЦІАЛЬНІ КОМУНІКАЦІЇ

Калетнік Віолетта ВасилівнаДИСКУРСИВНА ТА ФОРМАТИВНА ІНФІЛЬТРАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЯ ЗОВНІШНЬОГО
ВПЛИВУ НА УКРАЇНУ 20

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

Зеліско Галина Володимирівна

ПРО БУДОВУ ІДЕАЛІВ В УЛЬТРАДОБУТКАХ НЕТЕРОВИХ V-ОБЛАСТЕЙ 32

Ткаченко Іван СеменовичПОБУДОВА ДВОВИМІРНОЇ ТАБЛИЦІ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ ЗА ЗНАЧЕННЯМ
ЇХ ОСТАННЬОЇ ЦИФРИ 36

ФІЛОЛОГІЧНІ НАУКИ

Трунова Олена Сергіївна

ХУДОЖНЯ СПЕЦИФІКА ПОЕТИКИ ПОВСЯКДЕННОСТІ У ТВОРЧОСТІ СЮЇ ЛІЧЖІ 39

ІНШЕ

Kovernikov OleksiiFAMILY BUSINESS AS A FACTOR OF STABILITY IN INTERNATIONAL JEWELRY TRADE:
THE EXPERIENCE OF KOVE JEWELRY S.R.O. 43**Marisova Yana**TRAINING STRATEGIES FOR VISION-BASED AI MODELS IN ROBOT CONTROL
APPLICATIONS 46**Nesvietaiev Mykola**COGNITIVE-ADAPTIVE DESIGN MODELS FOR DIGITAL INTERFACES FOR PRESCHOOL
AND PRIMARY SCHOOL CHILDREN: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF STRATEGIES
FOR REDUCING COGNITIVE LOAD AND INCREASING INTERACTION ACCESSIBILITY 54

Plonsak Rusana

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF COSMETIC
PRODUCTS AND THEIR BIOLOGICAL EFFECTS: A SCIENTIFIC APPROACH
TO EFFICACY ASSESSMENT 62

Pysmak Danyil

METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE
AGENTS INTO CORPORATE ERP SYSTEMS 66

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Точигін Максим Олегович

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ АСИМЕТРІЇ В МІСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ
НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНИХ РЕЄСТРІВ 72

Allakhveranov Rauf , Hubskiy Ihor

ANALYSIS OF METHODS FOR MATHEMATICAL MODELING OF DISCRETE AUTOMATION
OBJECTS 79

МЕДИЧНІ НАУКИ

Bahriantseva Inna

REHABILITATION STRATEGIES FOR POST-SERVICE EYELASH DAMAGE: THE IMPACT
OF INTEGRATED RESTORATION SYSTEMS 84

МЕНЕДЖМЕНТ

Khytsiuk Mykyta

IMPACT OF GLOBAL ECONOMIC AND POLITICAL FACTORS ON LOGISTICS AND
TRANSPORTATION 90

UDC 658.1

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

Siedina Yevheniia

*Master's Student of the
State University of Trade and Economics*

С'єдіна Євгенія Олександрівна

здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня

Державного торговельно-економічного університету

ORCID: 0009-0009-1838-3779

Mykytiuk Ihor

PhD in Economics, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Financial Analysis and Audit

State University of Trade and Economics

Микитюк Ігор Сергійович

кандидат економічних наук, доцент,

доцент кафедри фінансового аналізу та аудиту

Державний торговельно-економічний університет

ORCID: 0000-0001-5523-0485

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12041

FINANCIAL CONTROL AND THE FINANCIAL CONDITION OF A BUSINESS ENTITY

ФІНАНСОВИЙ КОНТРОЛЬ ТА АНАЛІЗ ФІНАНСОВОГО СТАНУ СУБ'ЄКТА ГОСПОДАРЮВАННЯ

Summary. Ukraine's wartime economy presents enterprises with a fundamentally new set of financial management challenges: disrupted operational chains, volatile cash flows, elevated debt burdens, and heightened demands for financial resilience. Against this backdrop, the coherence between financial control and financial condition analysis has become a prerequisite for sound managerial decision-making—yet in practice, these functions often operate in isolation, which prevents adequate managerial response to deviations.

The purpose of the study is to provide a theoretical synthesis of approaches to defining the nature of financial control and the financial condition of a business entity, and to substantiate their functional interrelationship within the financial management system.

The study is based on methods of systemic analysis, comparison, and generalization. The information base comprises works of domestic and foreign researchers, the COSO Internal Control framework, and methodological guidelines of the Ministry of Finance of Ukraine.

The causal relationship between financial control and financial condition is revealed through four management channels: revenues and expenses, cash flows, accounts receivable and accounts payable, and capital structure. A three-level model for integrating control and analytical procedures is proposed, establishing a feedback loop between the dynamics of financial condition indicators and weak zones of the control environment—thereby transforming financial analysis into a diagnostic tool for assessing control quality.

Promising directions for further research include empirical verification of the model using data from real enterprises, development of diagnostic tools, and quantitative assessment of the impact of control procedures on the dynamics of financial stability.

Key words: financial control, enterprise financial condition, financial condition assessment, internal control, profitability, liquidity, financial stability, management cycle.



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Анотація. Сучасні умови господарювання в Україні формуються під впливом тривалої економічної нестабільності, логістичних обмежень та інфляційного тиску. Воєнні ризики зумовлюють нестабільність грошових потоків, зростання кредитного навантаження та підвищені вимоги до фінансової стійкості підприємств. За таких обставин фінансовий контроль та аналіз фінансового стану часто існують відокремлено, що унеможлиблює повноцінне управлінське реагування на відхилення.

Мета дослідження – теоретичне узагальнення підходів до визначення сутності фінансового контролю та фінансового стану суб'єкта господарювання й обґрунтування їх функціонального взаємозв'язку в системі фінансового управління.

Дослідження ґрунтується на методах системного аналізу, порівняння та узагальнення. Інформаційну базу склали праці вітчизняних і зарубіжних дослідників, рамкова концепція COSO та методичні рекомендації Міністерства фінансів України.

Розкрито причинно-наслідковий механізм взаємодії фінансового контролю та фінансового стану через чотири канали управління: доходи та витрати, грошові потоки, дебіторська і кредиторська заборгованість, структура капіталу. Запропоновано трирівневу модель інтеграції контрольних та аналітичних процедур, яка встановлює зворотний зв'язок між динамікою показників фінансового стану та слабкими зонами контрольного середовища – перетворюючи фінансовий аналіз на інструмент діагностики якості контролю.

Перспективи. Перспективними напрямками є емпірична верифікація моделі на даних реальних підприємств, розробка діагностичного інструментарію та кількісна оцінка впливу контрольних процедур на динаміку фінансової стійкості.

Ключові слова: фінансовий контроль, фінансовий стан підприємства, оцінка фінансового стану, внутрішній контроль, рентабельність, ліквідність, фінансова стійкість, управлінський цикл.

Problem Statement and Its Relevance to Scientific and Practical Objectives. In the current landscape of enterprise financial management, the effectiveness of enterprise governance is closely linked to the alignment between financial control and financial condition assessment. In practice, however, these functions often operate in isolation: control is limited to the formal monitoring of procedural compliance and transaction accuracy, while financial condition analysis is reduced to the calculation and interpretation of reporting indicators. As a result, managerial decisions are made without a full understanding of the causes of deviations or the quality of the underlying information base. Only the integration of control and analytical procedures helps ensure data reliability, timely identification of problems in revenue generation, expenditure, and cash flows, and the establishment of effective feedback for adjusting a company's financial policy.

Accordingly, the substantiation of an integrated approach to the interaction between financial control and financial condition analysis within a unified financial management system is both a relevant scientific and practical objective.

Review of Recent Research and Publications. The theoretical and methodological foundations of enterprise financial condition assessment are addressed in the works of domestic scholars, including O. Tereshchenko, L. Lihonenko, I. Parasii-Vergunenko, and M. Bilyk, which reveal the economic substance of an enterprise's financial condition, substantiate approaches to its assessment, and define a system of indicators covering liquidity, solvency, financial stability, and profitability [1–4].

In contemporary research, the financial condition of enterprises is primarily examined within an applied managerial context — particularly through financial risk analysis, forecasting, and the application

of analytical assessment tools. These issues are addressed in the works of T. Kovalchuk, O. Tereshchenko, A. Verhun, K. Semenova, S. Nazarenko, and others [5–10].

Issues of financial control also feature in the academic literature. The work of S. Bardash examines the role of financial control in ensuring the financial stability of enterprises and its relationship with financial performance outcomes, including its function as a monitoring component within broader financial management frameworks [11].

Despite existing research, the topics of financial condition and financial control are largely examined in isolation: the mechanisms by which the control environment influences the formation of liquidity, financial stability, and profitability indicators remain insufficiently systematized. This gives rise to the need for a systematization of four management channels as points of interaction between the control environment and financial condition indicators, as well as for the development of a three-level model for integrating control and analytical procedures — one that, unlike the COSO Internal Control framework, which focuses on building a control system as such, establishes a feedback loop between the dynamics of financial condition indicators and weak zones of the control environment, thereby transforming financial analysis into a diagnostic tool for assessing control quality.

The available research therefore provides a theoretical foundation, yet does not ensure a comprehensive understanding of the mechanism of interaction between financial control and financial condition within a unified financial management system. This is what motivated the selection of the article's objectives, object, and subject.

The object of the study is the financial activity of business entities within the contemporary economic

environment. The subject of the study is the theoretical foundations and mechanism of interaction between financial control and the financial condition of an enterprise within the financial management system.

Objectives of the Article. To substantiate the integrated approach to financial control and financial condition analysis, the following research tasks are addressed:

1) to reveal the substance of financial control and financial condition as interrelated elements of the enterprise financial management system;

2) to substantiate the process-outcome nature of their interaction;

3) to identify the key channels through which financial control influences the formation of liquidity, financial stability, and profitability indicators;

4) to develop a conceptual feedback model between the quality of the control environment and the assessment of financial condition.

Main Body of Research. Financial control and financial condition are connected by the logic of “process → outcome → feedback”. Financial control is oriented toward ensuring the soundness of financial and operational decisions, adherence to internal procedures, and the effectiveness with which financial resources are formed and utilized.

Financial condition reflects the outcome dimension: as of a given date or over a period, it accumulates the consequences of managing assets, liabilities, equity, and cash flows. In I. Blank’s framework, financial condition encompasses (a) the state of capital and the capacity for self-development, and (b) the balance between assets and capital along with the efficiency of their use [12]. This means that financial condition is not an isolated characteristic; rather, it is the summation of recurring financial processes (resource formation and utilization) and the quality of managerial decisions. It is precisely this “process–outcome” distinction that suggests the causal relationship between the two.

The critical link in this relationship is the information base. Financial statements contain data on financial condition and performance, meaning that the quality of analysis depends on the reliability of accounting information. In academic sources, it is emphasized that accounting serves as the source of information about an entity’s property and financial condition, while control contributes to the reliability of that information.

In practical terms, weak control procedures over accounts receivable, inventories, cash, or expenses lead to distortion of liquidity, turnover, and profitability indicators. As a result, analysis may reflect not the actual financial condition, but the consequences of errors or managerial shortcomings. In this sense, the assessment of financial condition simultaneously serves as an indicator of the quality of internal control.

This logic is consistent with the COSO Internal Control framework — a widely adopted model that

structures internal control around five interrelated components: control environment, risk assessment, control activities, information and communication, and monitoring. Unlike purely compliance-oriented approaches that treat control as a set of formal procedures, COSO emphasizes its systemic nature and role in achieving operational and reporting objectives. It is also acknowledged that internal control provides only reasonable assurance, not an absolute guarantee against misstatement [13].

The causal mechanism operates through four management channels, which simultaneously serve as objects of financial control and as determinants of financial condition:

First, revenues and expenses. Control procedures related to contracts, pricing, cost of goods sold, expenditure authorization, and confirmation of work performed affect the reliability of financial results and, in turn, profitability and efficiency indicators. Within the COSO internal control framework, control activities must be directed at reducing risks to acceptable levels, and the components of the system must operate in an integrated manner to achieve reporting and operational objectives [13].

Second, cash flows and liquidity. Ex ante and concurrent control of payments, limits, and budgets, as well as monitoring of counterparty reliability (including an assessment of their financial condition as an element of preliminary control), influence the enterprise’s ability to maintain continuity of payments and sustain liquidity. V. Oparin explicitly notes that preliminary control is designed to evaluate the appropriateness of transactions and associated risks, including verification of the counterparty and its financial condition [14].

Third, accounts receivable and payable. Control over contracts, credit limits, maturities, and provisions for expected losses substantially influences default risk, affects turnover and net working capital, and forms the basis for assessments of solvency and financial stability. Approaches that treat financial condition as the capacity for self-development and the fulfilment of obligations logically presuppose control over precisely these “risk accumulation zones.”

Fourth, capital structure and financial stability. Decisions regarding debt financing, management of interest payments, and control over the targeted use of borrowed resources are reflected in autonomy and leverage indicators, as well as in the capacity to withstand shocks. Since financial condition is associated with the balance between assets and capital, control over investment and financing decisions significantly shapes the trajectory of financial stability.

Consequently, each financial indicator corresponds to a specific control domain: a decline in liquidity correlates with the control of cash flows and accounts receivable; a fall in profitability correlates with the control of costs and margins; an increase in debt burden correlates with the control of capital structure.

Table 1

**Systematization of the Relationship Between Financial Control and
the Financial Condition of an Enterprise**

Management Channel	Object of Financial Control	Key Financial Condition Indicators	Systemic Outcome
Revenues and expenses	Contracts, pricing, authorization, cost of goods sold, transaction confirmation	Financial result, profitability, operational efficiency	Reliability of financial results and improvement of operational performance
Cash flows	Payments, budgets, limits, counterparty verification	Liquidity, solvency, cash flow	Maintaining business continuity
Accounts receivable and payable	Maturities, credit limits, provisions	Turnover, net working capital, solvency	Reduction of default risk and stabilization of turnover
Capital structure	Debt financing, interest burden, targeted use of funds	Autonomy, leverage, financial stability	Optimization of financial structure and risk reduction

Source: developed by the author

Thus, financial control serves as the input mechanism ensuring the quality of financial processes and information, while financial condition serves as the output indicator signaling the effectiveness or ineffectiveness of the control environment and management.

The causal mechanism of the relationship between financial control and financial condition described above is summarized in structured form in Table 1.

With the aim of practical integration of financial control and financial condition assessment, a three-level model is proposed that reflects the causal logic of the management cycle and can be applied within the basic functions of financial management.

The primary level focuses on controlling the formation of financial indicators: proper documentation,

authorization and segregation of duties, compliance with procedures, timeliness of transaction recording, asset safeguarding, and control of payments and limits. This is where “data quality” is established, without which the analytical level loses its reliability. In the COSO methodology, this domain corresponds to control activities, information and communication, and partly to monitoring, all of which ensure the overall functioning of the system [13].

The analytical level involves assessment of the financial condition using a system of indicators (liquidity, solvency, stability, profitability, turnover), interpretation of their changes, and identification of key drivers. Importantly, in contemporary approaches, financial condition is understood as an integral

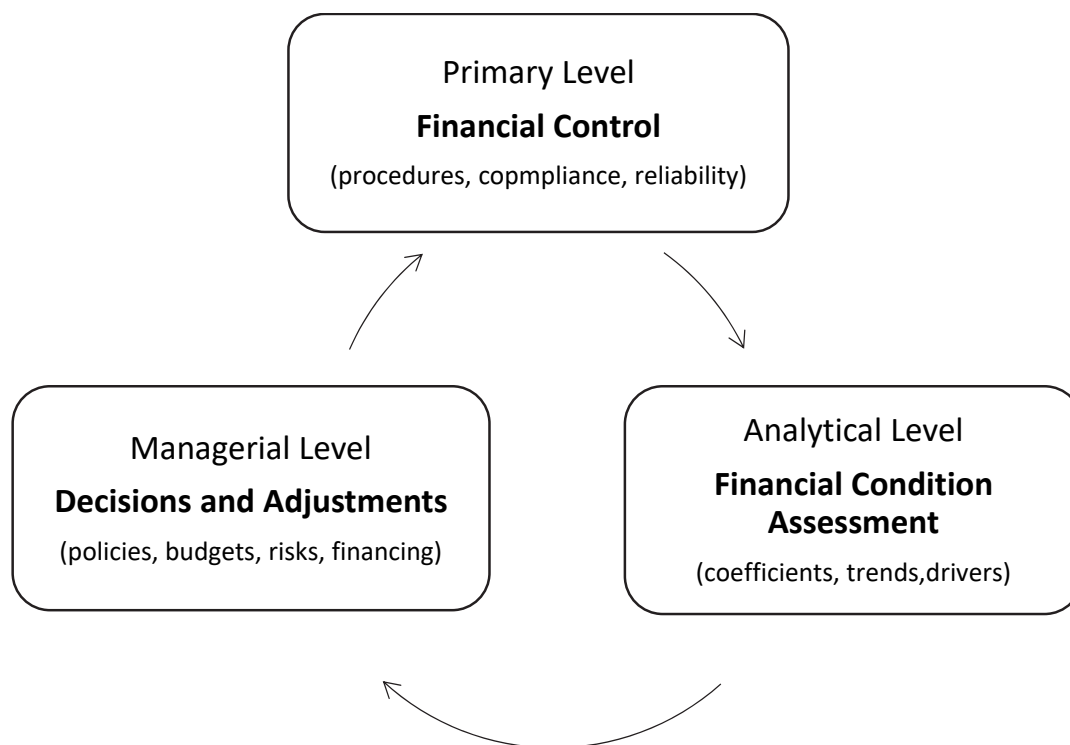


Fig. 1. Three-Level Model of the Interaction Between Financial Control and Financial Condition Assessment

Table 2

Diagnostics of Weak Zones in the Control Environment Based on Financial Condition Indicators of a Hypothetical Enterprise

Indicator	Prior year	Reporting year	Change	Signal per model
Current ratio	1.9	1.2	–0.7	Channel: accounts receivable
Accounts receivable turnover (times)	8.4	5.1	–3.3	Channel: accounts receivable
Return on sales, %	5.8	7.3	+1.5	
Equity ratio	0.61	0.54	–0.07	Channel: capital structure

Source: developed by the author

Note: all data are simulated and refer to a hypothetical enterprise constructed solely for illustrative purposes

category rather than a “collection of figures”; the analytical level should therefore conclude with a generalized assessment of the risks and reserves of financial stability [15].

The managerial level encompasses decision-making on the basis of analytical findings: adjustment of financial policy, budgets, credit policy rules, working capital management, investment priorities, financing structure, and risk limits.

Within this logic, financial condition serves as a signal, and the managerial decision represents a “response” that returns the process to the primary level in the form of updated control procedures, regulations, performance benchmarks, and lines of accountability. The described interaction is schematically represented in Fig. 1.

An important element underpinning the operability of the model is its risk-based orientation. The risk-based approach to internal audit planning, the development of which is supported by the Ministry of Finance’s methodological guidelines, can serve as a “methodological bridge” between control and financial condition: control resources are directed toward the processes with the greatest potential impact on liquidity, solvency, and financial stability [16].

To illustrate the proposed mechanism, consider a hypothetical manufacturing enterprise that recorded ambiguous dynamics in its key financial indicators during the reporting year (Table 2).

Return on sales rose from 5.8% to 7.3%, which at first glance suggests a positive trend. At the same time, the current ratio fell from 1.9 to 1.2, and accounts receivable turnover declined from 8.4 to 5.1 times per year. According to the proposed model, this combination is an indicator of weakness in control procedures specifically within the accounts receivable channel: revenue growth is being achieved through a relaxation of credit policy — without adequate control over limits and repayment terms — which drains liquidity despite improving profitability. The decline in the equity ratio

from 0.61 to 0.54 additionally points to the financing of cash gaps through borrowed resources without control over their structure and targeted use. The managerial response, as prescribed by the three-level model, involves: at the primary level — the introduction of credit limits and monthly monitoring of the accounts receivable register; at the analytical level — factor analysis of the impact of settlement terms on liquidity; at the managerial level — revision of credit policy and limits on short-term borrowing.

The example above illustrates the diagnostic potential of the proposed model: deviations in financial condition indicators serve as the starting point for identifying weak zones in the control environment and determining the appropriate managerial response at the relevant level.

Conclusions and Prospects for Further Research. Financial control and financial condition represent interdependent categories that form a closed management loop: control is designed to ensure the orderliness and reliability of financial processes, while financial condition tends to consolidate their outcomes into a system of indicators and serves as the basis for subsequent managerial decisions. The integration of control and analytical procedures within the three-level model makes it possible to conceptually align the process of generating financial information, its evaluation, and managerial response — consistent with contemporary approaches to internal control and risk-based management. The study has certain limitations: the model has been developed at a theoretical level and requires verification using data from real enterprises. Promising directions for further research include a quantitative assessment of the impact of control procedures on the dynamics of financial stability, adaptation of the model to the specifics of enterprises in different industries, and the development of diagnostic tools for identifying weak zones in the control environment based on the results of financial analysis.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ: Усі автори зробили внесок порівну.

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Терещенко О. О. *Фінансова діяльність суб'єктів господарювання*. Київ : КНЕУ, 2013.
2. Лігоненко Л. О. *Антикризове управління підприємством*. Київ : КНЕУ, 2014.
3. Парасій-Вергуненко І. М. *Фінансовий аналіз*. Київ : КНЕУ, 2016.
4. Білик М. Д. *Фінансовий аналіз підприємства*. Київ : КНЕУ, 2012.
5. Ковальчук Т. М., Вергун А. І. Аналіз впливу війни на фінансовий стан українських підприємств. *Економіка та суспільство*. 2025. № 81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-159>
6. Терещенко О. О. Емпіричні моделі прогнозування фінансового дистресу підприємств. *Фінанси України*. 2025. № 9. С. 71–87. DOI: <https://doi.org/10.33763/finukr2025.09.071>
7. Семенова К. Д. Аналіз фінансового стану підприємства та оцінювання ризиків: теоретичний аспект. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. 2026. Вип. 1(338). DOI: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2026-1-338-28-35>
8. Назаренко С. П., Безверхий К. В., Назарова К. О. Концептуальні основи сценарного аналізу фінансового стану суб'єкта господарювання. *Інвестиції: практика та досвід*. 2023. № 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.4.84>
9. Підгаєць С. В. Комплексна оцінка фінансового стану підприємства. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 70. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-41>
10. Семененко Т. В., Поплюйко А. М. Діагностика фінансового стану як основний етап стратегічного аналізу бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 57. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-69>
11. Бардаш С. В. Роль фінансового контролю в забезпеченні фінансової стабільності підприємств в умовах воєнного стану. *Ефективна економіка*. 2023. № 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.2.2>
12. Бланк І. А. *Фінансовий менеджмент: підручник*. Київ : Ніка-Центр, 2022.
13. *Internal Control — Integrated Framework: Executive Summary*. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). New York, 2013.
14. Опарін В. М. *Фінанси (загальна теорія): навч. посіб.* Київ : КНЕУ, 2001.
15. Яцух О. О., Захарова Н. Ю. Фінансовий стан підприємства та методика його оцінки. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2018. Т. 29(68), № 3. С. 173–180. URL: https://econ.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/29_68_3/35.pdf (дата звернення: 07.04.2026).
16. *Методичні рекомендації щодо оцінки фінансового стану підприємств*. Міністерство фінансів України. Київ, 2025. URL: https://mof.gov.ua/storage/files/%D0%9E%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0_%D1%84%D1%96%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83_%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%94%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B231_03_2025.pdf (дата звернення: 07.04.2026).

References

1. Tereshchenko, O. O. (2013). *Finansova diialnist subiektiv hospodariuvannia* [Financial activities of business entities]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
2. Lihonenko, L. O. (2014). *Antykryzove upravlinnia pidpriemstvom* [Crisis management of an enterprise]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
3. Parasii-Vergunenko, I. M. (2016). *Finansovyi analiz* [Financial analysis]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
4. Bilyk, M. D. (2012). *Finansovyi analiz pidpriemstva* [Financial analysis of an enterprise]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
5. Kovalchuk, T. M., & Verhun, A. I. (2025). Analiz vplyvu viiny na finansovyi stan ukraïnskikh pidpriemstv [Analysis of the impact of war on the financial condition of Ukrainian enterprises]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (81). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-81-159> [in Ukrainian].
6. Tereshchenko, O. O. (2025). Empirichni modeli prohnzovuvannia finansovoho dystresu pidpriemstv [Empirical models for forecasting financial distress of enterprises]. *Finansy Ukrainy*, (9), 71–87. <https://doi.org/10.33763/finukr2025.09.071> [in Ukrainian].
7. Semenova, K. D. (2026). Analiz finansovoho stanu pidpriemstva ta otsiniuvannia ryzykiv: Teoretychnyi aspekt [Analysis of the financial condition of an enterprise and risk assessment: Theoretical aspect]. *Naukovyi visnyk Odeskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu*, 1(338). <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2026-1-338-28-35> [in Ukrainian].

8. Nazarenko, S. P., Bezverkhyi, K. V., & Nazarova, K. O. (2023). Kontseptualni osnovy stsenarnoho analizu finansovoho stanu subiekta hospodariuvannia [Conceptual foundations of scenario analysis of the financial condition of a business entity]. *Investytzii: praktyka ta dosvid*, (4). <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.4.84> [in Ukrainian].
9. Pidhaiets, S. V. (2024). Kompleksna otsinka finansovoho stanu pidpriemstva [Comprehensive assessment of enterprise financial condition]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (70). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-41> [in Ukrainian].
10. Semenenko, T. V., & Popliuiko, A. M. (2023). Diahnostyka finansovoho stanu yak osnovnyi etap stratehichnoho analizu biznesu [Diagnostics of financial condition as the main stage of strategic business analysis]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (57). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-69> [in Ukrainian].
11. Bardash, S. V. (2023). Rol finansovoho kontroliu v zabezpechenni finansovoi stabilnosti pidpriemstv v umovakh voiennoho stanu [The role of financial control in ensuring enterprise financial stability under martial law]. *Efektivna ekonomika*, (2). <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.2.2> [in Ukrainian].
12. Blank, I. A. (2022). *Finansovyi menedzhment* [Financial management]. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].
13. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). (2013). *Internal control — Integrated framework: Executive summary*. New York: COSO.
14. Oparin, V. M. (2001). *Finansy (zahalna teoriia)* [Finance (general theory)]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
15. Yatsukh, O. O., & Zakharova, N. Yu. (2018). Finansovyi stan pidpriemstva ta metodyka yoho otsinky [Financial condition of an enterprise and the methodology of its assessment]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Ekonomika i upravlinnia*, 29(68), (3), 173–180. Retrieved from https://econ.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/29_68_3/35.pdf [in Ukrainian].
16. Ministerstvo finansiv Ukrainy. (2025). *Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky finansovoho stanu pidpriemstv* [Methodological recommendations for assessing the financial condition of enterprises]. Kyiv. Retrieved from https://mof.gov.ua/storage/files/%D0%9E%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0_%D1%84%D1%96%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83_%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%94%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B231_03_2025.pdf [in Ukrainian].

Tierientiev Oleksandr*Dental Technician, Ceramist, VSmile Global LLC**(Los Angeles, CA, USA)*

ORCID: 0009-0001-2034-6223

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12035

TACTILE CERAMICS: THE BENEFITS OF MICROT texture OVER APPEARANCE

Summary. In modern aesthetic dentistry, more and more attention is paid not to the shine, but to the naturalness and tactile properties of the surface of ceramic restorations. Overglazed restorations are often perceived as artificial, while a micro-textured surface provides a more harmonious integration into the natural environment of the oral cavity. The aim of the work is to assess the clinical and aesthetic significance of microtexture in ceramic restorations of the anterior dentition, analyzing literature sources and clinical examples. Materials and methods. The study used an analysis of scientific publications and visual clinical examples demonstrating different options for surface treatment of ceramic restorations. Optical effects, integration with enamel and tactile perception were evaluated. Results. Restorations with the existing microtexture create a visual effect of depth, merge better with the surface of natural enamel and are perceived by patients as more natural from both an aesthetic and tactile point of view. In contrast, shiny glazed surfaces appear flat, exhibit excessive specular reflection, and are less tactile. The results of the study emphasize the importance of controlling the surface morphology of ceramic restorations at the final stage of fabrication. Particular attention should be paid to microrelief and visual appearance, which allows for an increase in the level of aesthetic restorations. This will also contribute to improving the subjective perception of treatment results by patients and improving the quality of services. Conclusions. Microtexture significantly increases the optical naturalness of restorations. Excessive shine without relief contributes to the visual effect of artificiality. Textured restorations are better integrated both visually and tactilely, approaching the natural structure of the tooth. As a result, the client receives the desired visual and natural result, which may affect the psychological satisfaction with the service received.

Key words: aesthetic dentistry, microtexture, tactile ceramics, ceramic restorations, optical integration.

Problem statement. In recent years, aesthetic dentistry has increasingly focused not only on the color matching of restorations, but also on creating the most natural visual and tactile effect. With the development of Digital Smile Design and CAD/CAM technologies, the requirements for the integration of restorations into the natural environment of the dentition, including optical and tactile surface characteristics, have increased.

In this context, microtexture — the fine relief of the enamel surface — takes on special importance. It is it that determines the directions and nature of light scattering, which provides the effect of optical depth, natural shine and authentic play of light and shade. In contrast, excessive glazed smoothness creates the effect of a “plastic” tooth, which is negatively perceived both visually and upon tactile contact.

The relevance of the topic is due to the growing demand for high-quality biomimetic restorations that not only reproduce the anatomy of the tooth, but also convey its natural texture. Despite the existing technical capabilities for creating microtextured surfaces, the tendency towards hyperesthetic shine, which contradicts the principles of optical integration, still prevails in clinical practice.

Unresolved questions remain regarding the objective criteria that should be used to define “sufficient” microtexture; the possibility of developing standardized digital texturing protocols; and the impact of microtexture on the long-term stability of restorations in the oral cavity.

The purpose of the research (research objective) is to establish the role of microtexture as a key aesthetic and functional factor in shaping the optical



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

naturalness and tactile authenticity of ceramic restorations in the anterior region, taking into account modern digital manufacturing technologies and clinical practice.

Materials and methods. The study is based on a qualitative analysis of clinical cases from practice, in which ceramic restorations with different degrees of surface microtexture were used. Digital photographs before and after polishing were used for visualization, as well as examples of different texturing protocols. In addition, an analysis of literature sources (2020–2024) was conducted, which highlight the optical properties of microtextures, their clinical significance and role in the formation of a natural effect.

A detailed analysis of modern scientific sources for 2020–2024 was conducted, highlighting the optical properties of microtextures, their clinical significance, impact on the long-term stability of restorations, as well as methods of digital texture reproduction in CAD/CAM systems. The studied publications made it possible to substantiate the feasibility of using microtexture to achieve a biomimetic effect and improve the quality of restorations in the frontal region of the dentition.

The research methods also included: comparative analysis of clinical photographs, subjective survey of patients on the tactile perception of restorations, as well as analysis of light scattering with different options for surface finishing. The main attention was paid to assessing the relationship between the degree of microtexture and the visual effect of depth, harmonization with the enamel of neighboring teeth.

Results and discussion. The results of the analysis of clinical photographs and subjective patient surveys indicate that the microtexture of ceramic restorations has a decisive influence on their aesthetic and tactile perception. The clinical examples presented in the photographs demonstrate the differences between restorations with a smooth glazed surface and those where a microtexture similar to natural enamel has been preserved or created.

The photographs (Figs. 1–3) clearly show that the microtextured restorations exhibit more complex light scattering, giving the surface an effect of depth and natural play of shadows. This contrasts with the fully glazed versions (Fig. 4), where the surface appears “flat”, with excessive specular shine. Such a surface appears less lively, especially when the lighting changes or at different viewing angles.

In a subjective patient survey (n = 15) conducted after placement of the restorations, 87% of respondents indicated that textured restorations felt more “natural” when touched with the tongue. The main complaints with smooth restorations included: foreign body sensation, unnatural shine, and unpleasant sliding during chewing or speaking.

Additionally, the effect of different treatment protocols on the aesthetic outcome was analyzed. In



Fig. 1. Example of a microtextured restoration: complex light scattering and depth effect



Fig. 2. Variant of ceramic restoration with pronounced microrelief on the front teeth



Fig. 3. Restoration with natural relief and adaptation to neighboring teeth

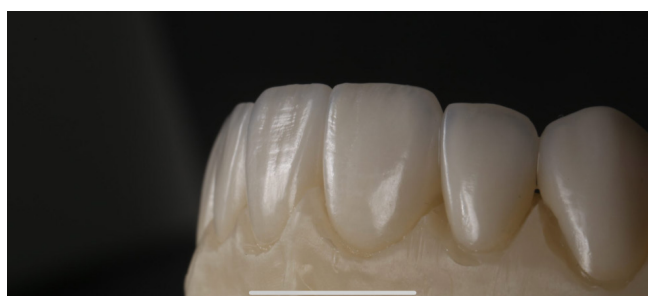


Fig. 4. Fully glazed restoration with a “plastic” shine effect

particular, restorations that underwent final polishing without re-glazing had better optical integration with the adjacent teeth. They did not create a harsh shine under frontal illumination, which is especially important in the anterior aesthetic zone.

The visual results are also confirmed by clinical photographs (Fig. 5), which show how the microtexture promotes shade blending between the restoration and



Fig. 5. Fusion of the restoration with natural enamel when lighting changes



Fig. 6. Restoration on a dark background: assessment of transparency and light transmission



Fig. 7. Restoration on a light background: color stability and texture preservation

natural enamel. In daylight and artificial lighting, the reflectivity of the microtextured surface adapts to changing conditions, creating a “living” tooth effect.

Particular attention was paid to the distribution of light on different backgrounds. When restorations are placed on dark (e.g., tongue, mandible) and light backgrounds (native teeth), smooth restorations lose significantly their transparency, while textured restorations demonstrate a stable optical appearance (Fig. 6–7). This confirms the ability of microtexture to preserve color depth and reduce the “show-through” effect.

Literature data have shown that modern digital technologies allow modeling individual surface texture even at the design stage in CAD / CAM systems. However, practice shows that the final result largely depends on the manual work of the dentist and technician. The highest quality is achieved with a combined approach: preliminary modeling of the texture in software with subsequent individual refinement and gloss control at the final polishing stage [1–10].

The analysis of modern scientific literature supplemented the clinical results of the study and allowed to deepen the understanding of the role of microtexture in restorative dentistry. In recent years, there has been a steady trend towards rethinking traditional criteria of aesthetics: if previously the main sign of high-quality restoration was considered shine, now the emphasis is shifting to naturalness and harmonious optical fusion with the patient's enamel [1–10].

Ahmad Al-Hassiny (2025) proved that the smooth, glossy surface of ceramics, despite the aesthetic effect in static lighting, does not provide the natural behavior of light in dynamics. The work emphasizes that it is the microtexture that allows the enamel surface to function as a complex optical structure, creating depth, variability and diffuse reflection [1].

Mohamed Ali (2025) prospectively enrolled over 120 patients and compared the impressions of two types of restorations — with and without microtexture. The majority of respondents (over 75%) indicated an aesthetic advantage of the textured options. The researchers also emphasized the importance of reproducing natural enamel topography to increase patient satisfaction [2].

Alfredo Meyer Filho et al. (2009) studied the long-term properties of textured and glazed restorations. Their data showed that the glazed surface loses its gloss faster and becomes more susceptible to scratches, while the microtexture remains resistant to microdamage and staining. This supports the clinical conclusions that the creation of textured relief is appropriate even in the long term [3].

Susic I., Travar M. and Susic M (2016) focused on the digital aspect: they showed that the latest generation CAD/CAM systems are able not only to reproduce color and translucency, but also to accurately model individual microtexture based on scans of healthy teeth.

This opens the prospect of automated texturing based on a clinical patient database. [4].

Thus, a generalized analysis of the literature confirms: microtexture is not only an element of aesthetics, but also a full-fledged functional factor that affects the durability of restorations, patient satisfaction and clinical effectiveness. Despite this, the standards for assessing texture in clinical practice remain non-unified. This creates the basis for further research to create digital scales for assessing microtexture and develop appropriate clinical protocols.

Thus, the results obtained demonstrate the advantages of microtextured restorations not only from the point of view of aesthetics, but also from the point of view of patient comfort and long-term clinical effect.

Conclusions:

1. Microtexture is a key factor in the optical naturalness of ceramic restorations.
2. Excessive shine without structure reduces the aesthetic quality of the restoration.
3. The tactile perception of microtextured restorations is close to the feel of a natural tooth.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Ahmad Al-Hassiny. (2025). The Evolution of Digital Smile Design: Why 3D is Becoming the New Standart. *Institute of Digital Dentistry*. URL: https://instituteofdigitaldentistry.com/digital-smile-design/the-evolution-of-digital-smile-design-why-3d-is-becoming-the-new-standard/?srsltid=AfmBOorCHWP_-oGn2Vg_P9qP0pwJE7IHoxlWWhuoUr2TWtIQHEv-Vl8oH# (access date: 10.04.2026).
2. Mohamed Ali. (2025). Patient Satisfaction and Clinical Performance of Ultra-translucent Multi-layer Monolithic Zirconia and Lithium Disilicate Ceramic Laminate Veneers. *Randomized Control Clinical Trial. ClinicalTrials.gov*. URL: <https://clinicaltrials.gov/study/NCT07113873> (access date: 10.04.2026).
3. Alfredo Meyer Filho, Luiz Clovis Cardoso Vieira, Élito Araújo & Sylvio Monteiro Júnior. (2009). Effect of Different Ceramic Surface Treatments on Resin Microtensile Bond Strength. *Journal of Prosthodontics*, 13(1), 28–35. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2004.04007.x>
4. Susic I., Travar M. & Susic M. (2016). The application of CAD / CAM technology in Dentistry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 200, Innovative Ideas in Science 2016 10–11 November 2016, Baia Mare, Romania*. DOI: 10.1088/1757-899X/200/1/012020; URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/200/1/012020?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article (access date: 10.04.2026).
5. Petrukha N., Shevchenko L. & Dotsenko L. (2023). Formation of a security environment for personnel management of socio-economic systems before and during the war: Legal aspect. *Questiones Políticas*, 41(75), 215–227. DOI: <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4178.34>
6. Malikov V., Petrukha N. & Nazarenko O. (2024). The influence of accounting on strategic decision-making within business management. *Economic Affairs*, 69(1), 45–54. DOI:10.46852/0424-2513.4.2024.26; URL: <https://intjfermentedfoods.com/Journal/abstract/id/NjUzOQ==> (access date: 10.04.2026).
7. Ravlinko Z., Petrukha N. & Leonova T. (2022). Formation of digital competencies of personnel in the context of security aspects of the digital economy. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 22(9), 62–70. URL: http://paper.ijcsns.org/07_book/202211/20221189.pdf (access date: 10.04.2026).
8. Lemos CAA, Mauro SJ, Briso ALF, Souza F de CPP de, Navarro MF de L. & Fagundes TC. (2017). Surface roughness, gloss and color change of different composites after exposure to ultimate challenges. *Brazilian Journal of Oral Sciences*. Vol. 16, Pp. 1–11. URL: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/bjos/article/view/8651057> (access date: 10.04.2026).
9. Mohammadjavad Shirani, Omid Savabi, Ramin Mosharraf, Mehrdad Akhavankhaleghi, Maliheh Hebibkhodaei, Sabire Isler. (2021). Comparison of translucency and opalescence among different dental monolithic ceramics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 126, Issue 3, p446.e1–446.e6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.04.030>; URL: [https://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(21\)00324-3/abstract](https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(21)00324-3/abstract) (access date: 10.04.2026).
10. Anca Jivanescu, Ille Codruta & Raul Rotar. (2024). Chairside CAD/CAM Restorations. *Advances in Dentures — Prosthetic Solutions, Materials and Technologies*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.114090>

УДК 327.56(477):32:019.5

СОЦІАЛЬНІ КОМУНІКАЦІЇ

Калетнік Віолетта Василівна

студентка

Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана

Kaletnik Violetta

Student of the

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

ORCID: 0009-0003-6552-0664

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12034

ДИСКУРСИВНА ТА ФОРМАТИВНА ІНФІЛЬТРАЦІЯ ЯК СТРАТЕГІЯ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ НА УКРАЇНУ

DISCURSIVE AND FORMATIVE INFILTRATION AS A STRATEGY OF EXTERNAL INFLUENCE ON UKRAINE

Анотація. У сучасних умовах гібридної агресії інформаційна безпека України стикається з латентними загрозами, що спрямовані на трансформацію когнітивного та інституційного фундаменту суспільства. Традиційні методи пропаганди поступаються місцем складним стратегіям інфільтрації, які інтегруються в публічний дискурс та управлінські практики. Відсутність системного теоретичного осмислення механізмів дискурсивної та формативної інфільтрації створює прогалини у стратегіях захисту інформаційного суверенітету, що потребує ґрунтовного наукового аналізу їхньої взаємодії.

Мета. Метою статті є теоретичне обґрунтування та концептуалізація феноменів дискурсивної та формативної інфільтрації як інструментів зовнішнього впливу, визначення їхньої ролі у трансформації смислових структур суспільства та розробка моделі їхньої синергетичної взаємодії в умовах гібридної війни.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) академічні праці вітчизняних та зарубіжних науковців у сфері стратегічних комунікацій, когнітивістики та критичного дискурс-аналізу; 2) аналітичні звіти щодо інформаційних операцій («Doppelgänger» тощо). У процесі дослідження використано методи: теоретичного узагальнення та концептуалізації (для дефініції понять інфільтрації); системний підхід (для виявлення рівнів впливу); структурно-функціональний аналіз (для побудови моделі самовітворення впливу); порівняльний аналіз (для систематизації характеристик дискурсивної та формативної форм).

Результати. Здійснено концептуалізацію дискурсивної та формативної інфільтрації як багаторівневої системи зовнішнього впливу. Визначено, що дискурсивна інфільтрація змінює інтерпретаційні рамки реальності, а формативна – закріплює ці зміни на рівні інституційних норм та освітніх стандартів. Розроблено та візуалізовано модель взаємодії рівнів впливу (когнітивного, комунікативного, інституційного), що формує самопідтримуваний цикл трансформації суспільства. Обґрунтовано необхідність переходу від реактивної до проактивної моделі інформаційної безпеки через зміцнення когнітивної стійкості та інституційної автономії.

Перспективи. Подальші дослідження пропонується зосередити на розробці прикладних індикаторів виявлення латентної інфільтрації в освітніх програмах та експертних дискурсах, а також на створенні методик аудиту когнітивної безпеки державних інституцій.

Ключові слова: гібридна війна, інформаційний вплив, дискурсивна інфільтрація, формативна інфільтрація, стратегічні комунікації, наративи, когнітивна стійкість.

Summary. In the context of hybrid aggression, Ukraine's information security faces latent threats aimed at transforming the cognitive and institutional foundations of society. Discursive and formative infiltration strategies integrate into public discourse and governance, bypassing traditional defense mechanisms. The lack of a systematic theoretical understanding of these mechanisms creates gaps in national sovereignty protection, requiring a thorough scientific analysis of their interaction.



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Purpose. The purpose of the article is the theoretical substantiation and conceptualization of discursive and formative infiltration as instruments of external influence, defining their role in transforming society's semantic structures and developing a model of their synergetic interaction.

Materials and Methods. The research materials include: 1) academic works on strategic communications, cognitive science, and critical discourse analysis; 2) analytical reports on information operations. The methods used include: theoretical generalization and conceptualization; systematic approach (to identify levels of influence); structural-functional analysis (to build a self-reproduction model of influence); and comparative analysis.

Results. The article conceptualizes discursive and formative infiltration as a multi-level system of external influence. Discursive infiltration reshapes interpretive frameworks of reality, while formative infiltration consolidates these changes through institutional norms and educational standards. A model of interaction between cognitive, communicative, and institutional levels is developed and visualized. The necessity of transitioning to a proactive information security model through strengthening cognitive resilience and institutional autonomy is substantiated.

Discussion. Future research should focus on developing applied indicators for detecting latent infiltration in educational programs and expert discourses, as well as creating methodologies for auditing the cognitive security of state institutions.

Key words: hybrid warfare, information influence, discursive infiltration, formative infiltration, strategic communications, narratives, cognitive resilience.

Постановка проблеми. У XXI столітті інформаційний простір перетворився на один із ключових вимірів глобального геополітичного протистояння. У цьому середовищі боротьба ведеться не лише за території, ресурси чи військово-політичний вплив, а передусім за смисли, інтерпретації подій та структури знання, які формують суспільне сприйняття реальності. Саме тому інформаційна сфера дедалі більше набуває стратегічного значення як складова національної безпеки держав.

У цьому контексті Україна опинилася в епіцентрі масштабної гібридної агресії з боку Російської Федерації, що поєднує збройні дії з комплексом невоєнних інструментів впливу. Поряд із прямою військовою силою застосовуються механізми інформаційних операцій, культурного впливу, маніпуляції історичною пам'яттю та трансформації публічного дискурсу. Особливу роль у цьому процесі відіграють латентні інфільтраційні стратегії, спрямовані на поступову зміну смислових рамок суспільного мислення та інституційних практик.

Одними з таких стратегій виступають дискурсивна та формативна інфільтрація, які в умовах гібридної війни можуть діяти як взаємодоповнювальні механізми зовнішнього впливу. На відміну від традиційних форм інформаційної агресії — таких як пропаганда, дезінформація чи фейкові новини — інфільтраційні стратегії мають більш складний і тривалий характер. Їхня дія спрямована не стільки на миттєве переконання аудиторії, скільки на поступове трансформування системи смислів, цінностей та моделей соціальної поведінки.

У межах цього дослідження дискурсивна інфільтрація розглядається як системний процес впровадження у суспільно-політичний дискурс ідеологем, наративів, категорій, мемів та концептів, що формуються або підтримуються зовнішніми суб'єктами впливу. Такий процес спрямований не лише на поширення дезінформації чи пропаганди, а передусім на поступову трансформацію базових інтерпретацій

соціальної та політичної реальності. Реалізація цієї стратегії відбувається через медіа, освітнє середовище, культурні продукти, політичну риторику, а також інститути виробництва знання.

Водночас формативна інфільтрація проявляється у проникненні зовнішніх установок у практичні регулятивні механізми функціонування суспільства та держави. Передусім це стосується освітньої системи, кадрових практик, процедур оцінювання, стандартів підготовки фахівців і управлінських процесів. У результаті відбувається інституціоналізація відповідних норм і моделей поведінки, які поступово закріплюються як звичні та нормативні форми мислення, управління і соціальної взаємодії.

Упродовж тривалого російського інформаційного наступу обидва зазначені механізми функціонують синхронно як складові комплексної стратегії впливу на когнітивний простір українського суспільства. Їхній вплив спрямований не лише на формування зовнішнього образу України у міжнародному інформаційному середовищі, але й на трансформацію внутрішнього самосприйняття українського суспільства — через зміну колективної пам'яті, ерозію ціннісних орієнтирів та послаблення інституційної стійкості держави.

Таким чином, дослідження дискурсивної та формативної інфільтрації набуває особливої актуальності в умовах триваючої гібридної агресії, оскільки дозволяє виявити глибинні механізми впливу, спрямовані на підрив інформаційного суверенітету та трансформацію смислового поля національного розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика інформаційного впливу, пропаганди та маніпуляції суспільною свідомістю привертала увагу багатьох дослідників у галузях політичної науки, соціології, комунікаційних студій та інформаційної безпеки. Значний внесок у дослідження механізмів інформаційної війни, стратегічних комунікацій та гібридних конфліктів зробили як зарубіжні, так і українські науковці [1–4].

У сучасній науковій літературі активно досліджуються феномени пропаганди, дезінформації, інформаційних операцій, когнітивної війни та стратегічного наративного впливу [5–7]. Значна частина досліджень присвячена аналізу ролі медіа у формуванні політичних смислів, а також впливу інформаційних технологій на трансформацію політичної комунікації в умовах цифрового суспільства [8–10]. Зокрема. Механізм маніпуляції через соціальні мережі та використання «медіа-клонів» детально описані в працях сучасних аналітиків [5; 10; 11].

Водночас у науковому дискурсі дедалі частіше порушується питання про глибинні механізми інституційного та когнітивного проникнення, які виходять за межі традиційних інформаційно-пропагандистських практик. У цьому контексті дослідники звертають увагу на процеси довготривалої трансформації смислових структур суспільства, що відбуваються через освітні системи, культурні практики, академічні середовища та інститути формування знання [2; 12–14]. Теоретичне підґрунтя для розуміння дискурсу як інструменту впливу та конструювання реальності закладено у працях [14–16].

Разом із тим у науковій літературі недостатньо системно досліджені механізми дискурсивної та формативної інфільтрації як окремих форм зовнішнього впливу, що функціонують на перетині інформаційної, культурної та інституційної сфер. Більшість робіт зосереджуються переважно на феномені пропаганди або дезінформації, тоді як процеси довготривалого проникнення у структури суспільного дискурсу та управлінських практик залишаються фрагментарно висвітленими [3; 15–18].

Це зумовлює необхідність подальшого теоретичного осмислення зазначених явищ та їх системного аналізу в контексті сучасних гібридних конфліктів і викликів інформаційній безпеці держав.

Метою статті є теоретичне обґрунтування та концептуалізація феноменів дискурсивної та формативної інфільтрації як інструментів зовнішнього впливу на суспільно-політичний дискурс та інституційні практики держави, а також визначення їх ролі у трансформації смислових структур суспільства в умовах гібридної війни.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань:

- уточнити зміст і сутнісні характеристики поняття дискурсивної інфільтрації;
- розкрити особливості формативної інфільтрації як механізму інституційного проникнення;
- визначити взаємозв'язок між когнітивними, інформаційними та інституційними аспектами зовнішнього впливу;
- проаналізувати роль зазначених процесів у трансформації суспільно-політичного дискурсу та системи публічного управління.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) академічні праці вітчизняних та зарубіжних

науковців у сфері стратегічних комунікацій, когнітивістики та критичного дискурс-аналізу; 2) аналітичні звіти щодо інформаційних операцій («Doppelgänger» тощо).

У процесі дослідження використано наступний методологічний інструментарій: метод теоретичного узагальнення та групування — для уточнення змісту понять «дискурсивна інфільтрація» та «формативна інфільтрація»; системний підхід — для аналізу взаємозв'язку між когнітивним, комунікативним та інституційним рівнями впливу; структурно-функціональний аналіз та метод формалізації — для розробки ієрархічної моделі самовідтворення інфільтраційних процесів; порівняльний аналіз — для систематизації відмінностей між формами інфільтрації за критеріями мети, інструментів та кінцевого ефекту.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах гібридного протистояння інформаційний вплив дедалі частіше набуває латентних і довготривалих форм, спрямованих на зміну когнітивних структур суспільства. На відміну від традиційної пропаганди, що має переважно короткостроковий комунікативний ефект, інфільтраційні механізми діють через поступове формування нових смислових рамок, які визначають інтерпретацію соціальних і політичних процесів.

Одним із ключових інструментів такого впливу виступає дискурсивна інфільтрація, що реалізується через систематичне впровадження певних ідеологем, наративів та концептів у публічний простір. Її ефективність зумовлена тим, що трансформація дискурсу відбувається не через прямий примус або відкрите нав'язування позицій, а через поступову зміну смислових координат суспільної комунікації [4, с. 43].

У результаті відбувається переосмислення базових категорій політичного та соціального життя, що впливає на формування громадської думки, політичних рішень та інституційних практик держави.

У цьому контексті важливо підкреслити, що дискурсивна інфільтрація функціонує не лише як інструмент комунікативного впливу, а як механізм нормотворення, який визначає межі допустимого мислення та публічного висловлювання. Вона формує так звані «когнітивні рамки», у межах яких інтерпретуються події, явища та політичні процеси. Як зазначається у працях представників критичного дискурс-аналізу, зокрема Н. Ферклау [14], Т. ван Дейка [15] та Р. Водак [16], дискурс виступає не лише відображенням соціальної реальності, а й інструментом її конструювання.

З огляду на це, дискурсивна інфільтрація може розглядатися як процес нав'язування альтернативних моделей інтерпретації реальності, що поступово витісняють національно орієнтовані смислові конструкції. Такий вплив здійснюється через повторюваність наративів, їх інституційну легітимацію

та інтеграцію в різні сфери суспільного життя — від медіа до академічного середовища.

Водночас ефективність дискурсивної інфільтрації значною мірою посилюється її поєднанням із формативною інфільтрацією, яка забезпечує закріплення відповідних смислових установок на рівні практик, процедур і соціальних норм. Якщо дискурс визначає, як мислити, то формативні механізми впливають на те, як діяти відповідно до цих уявлень.

Формативна інфільтрація реалізується через інституційні канали, що мають довготривалий вплив на процеси соціалізації. Йдеться насамперед про систему освіти, професійну підготовку, кадрову політику, а також процедури оцінювання та стандартизації знань. У цьому сенсі вона має кумулятивний характер: її результати проявляються поступово, але є значно стійкішими порівняно з короткостроковими інформаційними впливами.

З позицій соціології знання та когнітивних досліджень, формативна інфільтрація може бути інтерпретована як процес «вбудовування» зовнішніх смислів у структури повсякденного мислення та професійної діяльності. Вона створює передумови для того, щоб індивіди відтворювали задані моделі поведінки без прямого зовнішнього тиску, сприймаючи їх як природні або нормативні.

Особливої актуальності цей процес набуває в умовах гібридної війни, де ключовим об'єктом впливу виступає не лише інформаційний простір як такий, а й когнітивна сфера суспільства. У цьому вимірі важливим є поняття «когнітивної проникності» (cognitive penetrability), запропоноване З. Пилишиним [18, с. 163], яке описує здатність зовнішніх факторів впливати на базові процеси сприйняття та інтерпретації інформації.

Застосування цього підходу дозволяє глибше зрозуміти механізми інфільтраційного впливу, оскільки йдеться не лише про зміну змісту повідомлень, а про трансформацію самих принципів їх осмислення. Таким чином, зовнішній актор отримує можливість впливати на процес прийняття рішень опосередковано — через зміну когнітивних установок і інтерпретаційних схем.

У практичному вимірі це проявляється у поширенні специфічних термінів, категорій та інтерпретацій, які поступово стають частиною повсякденного мовлення та експертного дискурсу. Наприклад, використання евфемістичних або релятивістських формулювань щодо збройної агресії сприяє розмиванню чітких уявлень про природу конфлікту та відповідальність сторін [21].

Таким чином, взаємодія дискурсивної та формативної інфільтрації формує цілісну систему впливу, що охоплює як символічний, так і інституційний рівні функціонування суспільства. Це дозволяє розглядати їх не як ізольовані явища, а як взаємопов'язані елементи єдиної стратегії трансформації смислового простору та соціальних практик.

Подальший аналіз передбачає розгляд конкретних форм реалізації зазначених стратегій у сучасному українському контексті, зокрема у сфері медіа, політичної риторики, освітнього середовища та цифрових комунікаційних платформ.

Передусім слід зосередитися на медійному середовищі як одному з ключових каналів реалізації дискурсивної інфільтрації. Сучасні медіа, особливо цифрові, виконують не лише функцію передачі інформації, але й виступають активними агентами формування смислових структур. Відповідно до підходів соціології комунікації, медіа формують рамки сприйняття реальності, визначаючи, які події є значущими, як вони інтерпретуються та які оцінки вважаються легітимними [9, с. 380].

У цьому контексті дискурсивна інфільтрація проявляється через систематичне впровадження певних фреймів, метафор і наративів, які поступово змінюють характер суспільного дискурсу. Особливо ефективними є ті стратегії, що поєднують елементи правдивої інформації з маніпулятивними інтерпретаціями, створюючи ефект достовірності. Як показують дослідження [6, с. 5219], використання напівправди дозволяє уникнути прямого спростування та підвищує довіру аудиторії до повідомлень.

Важливим елементом дискурсивної інфільтрації є також стратегія надлишкового інформаційного впливу, відома як модель «firehose of falsehood» [7, с. 12]. Її сутність полягає у масованому поширенні великої кількості взаємосуперечливих повідомлень, що ускладнює для аудиторії процес відбору достовірної інформації. У результаті формується стан інформаційної невизначеності, який знижує рівень довіри до будь-яких джерел та підвищує вразливість до маніпуляцій.

Окремого аналізу потребує феномен клонування медіаресурсів, зокрема в межах кампанії «Doppelgänger» [5]. Створення псевдолегітимних платформ, що імітують відомі медіа, дозволяє інтегрувати дезінформаційні повідомлення у звичне інформаційне середовище користувачів. Це підсилює ефект дискурсивної інфільтрації, оскільки спотворені наративи сприймаються як частина авторитетного джерела.

Поряд із медіа, важливим каналом поширення інфільтраційних впливів виступає політична риторика. Політичне мовлення є інструментом не лише комунікації, але й символічної влади, що визначає рамки публічного обговорення [3, с. 240]. У цьому середовищі дискурсивна інфільтрація реалізується через використання термінології, яка змінює акценти у сприйнятті політичних процесів.

Зокрема, застосування евфемізмів або релятивістських конструкцій («конфлікт» замість «війна», «криза» замість «агресія») сприяє розмиванню чітких уявлень про характер подій [8, с. 69]. Подібні мовні трансформації мають довготривалий ефект, оскільки вони впливають на формування політичної позиції

громадян та легітимізують певні сценарії розвитку подій.

Не менш важливим є вплив на освітній та академічний простір, який виступає основним середовищем формативної інфільтрації. Освіта визначає не лише рівень знань, але й систему цінностей, способи мислення та інтерпретаційні моделі, що використовуються індивідами у подальшій діяльності [13, с. 188].

Формативна інфільтрація у цій сфері реалізується через зміну змісту навчальних програм, впровадження альтернативних історичних інтерпретацій, а також через трансформацію методологічних підходів до викладання соціогуманітарних дисциплін. Як зазначається у дослідженнях [12, с. 33], освітнє середовище може виступати каналом довготривалого впливу на світогляд громадян, особливо в умовах недостатнього контролю за змістом навчальних матеріалів.

Крім того, важливу роль відіграють міжнародні освітні та наукові програми, які, за відсутності належної інституційної фільтрації, можуть слугувати каналами трансляції зовнішніх ідеологічних установок. У цьому випадку формативна інфільтрація відбувається через інтеграцію певних концептуальних рамок у навчальний процес, що впливає на формування професійної ідентичності майбутніх фахівців.

Цифрові платформи та соціальні мережі виступають середовищем, у якому поєднуються механізми дискурсивної та формативної інфільтрації. Їхня специфіка полягає у високому рівні персоналізації контенту та алгоритмічному управлінні інформаційними потоками. Як підкреслюється у відповідних дослідженнях [10, с. 12], це створює умови для точкового впливу на різні аудиторні групи.

У соціальних мережах **дискурсивна інфільтрація** реалізується через поширення мемів, коротких відео, візуальних образів і спрощених наративів, які легко засвоюються та швидко поширюються [19, с. 105]. **Водночас формативна інфільтрація** проявляється у поступовому формуванні певних моделей поведінки та ціннісних орієнтацій через повторюваність контенту та соціальне схвалення відповідних позицій [20, с. 223].

Синергія цих двох форм впливу створює ефект кумулятивної трансформації, коли зміни у мові та змісті комунікації підкріплюються змінами у поведінкових практиках. У результаті формується нова соціальна реальність, у межах якої зовнішньо нав'язані смисли сприймаються як природні та очевидні.

Важливим аспектом є також інституційний рівень реалізації інфільтраційних стратегій. Йдеться про вплив на аналітичні центри, експертні спільноти та механізми вироблення політичних рішень [22]. У цьому середовищі дискурсивна інфільтрація проявляється через формування «експертного консенсусу» навколо певних інтерпретацій подій, тоді як формативна інфільтрація забезпечує закріплення цих інтерпретацій у процедурах прийняття рішень.

У підсумку можна констатувати, що дискурсивна та формативна інфільтрація утворюють багаторівневу систему впливу, яка охоплює когнітивний, комунікативний та інституційний виміри. Їхня ефективність зумовлена не лише використанням сучасних інформаційних технологій, але й здатністю інтегруватися у внутрішні процеси функціонування суспільства.

Це, у свою чергу, вимагає розробки комплексних підходів до протидії, які мають враховувати як змістовий, так і структурний характер інфільтраційних процесів. Йдеться не лише про боротьбу з дезінформацією, але й про формування стійких когнітивних та інституційних механізмів, здатних забезпечити збереження інформаційного суверенітету держави.

У результаті відбувається переосмислення базових категорій політичного та соціального життя, що впливає на формування громадської думки, політичних рішень та інституційних практик держави. При цьому ключовим є те, що трансформація не має відкрито нав'язаного характеру, а відбувається через поступове зміщення інтерпретаційних акцентів, що знижує рівень критичного сприйняття з боку аудиторії.

У цьому контексті доцільно розглянути структурні рівні реалізації дискурсивної інфільтрації. **По-перше**, це рівень термінологічної підміни, коли змінюється не зміст явища, а його мовне позначення. Як показує практика інформаційних кампаній, навіть незначна зміна лексеми може призвести до суттєвого зміщення смислового навантаження. Наприклад, заміна поняття «війна» на «конфлікт» або «криза» створює ефект зниження інтенсивності сприйняття події та частково нівелює питання відповідальності.

По-друге, важливим є рівень наративного конструювання, що передбачає створення цілісних історій або інтерпретаційних моделей, у межах яких окремі факти набувають нового значення. Саме на цьому рівні реалізується стратегія довготривалого впливу, оскільки наративи мають здатність інтегруватися у колективну пам'ять та відтворюватися у різних комунікативних контекстах.

По-третє, слід виділити рівень метадискурсу — тобто дискурсу про сам дискурс. Йдеться про формування уявлень про те, що є «об'єктивною» позицією, «збалансованою» думкою або «професійною» аналітикою. У межах цього рівня особливо активно використовується риторика псевдонейтральності, яка фактично легітимізує включення ворожих наративів у публічний простір під виглядом плюралізму думок.

Зазначені рівні функціонують не ізольовано, а у взаємозв'язку, формуючи багатоваріаційну структуру впливу. Це дозволяє зовнішньому актору досягати ефекту «смилового зсуву» без прямої конфронтації з домінуючими дискурсами.

Водночас формативна інфільтрація забезпечує закріплення цих змін на рівні соціальних практик та інституційних процедур. Її специфіка полягає

в тому, що вона не потребує постійного інформаційного супроводу після початкового впровадження. Достатньо інтегрувати певні норми або підходи у систему освіти, управління чи професійної підготовки, після чого вони починають відтворюватися автоматично.

У цьому сенсі формативна інфільтрація має характер «інституційної інерції». Запроваджені стандарти, методики або підходи продовжують функціонувати навіть за відсутності прямого зовнішнього впливу, оскільки вони закріплюються у нормативних документах, освітніх програмах і професійних практиках.

Особливого значення набуває взаємодія дискурсивної та формативної інфільтрації у сфері публічного управління. Дискурсивний рівень формує уявлення про те, які політики є «раціональними» або «необхідними», тоді як формативний рівень забезпечує їхню імплементацію через адміністративні процедури та управлінські рішення. У результаті відбувається не лише зміна риторики, але й трансформація реальних політичних практик.

Аналіз українського контексту дозволяє виокремити низку специфічних механізмів реалізації інфільтраційних стратегій. Зокрема, у медійному середовищі спостерігається систематичне використання релятивістських конструкцій, що створюють ефект «багатоваріантності істини». Це проявляється у поширенні тез про «складність ситуації», «відсутність однозначних оцінок» або «необхідність врахування позицій усіх сторін» [17, с. 96].

Такі конструкції виконують функцію розмивання чітких смислових орієнтирів і створюють передумови для прийняття компромісних, але стратегічно невідповідних рішень. У довгостроковій перспективі це призводить до зниження рівня суспільної мобілізації та послаблення здатності до колективного спротиву.

У політичному дискурсі інфільтраційні процеси проявляються через поступове впровадження лексики, характерної для зовнішніх ідеологічних систем. Особливо небезпечним є те, що така лексика часто адаптується до національного контексту і подається як внутрішній продукт політичної думки. У результаті виникає ефект «внутрішньої легітимації» зовнішніх наративів.

В освітній сфері формативна інфільтрація проявляється у зміні акцентів навчальних програм, зокрема у гуманітарних дисциплінах. Йдеться про переорієнтацію змісту освіти з формування національної ідентичності на абстрактні універсалістські або релятивістські підходи, що знижують значення державності як цінності [12, с. 33].

Крім того, важливу роль відіграє стандартизація освітніх процесів, яка, з одного боку, сприяє інтеграції у глобальний освітній простір, а з іншого — створює можливості для імпорту зовнішніх моделей мислення без належної адаптації до національного контексту.

У цифровому середовищі інфільтраційні процеси набувають особливої інтенсивності через алгоритмічний характер поширення інформації. Соціальні мережі не лише відображають суспільні настрої, але й активно формують їх, підсилюючи контент, що викликає емоційну реакцію [11]. Це створює сприятливі умови для поширення поляризуючих і маніпулятивних повідомлень.

Важливою характеристикою сучасного етапу є поєднання дискурсивних і формативних механізмів у межах єдиного комунікативного простору. Наприклад, популярні блогери або інфлюенсери можуть одночасно транслювати певні наративи (дискурсивний рівень) і формувати моделі поведінки (формативний рівень), впливаючи на свою аудиторію значно ефективніше, ніж традиційні медіа [23, с. 14].

У підсумку можна констатувати, що інфільтраційні стратегії мають комплексний характер і спрямовані на довготривалу трансформацію як когнітивних, так і інституційних основ функціонування суспільства. Їхня ефективність зумовлена здатністю діяти непомітно, інтегруючись у повсякденні практики та комунікативні процеси.

Це, у свою чергу, вимагає переосмислення підходів до забезпечення інформаційної безпеки. Традиційні методи протидії, орієнтовані на виявлення та спростування дезінформації, є недостатніми для нейтралізації інфільтраційних впливів [2, с. 308]. Необхідним є формування системних механізмів, спрямованих на підвищення когнітивної стійкості суспільства, розвиток критичного мислення та зміцнення інституційної автономії.

У цьому контексті особливого значення набуває розвиток стратегічних комунікацій як інструменту протидії інфільтраційним процесам. Йдеться не лише про інформування, але й про активне формування національного дискурсу, який здатний конкурувати з зовнішніми наративами та забезпечувати смислову цілісність суспільства [24, с. 85].

Узагальнюючи наведений матеріал, доцільно виділити кілька рівнів функціонування інфільтраційних процесів, які взаємодіють між собою та забезпечують їхню ефективність. *Перший рівень* — когнітивний, на якому відбувається формування індивідуальних уявлень, переконань і схем інтерпретації реальності. Саме на цьому рівні дискурсивна інфільтрація здійснює первинний вплив, впроваджуючи нові смисли та змінюючи логіку їхнього осмислення.

Другий рівень — комунікативний, який охоплює процеси поширення та відтворення смислів у публічному просторі. Тут ключову роль відіграють медіа, соціальні мережі, політична риторика та експертні коментарі. На цьому рівні відбувається закріплення наративів через їх повторюваність, варіативність і адаптацію до різних аудиторій.

Третій рівень — інституційний, що передбачає інтеграцію відповідних смислів і норм у структури

управління, освіти та професійної діяльності. Саме тут реалізується формативна інфільтрація, яка трансформує правила функціонування соціальних систем і забезпечує довготривале відтворення заданих моделей поведінки.

Взаємодія цих рівнів створює ефект замкненого циклу: когнітивні зміни впливають на комунікацію, комунікація — на інституції, а інституції, у свою чергу, закріплюють і відтворюють відповідні когнітивні установки. У результаті формується самопідтримувана система впливу, яка не потребує постійного зовнішнього втручання (див. рис. 1).

Візуалізація зазначеного циклу (див. рис. 1) демонструє, як зовнішні наративи, долаючи фільтри

комунікативного рівня, трансформують індивідуальну когніцію та згодом закріплюються у формальних правилах функціонування держави. У цьому контексті доцільно говорити про феномен «інституціоналізованого дискурсу», коли певні інтерпретаційні моделі закріплюються у нормативних документах, освітніх стандартах і професійних практиках. Це означає, що дискурсивна інфільтрація переходить у формативну фазу, набуваючи ознак стабільної соціальної структури.

Окремої уваги потребує питання латентності інфільтраційних процесів. На відміну від відкритих форм інформаційного впливу, вони не мають чітко вираженого початку або завершення, що ускладнює



Рис. 1. Модель взаємодії та самовідтворення рівнів інфільтраційного впливу

їх ідентифікацію та аналіз. Більше того, значна частина таких процесів може сприйматися як природна еволюція суспільства, що додатково підвищує їхню ефективність.

Саме тому ключовою проблемою є розробка інструментів виявлення інфільтраційних впливів. У цьому контексті перспективним є використання комплексних методів аналізу, що поєднують дискурс-аналіз, контент-аналіз, мережеві підходи та інституційний аналіз. Така методологічна синергія дозволяє виявляти не лише окремі прояви впливу, але й їх системні зв'язки.

Зокрема, мережевий аналіз дає можливість ідентифікувати структури поширення наративів та ключових акторів, які виступають ретрансляторами інфільтраційних меседжів. Контент-аналіз дозволяє кількісно оцінити частоту використання певних термінів і концептів, тоді як дискурс-аналіз — розкрити їх прихований смисловий зміст.

Інституційний аналіз, у свою чергу, спрямований на виявлення змін у нормативних документах, процедурах і практиках, що можуть свідчити про формативну інфільтрацію. Поєднання цих підходів створює основу для формування системи раннього попередження щодо інфільтраційних загроз.

У практичному вимірі це означає необхідність переходу від реактивної моделі протидії до проактивної. Якщо традиційна інформаційна безпека орієнтована на реагування на вже здійснені інформаційні атаки, то протидія інфільтраційним процесам має бути спрямована на попередження їх виникнення та мінімізацію умов для їх реалізації [1].

Це передбачає, зокрема, розвиток національних систем стратегічних комунікацій, які повинні виконувати не лише функцію інформування, але й формування стійких смислових рамок. Важливим

є також підвищення рівня медіаграмотності населення, що дозволяє зменшити вразливість до маніпулятивних впливів [6].

Не менш значущим є забезпечення інституційної автономії освітніх і наукових установ, що передбачає прозорість фінансування, чіткі критерії оцінювання програм і механізми запобігання конфлікту інтересів. Це дозволяє знизити ризики формативної інфільтрації через освітні та академічні канали.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що дискурсивна та формативна інфільтрація є взаємопов'язаними складовими єдиного процесу, спрямованого на трансформацію когнітивного та інституційного середовища суспільства. Їхня специфіка полягає у здатності діяти приховано, поступово змінюючи як спосіб мислення, так і практики соціальної взаємодії.

У цьому контексті особливої ваги набуває формування концептуальної моделі протидії, яка має враховувати багаторівневий характер інфільтраційних процесів. Така модель повинна поєднувати елементи інформаційної політики, освітньої стратегії та інституційного розвитку, забезпечуючи комплексний підхід до захисту інформаційного суверенітету.

З метою узагальнення викладеного матеріалу та систематизації ключових відмінностей між досліджуваними формами впливу доцільно представити їх у порівняльному вигляді. Такий підхід дозволяє не лише чіткіше окреслити специфіку кожного з феноменів, але й продемонструвати їхню взаємодоповнюваність у межах єдиної інфільтраційної стратегії.

Узагальнені сутнісні характеристики дискурсивної та формативної інфільтрації наведено в таблиці 1.

Як видно з наведених характеристик, дискурсивна та формативна інфільтрація мають різні, але взаємопов'язані функції. Перша забезпечує зміну смислового поля, створюючи підґрунтя для прийняття

Таблиця 1

Порівняльна характеристика дискурсивної та формативної інфільтрації

Категорія	Дискурсивна інфільтрація	Формативна інфільтрація
Мета	Трансформація системи значень, смислів та інтерпретацій	Формування поведінкових норм і інституційних практик
Об'єкт впливу	Мова, наративи, символічні структури, політичний дискурс	Освітні системи, управлінські процедури, професійні стандарти
Механізм дії	Впровадження фреймів, ідеологем, метафор, категорій	Інституціоналізація норм через освіту, політики та регламенти
Інструменти	Медіа, політична риторика, культурні продукти, аналітика	Навчальні програми, стандарти, кадрові практики, регуляції
Часова шкала	Довгострокова (накопичувальна трансформація свідомості)	Середньо- та довгострокова (закріплення через практики)
Інституційна база	Медіа, культурні інституції, експертні середовища	Освітні установи, державні органи, міжнародні програми
Типовий прояв	Релятивізація понять («конфлікт» замість «війна»)	Впровадження зовнішніх стандартів без адаптації
Кінцевий ефект	Зміна сприйняття реальності та ідентичності	Формування відтворюваних моделей поведінки

Джерело: складено автором на основі аналізу [1–24]

нових інтерпретацій, тоді як друга закріплює ці зміни на рівні соціальних і інституційних практик.

У цьому контексті доцільно розглядати їх як дві фази єдиного процесу: дискурсивна інфільтрація виконує роль підготовчого етапу, формуючи нові когнітивні рамки, тоді як формативна інфільтрація забезпечує їх матеріалізацію та відтворення в суспільстві.

Важливим є те, що ефективність інфільтраційних стратегій значною мірою залежить від узгодженості цих двох рівнів. У випадку, коли дискурсивні зміни не підкріплюються інституційними механізмами, їх вплив має обмежений і тимчасовий характер. Натомість інтеграція дискурсивних і формативних елементів створює стійку систему трансформації, яка здатна функціонувати автономно.

Це дозволяє пояснити, чому окремі наративи, навіть після їх спростування або втрати актуальності, продовжують впливати на суспільну свідомість. Вони вже закріплені у практиках, процедурах і нормах, що забезпечує їх подальше відтворення незалежно від початкового джерела.

Узагальнюючи результати дослідження, можна сформулювати авторські визначення ключових понять, що відображають їхню сутнісну специфіку.

Дискурсивна інфільтрація — це цілеспрямований процес впровадження у публічний і професійний дискурс зовнішніх смислових конструкцій, наративів та ідеологем, спрямований на трансформацію системи інтерпретацій і легітимаційних механізмів у суспільстві.

Формативна інфільтрація — це процес інституційного закріплення зовнішньо детермінованих норм, стандартів і моделей поведінки, що забезпечує їх довготривале відтворення через освітні, управлінські та професійні практики.

Таким чином, обидва феномени утворюють єдину систему впливу, що поєднує когнітивний і інституційний рівні трансформації. Їх взаємодія дозволяє здійснювати глибинний вплив на суспільство, змінюючи не лише його інформаційне середовище, але й базові принципи функціонування.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження дозволяє зробити узагальнений висновок про те, що в умовах сучасного гібридного протистояння інформаційний вплив набуває якісно нових форм, що виходять за межі традиційних уявлень про пропаганду чи дезінформацію. Ключовими інструментами такого впливу виступають дискурсивна та формативна інфільтрація, які функціонують як взаємопов'язані механізми трансформації когнітивного та інституційного середовища суспільства.

Дискурсивна інфільтрація забезпечує зміну смислових рамок через впровадження наративів, категорій та інтерпретацій, які визначають спосіб осмислення соціально-політичної реальності. Її дія спрямована не на миттєве переконання,

а на поступове формування нової логіки мислення, в межах якої зовнішньо нав'язані смисли сприймаються як природні та легітимні.

Формативна інфільтрація, у свою чергу, виконує функцію закріплення цих змін на рівні інституційних практик. Вона реалізується через освітні системи, управлінські процедури, стандарти та кадрову політику, забезпечуючи довготривале відтворення заданих моделей поведінки. Її ключовою характеристикою є ефект інституційної інерції, що дозволяє зберігати вплив навіть за відсутності прямого зовнішнього втручання.

У результаті взаємодії цих двох механізмів формується цілісна багаторівнева система впливу, яка охоплює:

- когнітивний рівень (зміна уявлень і інтерпретацій),
- комунікативний рівень (поширення і нормалізація наративів),
- інституційний рівень (закріплення норм і практик).

Їх синергія створює ефект самопідтримуваної трансформації, коли зміни у дискурсі підкріплюються інституційними механізмами, а інституції, у свою чергу, відтворюють відповідні когнітивні установки. Це дозволяє розглядати інфільтраційні процеси як довготривалий і латентний інструмент впливу, спрямований на зміну не лише інформаційного поля, але й основ функціонування суспільства.

Аналіз українського контексту засвідчує, що дискурсивна та формативна інфільтрація є важливими складовими гібридної агресії, оскільки вони спрямовані на:

- розмивання смислових орієнтирів;
- трансформацію колективної пам'яті;
- послаблення інституційної спроможності держави;
- зниження рівня суспільної мобілізації.

У цьому зв'язку доведено, що традиційні підходи до забезпечення інформаційної безпеки, орієнтовані переважно на протидію дезінформації, є недостатніми. Протидія інфільтраційним процесам потребує переходу до комплексної моделі, яка поєднує:

- розвиток стратегічних комунікацій;
- формування стійкого національного дискурсу;
- підвищення рівня медіаграмотності;
- зміцнення інституційної автономії освітніх і наукових систем;
- впровадження механізмів раннього виявлення інфільтраційних впливів.

Важливим результатом дослідження є концептуалізація дискурсивної та формативної інфільтрації як двох фаз єдиного процесу: перша формує когнітивні передумови трансформації, тоді як друга забезпечує їх інституційне закріплення. Такий підхід дозволяє перейти від фрагментарного аналізу інформаційних впливів до системного розуміння механізмів гібридної війни.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці прикладних методик ідентифікації

інфільтраційних процесів, кількісних індикаторів їх впливу, а також у формуванні інтегрованих моделей забезпечення когнітивної та інформаційної стійкості держави.

Отже, дискурсивна та формативна інфільтрація постають як ключові інструменти сучасного

геополітичного протистояння, здатні здійснювати глибинну та довготривалу трансформацію суспільства. Усвідомлення їх природи та механізмів функціонування є необхідною умовою формування ефективної стратегії захисту інформаційного суверенітету України.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Гребньов Г. Інформаційні аспекти гібридної війни Росії проти України. *Український інформаційний простір*. 2023. № 2(13). С. 41–50. URL: <https://www.researchgate.net/publication/372013621> (дата звернення: 06.04.2026).
2. Калетнік В.В., Калетнік Н.В. Інформаційна безпека і кіберзахист як сучасна інтелектуальна зброя. *Молодий вчений*. 2021. Вип. 93 (№ 5). С. 305–311. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-58>
3. Пшеничний С.О. Гібридна війна у сучасному соціально-політичному дискурсі: нові стратегії дослідження. *Вісник НІОУ імені Ярослава Мудрого. Серія: Філософія, філософія права, політологія, соціологія*. 2024. Том. 3, № 62. С. 237–247. DOI: <https://doi.org/10.21564/2663-5704.62.310950>
4. Яворська Г.М. Гібридна війна як дискурсивний конструкт: аналіз зміщення смислів у політичному мовленні. *Стратегічні пріоритети: Серія: Політика*. 2016. № 4. С. 41–48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sppol_2016_4_7 (дата звернення: 06.04.2026).
5. Alaphilippe A., Machado G., Miguel R., Poldi F. Doppelgänger — Media clones serving Russian propaganda / A. Alaphilippe, G. Machado, R. Miguel, F. Poldi. Brussels: EU DisinfoLab, 27.09.2022. URL: <https://www.disinfo.eu/doppelganger> (дата звернення: 06.04.2026).
6. Park C. Y., Mendelsohn J., Field A., Tsvetkov Y. Challenges and Opportunities in Information Manipulation Detection: A Examination of Wartime Russian Media. *Findings of the Association for Computational Linguistics*. 2022. P. 5209–5235. URL: <https://arxiv.org/abs/2205.12382> (дата звернення: 06.04.2026).
7. Paul C., Matthews M. The Russian “Firehose of Falsehood” Propaganda Model: Why It Might Work and Options to Counter It / C. Paul, M. Matthews. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2016. 16 с. URL: <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE198.html> (дата звернення: 06.04.2026).
8. Полюжний М., Юричко І. Вживання евфемізмів у сучасному політичному дискурсі. *Молодий вчений*. 2023. Вип. 10 (122). С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-10-122-14>
9. Gamson W. A., Croteau D., Hoynes W., Sasson T. Media Images and the Social Construction of Reality. *Annual Review of Sociology*. 1992. Vol. 18, № 1. P. 373–393.
10. Propaganda and Misinformation on Facebook and Twitter during the Russian Invasion of Ukraine / F. Pierri et al. arXiv, 2022. 20 p.
11. Проць А. Алгоритми соцмереж та інформаційні бульбашки: виклики для журналістики. *Медіакритика*. URL: <http://mediakrytyka.lnu.edu.ua/ohlyady-analytika/alhorytmy-sotsmerezhy-ta-informatsiyni-bulbashky-vyklyky-dlya-zhurnalistyky.html> (дата звернення: 06.04.2026).
12. Будагянц Л.М. Гібридна війна в освітньому вимірі. *Гібридна війна у соціогуманітарному просторі: збірник наукових праць*. 2022. С. 29–37. URL: <https://www.academia.edu/91601810> (дата звернення: 06.04.2026).
13. Маринець Н.В., Кондратюк-Антонова Т.В., Поліщук Н.В. Роль освіти у формуванні процесу пізнання: філософський аналіз. *Культурологічний альманах*. 2024. № 2. С. 185–192. URL: <https://doi.org/10.31392/cult.alm.2024.2.22> (дата звернення: 06.04.2026).
14. Fairclough N. Critical Discourse Analysis: The Critical Study of Language / N. Fairclough. London: Longman, 1995. 265 p. URL: <https://www.felsemiotica.com/descargas/Fairclough-Norman-Critical-Discourse-Analysis-The-Critical-Study-of-Language.pdf> (дата звернення: 06.04.2026).
15. van Dijk T. A. Elite Discourse and Racism / T. A. van Dijk. Newbury Park, CA: SAGE, 1993. 336 p. URL: <https://discourses.org/wp-content/uploads/2022/07/Teun-A.-van-Dijk-Elite-Discourse-and-Racism.pdf> (дата звернення 12.06.2025).
16. Wodak R., Meyer M. Critical Discourse Analysis: Discourse-Historical Approach. *Methods of Critical Discourse Analysis*. 2009. P. 63–94. URL: https://www.researchgate.net/publication/280621881_Critical_Discourse_Analysis_Discourse-Historical_Approach (дата звернення 12.06.2025).

17. Карпенко О.В., Цимбаленко Я.Ю., Савченко Н.В. Дезінформаційна інфільтрація: феномен виникнення та механізми протидії. *Стратегія економічного розвитку України*. 2025. № 57. С. 90–103. DOI: <https://doi.org/10.33111/sedu.2025.57.090.103>
18. Pylyshyn Z. W. The cognitive penetrability of early vision. *Philosophical Psychology*. 1999. Vol. 12, № 3. P. 343.
19. Булах М.Б. Аспектологія Досліджень Мемів. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер.: Філологія*. 2019. Том. 3, № 39. С. 104–107. DOI: <https://doi.org/10.32841/2409-1154.2019.39.3.23>
20. Данько-Сліпцова А.А., Коваленко Н.А., Жорнокуй У.В. Вплив соціальних мереж на формування громадської думки під час кризових ситуацій: соціологічний аспект. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Філологія. Журналістика*. 2024. Т. 35(74), № 3. С. 218–226. DOI: <https://doi.org/10.32782/2710-4656/2024.3.2/35>
21. Печерський А. Як мова конструює реальність війни. *ArmyInform*. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnau_2022_2_34 (дата звернення: 06.04.2026).
22. Шостак А. Аналітичні центри в Україні: особливості та виклики роботи. *Громадський простір*. URL: <https://www.prostir.ua/?library=analitichni-tsentry-v-ukrajini-osoblyvosti-ta-vykyky-roboty> (дата звернення: 06.04.2026).
23. Якимець А.О. Роль інфлюенсерів у висвітленні військових подій: вплив на інформаційне поле та громадську думку: бакал. квал. робота. Київ. стол. ун-т імені Бориса Грінченка. Київ, 2025. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/55135> (дата звернення: 06.04.2026).
24. Казмірук Д. Роль стратегічної комунікації в забезпеченні національної безпеки України в умовах гібридної війни. *Вісник Прикарпатського університету. Серія: Політологія*. 2025. № 20. С. 82–88. DOI: <https://doi.org/10.32782/2312-1815/2025-20-11>

References

1. Hrebnov, H. (2023). Informatsiini aspekty hibrydnoi viiny Rosii proty Ukrainy [Information aspects of Russia's hybrid war against Ukraine]. *Ukrainskyi informatsiynyi prostir*, 2(13), 41–50. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/372013621> [in Ukrainian].
2. Kaletnik, V.V., & Kaletnik, N.V. (2021). Informatsiina bezpeka i kiberzakhyst yak suchasna intelektualna zbroia [Information security and cyber defense as a modern intellectual weapon]. *Molodyi vchenyi*, 5(93), 305–311. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-58> [in Ukrainian].
3. Pshenychnyi, S.O. (2024). Hibrydna viina u suchasnomu sotsialno-politychnomu dyskursi: novi stratehii doslidzhennia [Hybrid war in contemporary socio-political discourse: New research strategies]. *Visnyk Natsionalnoho yurydychnoho universytetu imeni Yaroslava Mudroho. Serii: Filosofii, filosofii prava, politolohiia, sotsiolohiia*, 3(62), 237–247. <https://doi.org/10.21564/2663-5704.62.310950> [in Ukrainian].
4. Iavorska, H.M. (2016). Hibrydna viina yak dyskursyvnyi konstrukt: analiz zmishchennia smysliv u politychnomu movlenni [Hybrid war as a discursive construct: Analysis of meaning shifts in political speech]. *Stratehichni priorytety. Serii: Polityka*, 4, 41–48. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/sppol_2016_4_7 [in Ukrainian].
5. Alaphilippe, A., Machado, G., Miguel, R., & Poldi, F. (2022, September 27). *Doppelgänger — Media clones serving Russian propaganda*. Brussels: EU DisinfoLab. Retrieved from <https://www.disinfo.eu/doppelganger>
6. Park, C.Y., Mendelsohn, J., Field, A., & Tsvetkov, Y. (2022). Challenges and opportunities in information manipulation detection: An examination of wartime Russian media. *Findings of the Association for Computational Linguistics*, 5209–5235. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2205.12382>
7. Paul, C., & Matthews, M. (2016). *The Russian “firehose of falsehood” propaganda model: Why it might work and options to counter it*. Santa Monica, CA: RAND Corporation. Retrieved from <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE198.html>
8. Poliuzhnyi, M., & Yurychko, I. (2023). Vzhivannia evfemizmv u suchasnomu politychnomu dyskursi [The use of euphemisms in modern political discourse]. *Molodyi vchenyi*, 10(122), 67–73. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-10-122-14> [in Ukrainian].
9. Gamson, W.A., Croteau, D., Hoynes, W., & Sasson, T. (1992). Media images and the social construction of reality. *Annual Review of Sociology*, 18(1), 373–393.
10. Pierri, F., et al. (2022). *Propaganda and misinformation on Facebook and Twitter during the Russian invasion of Ukraine*. arXiv.
11. Prots, A. (n.d.). Alhorytmy sotsmerezkh ta informatsiini bulbashky: vykyky dlia zhurnalistyky [Social media algorithms and information bubbles: Challenges for journalism]. *Mediakrytyka*. Retrieved from <http://mediakrytyka.lnu.edu.ua/ohlyady-analytika/alhorytmy-sotsmerezkh-ta-informatsiyni-bulbashky-vykyky-dlya-zhurnalistyky.html> [in Ukrainian].
12. Budahiants, L.M. (2022). Hibrydna viina v osvithnomu vymiri [Hybrid war in the educational dimension]. In *Zbirnyk naukovykh prats “Hibrydna viina u sotsiohumanitarnomu prostori”* (pp. 29–37). Retrieved from <https://www.academia.edu/91601810> [in Ukrainian].
13. Marynets, N.V., Kondratiuk-Antonova, T.V., & Polishchuk, N.V. (2024). Rol osvity u formuvanni protsesu piznannya: filosofskyi analiz [The role of education in shaping the process of cognition: A philosophical analysis]. *Kulturolohichni almanakh*, 2, 185–192. <https://doi.org/10.31392/cult.alm.2024.2.22> [in Ukrainian].

14. Fairclough, N. (1995). *Critical discourse analysis: The critical study of language*. London: Longman.
15. van Dijk, T. A. (1993). *Elite discourse and racism*. Newbury Park, CA: SAGE.
16. Wodak, R., & Meyer, M. (2009). Critical discourse analysis: Discourse-historical approach. In *Methods of critical discourse analysis* (pp. 63–94). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/280621881_Critical_Discourse_Analysis_Discourse-Historical_Approach
17. Karpenko, O. V., Tsymbalenko, Ya. Iu., & Savchenko, N. V. (2025). Dezinformatsiina infiltratsiia: fenomen vynyknennia ta mekhanizmy protydii [Disinformation infiltration: Emergence and counteraction mechanisms]. *Stratehiia ekonomichnoho rozvytku Ukrainy*, 57, 90–103. <https://doi.org/10.33111/sedu.2025.57.090.103> [in Ukrainian].
18. Pylyshyn, Z. W. (1999). The cognitive penetrability of early vision. *Philosophical Psychology*, 12(3), 343.
19. Bulakh, M. B. (2019). Aspektolohiia doslidzhen memiv [Aspectology of meme studies]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriia: Filolohiia*, 3(39), 104–107. <https://doi.org/10.32841/2409-1154.2019.39.3.23> [in Ukrainian].
20. Danko-Sliptsova, A. A., Kovalenko, N. A., & Zhornokui, U. V. (2024). Vplyv sotsialnykh merezh na formuvannia hromadskoi dumky pid chas kryzovykh sytuatsii: sotsiologichnyi aspekt [The influence of social networks on public opinion formation during crisis situations: A sociological aspect]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: Filolohiia. Zhurnalistyka*, 35(74)(3), 218–226. <https://doi.org/10.32782/2710-4656/2024.3.2/35> [in Ukrainian].
21. Pecherskyi, A. (n.d.). Yak mova konstruiiue realnist viiny [How language constructs the reality of war]. *ArmyInform*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnau_2022_2_34 [in Ukrainian].
22. Shostak, A. (n.d.). Analitychni tsentry v Ukraini: osoblyvosti ta vyklyky roboty [Think tanks in Ukraine: Features and challenges]. *Hromadskyi prostir*. Retrieved from <https://www.prostir.ua/?library=analitchni-tsentry-v-ukrajini-osoblyvosti-ta-vyklyky-roboty> [in Ukrainian].
23. Iakymets, A. O. (2025). Rol influenseriv u vysvitleni viiskovykh podii: vplyv na informatsiine pole ta hromadsku dumku [The role of influencers in covering military events: Impact on the information field and public opinion] (Bachelor's thesis). Borys Hrinchenko Kyiv Metropolitan University. Retrieved from <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/55135> [in Ukrainian].
24. Kazmiruk, D. (2025). Rol stratehichnoi komunikatsii v zabezpechenni natsionalnoi bezpeky Ukrainy v umovakh hibrydnoi viiny [The role of strategic communication in ensuring national security of Ukraine under hybrid war conditions]. *Visnyk Prykarpatskoho universytetu. Seriia: Politolohiia*, 20, 82–88. <https://doi.org/10.32782/2312-1815/2025-20-11> [in Ukrainian].

Зеліско Галина Володимирівна

кандидат фізико-математичних наук, доцент

Львівський національний університет імені Івана Франка

Zelisko Halyna

PhD in Physics and Mathematics Sciences

Ivan Franko National University of Lviv

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12029

ПРО БУДОВУ ІДЕАЛІВ В УЛЬТРАДОБУТКАХ НЕТЕРОВИХ V-ОБЛАСТЕЙ

ON THE STRUCTURE OF IDEALS IN THE ULTRAPRODUCTS OF THE NOETHERIAN V-DOMAINS

Анотація. Встановлено існування природної системи твірних лівих ідеалів в ультрадобутку нетерових V-областей за деяким ультрафільтром.

Ключові слова: Ультрадобуток кілець, нетерове кільце, V-кільце, максимальний ідеал, природна система твірних.

Summary. The existence of a natural system of generators for the left ideals in the ultraproduct of Noetherian V-domains under some ultrafilter is established.

Key words: Ultraproduct of rings, Noetherian ring, V-ring, maximal ideal, natural system of generators.

Класична конструкція редукованого добутку та його часткового випадку ультрадобутку множин добре зарекомендувала себе в алгебрі, математичній логіці, топології та інших розділах математики. Метод ультрадобутків запропонував у 1954 році польський математик Лось, потім цей метод використовували в роботах [1–5]. Виникла потреба описати ліві ідеали в ультрадобутках чи ультрастепенях нетерових V-областей відносно неголовного ультрафільтру над деякою нескінченною множиною, зокрема над множиною натуральних чисел.

Нехай $\{R_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ — сім'я нетерових V-областей з одиницею. Нагадаємо, що V-кільцем називається асоціативне кільце з одиницею, над яким всі прості ліві та всі прості праві модулі є ін'єктивними. Якщо D — неголовний ультрафільтр над $\mathbb{N}$, то через $R = \left(\prod_{i \in \mathbb{N}} R_i \right) / D$ позначимо ультрадобуток цієї сім'ї кілець за ультрафільтром D . Припустимо, що A_i — лівий ідеал в R_i для кожного $i \in \mathbb{N}$.

Тоді $A = \left(\prod_{i \in \mathbb{N}} A_i \right) / D$ буде лівим ідеалом в R , який

називатимемо основним лівим ідеалом у кільці R . Загальновідомо, що в нетерових V-областях довільний максимальний лівий ідеал є не більш ніж двопородженим, тобто цей ідеал породжений не більше, ніж двома елементами. Тому всі основні максимальні

ліві ідеали в ультрадобутку $R = \left(\prod_{i \in \Omega} R_i \right) / D$ також

є не більш, ніж двопородженими. Множину всіх основних максимальних лівих ідеалів кільця

$R = \left(\prod_{i \in \Omega} R_i \right) / D$ позначимо $Lmspec^{(bs)}(R)$. Кожний

елемент $r \in R$ визначає головну замкнуту підмножину

$\mathbb{V}(r) = \{M \in Lmspec^{(bs)}(R) \mid r \in M\}$ множини

$Lmspec^{(bs)}(R)$. Тоді можна розглянути Δ -фільтр над множиною головних замкнутих підмножин.



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Зображення лівого ідеалу I кільця R у вигляді перетину максимальних лівих ідеалів $I = \bigcap_{i \in \Lambda} M_i$ називається нескоротним, якщо для кожного $\beta \in \Lambda$ правильним є співвідношення $I \neq \bigcap_{i \in \Lambda \setminus \{\beta\}} M_i$.

В нетеровій V-області S кожний власний лівий ідеал є перетином максимальних лівих ідеалів. Для будь-якого лівого власного ідеалу I такої області лівий модуль S/I є артіновим і нетеровим одночасно, тому володіє композиційним рядом, довжина якого є інваріантом ідеалу I . Цю довжину називають довжиною лівого ідеалу I і позначають $l(I)$. При вивченні лівих ідеалів в кільці R потрібне поняття нестандартної довжини основних лівих ідеалів. Стандартно позначаємо через $\mathbb{N}_0$ півкільце натуральних чисел з нулем, а через $\bar{\mathbb{N}}_0$ ультрастепені сім'ї екземплярів $\mathbb{N}_0$, заіндексований елементами $i \in \Omega$, стосовно того ж ультрафільтру, за яким беремо ультрадобуток кілець $\{R_i\}_{i \in \Omega}$. Елементи з $\bar{\mathbb{N}}_0$ називатимемо нестандартними натуральними числами, оскільки $\bar{\mathbb{N}}_0$ є нестандартною моделлю арифметики Пеано. Тоді нестандартною довжиною $\tilde{l}$ (A) основного ідеалу $A = \left(\prod_{i \in \Omega} A_i \right) / D$ назовемо нестандартне натуральне число $\tilde{m} = \overline{l(A_i)_{i \in \Omega}}$, $\tilde{m} \in \bar{\mathbb{N}}_0$.

Нехай задано зліченну послідовність максимальних ідеалів $\{M_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ кільця $R = \left(\prod_{i \in \mathbb{N}} R_i \right) / D$. Тоді вважатимемо, що $M_i = \left(\prod_{j \in \mathbb{N}} M_{ij} \right) / D$, $i \in \mathbb{N}$, де M_{ij} — максимальний ідеал кільця R_j , $i \in \mathbb{N}$, або $M_{ij} = R_j$, якщо ідеал M_{ij} не є основним. Через $\Delta\{M_i \mid i \in \mathbb{N}\}$ позначимо такий максимальний ідеал кільця R :

$$\overline{(M_{11}, M_{21} \cap M_{22}, \dots, M_{n1} \cap M_{n2} \cap \dots \cap M_{nm}, \dots)}$$

У загальному випадку, якщо $\tilde{m} = \overline{(m_i)_{i \in \mathbb{N}}}$ — нестандартне натуральне число, то через $\Delta\{M_i \mid i \leq \tilde{m}\}$ позначимо ідеал

$$\overline{(M_{11} \cap \dots \cap M_{1m_1}, M_{21} \cap \dots \cap M_{2m_2}, \dots, M_{i1} \cap \dots \cap M_{im_i}, \dots)}$$

У випадку, коли всі R_i є нетеровими V-областями, цей ідеал можна вибрати однозначно.

Надалі будемо вважати, що послідовність максимальних ідеалів $\{M_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ має таку властивість: $\bigcap_{i=1}^n M_i \subsetneq M_{n+1}$ для кожного $i = 1, 2, \dots$. Такі послідовності будемо називати нефінітарними. Маючи таку послідовність атомів, з допомогою будь-якого ультра-

фільтру F над $\mathbb{N}$ можемо визначити деякий лівий ідеал кільця R який позначимо $I(M, F)$. Цей ідеал задається рівністю

$$I(M, F) = \sum_{U \in F} \left(\bigcap_{i \in U} M_i \right).$$

Відомо, що існує єдиний максимальний ідеал кільця $R = \left(\prod_{i \in \mathbb{N}} R_i \right) / D$ в якому міститься лівий ідеал $I(M, F)$, позначатимемо його через $\overline{I(M, F)}$.

Нехай задано нестандартне натуральне число $\tilde{n} \in \bar{\mathbb{N}}_0$. Припустимо, що $\tilde{n} = \overline{(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots)}$, де $n_k \in \mathbb{N}_0$ для кожного $k \in \mathbb{N}$. Тоді для кожного $i \in \mathbb{N}$ розглянемо симетричну групу S_{n_i} і матимемо сім'ю скінченних груп $\{S_{n_i}\}_{i \in \mathbb{N}}$. Тепер можемо побудувати

$$\text{ультрадобуток } \left(\prod_{i \in \mathbb{N}} S_{n_i} \right) / D \text{ сім'ї груп } \{S_{n_i}\}_{i \in \mathbb{N}}$$

відносно того ж ультрафільтру, відносно якого побудовано ультрадобуток сім'ї кілець $\{R_i\}_{i \in \mathbb{N}}$. Ми отримали групу $S_{\tilde{n}}$, яку називатимемо псевдосиметричною групою. Якщо $\lim_{i \rightarrow \infty} n_i = \infty$, то потужність групи $S_{\tilde{n}}$ є не меншою, ніж континуум. Отже, $S_{\tilde{n}}$ — континуальна група для кожного нестандартного натурального числа $\tilde{n} \in \bar{\mathbb{N}}$, яке не є стандартним. Зазначимо, що задання групи $S_{\tilde{n}}$ не залежить від вибору представника $(n_1, n_2, \dots, n_k, \dots)$ в класі еквівалентності $\tilde{n}$. Якщо $\tilde{\sigma} \in S_{\tilde{n}}$, то вважатимемо, що $\tilde{\sigma} = \overline{(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \dots)}$, де $\sigma_k \in S_{n_k}$ для кожного $k \in U$, де U — деяка множина з D .

Тепер візьмемо довільний ідеал вигляду

$$\Delta\{M_{\tilde{m}} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\} \subset I(M, F),$$

де $\{M_i\}_{i=1}^\infty$ така послідовність максимальних ідеалів кільця R , що $\bigcap_{i=1}^n M_i \subsetneq M_{n+1}$ для кожного $n \in \mathbb{N}$ і F — неголовний ультрафільтр над $\mathbb{N}$. Для кожної псевдопідстановки $\tilde{\sigma} \in S_{\tilde{n}}$ і для кожного максимального ідеалу $M_{\tilde{m}}$, де $\tilde{m} \leq \tilde{n}$, який складається з елементів вигляду

$$\overline{(m_{i_1 1}, m_{i_2 2}, \dots, m_{i_k k}, \dots)},$$

де $m_{i_1 1} \in M_{i_1 1}$, $m_{i_2 2} \in M_{i_2 2}, \dots, m_{i_k k} \in M_{i_k k}, \dots$, тобто

$$M_{\tilde{m}} = \overline{(M_{i_1 1}, M_{i_2 2}, \dots, M_{i_k k}, \dots)},$$

одержуємо новий максимальний ідеал

$$M_{\tilde{\sigma}(\tilde{m})} = \overline{(M_{\sigma_1(i_1)1}, M_{\sigma_2(i_2)2}, \dots, M_{\sigma_k(i_k)k}, \dots)},$$

який складається з елементів

$$\overline{(m_{\sigma_1(i_1)1}, m_{\sigma_2(i_2)2}, \dots, m_{\sigma_k(i_k)k}, \dots)}.$$

Зокрема, ми одержали нову послідовність максимальних ідеалів

$$\tilde{\sigma}(M) = \{M_{\tilde{\sigma}(i)}\}_{i \in \mathbb{N}},$$

яка має ту ж властивість, що й M , тобто

$$\bigcap_{i=1}^n M_{\tilde{\sigma}(i)} \subsetneq M_{\tilde{\sigma}(n+1)}$$

для кожного $n \in \mathbb{N}$. Легко бачити, що

$$\Delta\{M_{\tilde{m}} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\} = \Delta\{M_{\tilde{\sigma}(\tilde{m})} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\}$$

для кожної псевдопідстановки $\tilde{\sigma} \in S_{\tilde{n}}$.

Продовжимо дію псевдосиметричної групи на множині злічених послідовностей максимальних ідеалів вигляду $M_{\tilde{m}}$ на множину ідеалів вигляду $I(N, F)$, де N пробігає зліченні нескінченні послідовності максимальних ідеалів, всі компоненти яких є ідеалами типу M_{ij} , $i, j \in \mathbb{N}$, причому таких, що

$$\Delta\{N_{\tilde{m}} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\} = \Delta\{M_{\tilde{m}} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\}.$$

При цьому послідовність максимальних ідеалів M вважаємо фіксованою. Для спрощення ідеал $M_{\tilde{\sigma}(i)}$ позначатимемо через N_i . Тоді послідовність $\tilde{\sigma}(M)$ співпадає з послідовністю $\{N_i\}_{i \in \mathbb{N}}$. Одержуємо новий лівий ідеал $I(N, F)$ кільця R . Покладемо $\tilde{\sigma} \cdot I(M, F) = I(N, F)$. Вияснимо, якими повинні бути псевдопідстановка $\tilde{\sigma}$ і ультрафільтр F , щоб ліві ідеали $I(M, F)$ і $I(N, F)$ були різними.

Твердження 1. Якщо для кожного $i \in \mathbb{N}$ довжини орбіт підстановок σ_i не є обмеженими, то ідеали $I(M, F)$ і $I(N, F)$ є різними.

Доведення. Нехай для кожного $i \in \mathbb{N}$ $\sigma_i = \tau_i \sigma_i$, де τ_i — цикл довжини k_i і припустимо, що $\lim_{i \rightarrow \infty} k_i = \infty$. Розіб'ємо множину чисел $\{1, 2, \dots, n_i\}$ на дві підмножини A_i і B_i так, щоб $\sigma_i(A_i) \subseteq B_i$ і $A_i \cap B_i = \emptyset$. Ми можемо вважати, що

$$\text{Card} A_i = \text{Card} B_i = n_i / 2,$$

якщо n_i є парним, або ж

$$\text{Card} A_i = \text{Card} B_i = (n_i - 1) / 2,$$

якщо n_i — непарне. Тому $\lim_{i \rightarrow \infty} \text{Card} A_i = \infty$.

Розглянемо дві множини максимальних ідеалів

$$X = \{M_{\tilde{m}} \mid m_i \in A_i \text{ для всіх } i \in \mathbb{N}\}$$

та

$$Y = \{M_{\tilde{m}} \mid m_i \in B_i \text{ для всіх } i \in \mathbb{N}\}.$$

Тоді ідеали $A = \Delta\{M_{\tilde{m}} \mid X\}$ і $B = \Delta\{M_{\tilde{\sigma}(\tilde{m})} \mid Y\}$

не перетинаються і $A \in I(M, F)$, $B \in I(N, F)$. Твердження доведено.

Твердження 2. Існує не менше, ніж континуум послідовностей $N_\alpha = \{N_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ максимальних лівих ідеалів кільця R , кожний з яких має вигляд

$$M_{\tilde{m}} = \overline{(M_{i_1 1}, M_{i_2 2}, \dots, M_{i_k k}, \dots)}$$

для деякого нестандартного натурального числа $\tilde{m} \leq \tilde{n}$ і таких, що $I(N_\alpha, F) \neq I(N_\beta, F)$ для $\alpha \neq \beta$.

Доведення. Оскільки $\lim_{i \rightarrow \infty} n_i = \infty$, то максимальна кількість циклів кожної з груп S_{n_i} збільшується зі збільшенням номера i . Отже, потужність множини псевдопідстановок, довжини орбіт яких не є обмеженими, є не менша, ніж континуум. Якщо з кожної пари взаємно обернених підстановок залишити тільки одну підстановку, то залишиться континуальна множина псевдопідстановок. Тоді за твердженням 1 одержуємо континуум попарно різних лівих ідеалів вигляду $I(N_\alpha, F)$. Твердження доведено.

Оскільки множина ультрафільтрів над множиною $\mathbb{N}$ має потужність $2^{2^{\aleph_0}}$, то елемент $\Delta\{M_{\tilde{m}} \mid \tilde{m} \leq \tilde{n}\}$ міститься в $2^{2^{\aleph_0}}$ попарно різних максимальних лівих ідеалах кільця R .

Твердження 3. Нехай F — Δ -ультрафільтр замкнутих підмножин множини $Lmspec^{(bs)}(R)$, які відповідають лівому максимальному ідеалу $I(M, F)$. Якщо існує зліченна послідовність $N = \{N_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ таких максимальних ідеалів кільця R , що для кожної головної замкнутої підмножини $S = \mathbb{V}(a) \in F$ множина $S \cap \{N_i\}_{i \in \mathbb{N}}$ є непорожньою, то існує такий ультрафільтр G над множиною $\mathbb{N}$, що

$$\overline{I(N, G)} = I(N, G) = \overline{I(M, F)}.$$

Доведення. Нагадаємо, що

$$\mathbb{V}_N(a) = \{i \in \mathbb{N} \mid a \in N_i\}.$$

З умов твердження випливає, що $\mathbb{V}_N(a) \neq \emptyset$ для кожного $a \in \overline{I(M, F)}$. Легко перевірити, що множина

$$G = \{\mathbb{V}_N(a) \mid a \in \overline{I(M, F)}\}$$

є ультрафільтром над множиною $\mathbb{N}$. Очевидно, що

$$I(N, G) \supseteq \overline{I(M, F)}.$$

Оскільки ідеал $\overline{I(M, F)}$ є максимальним ідеалом,

то $I(N, G) = \overline{I(M, F)}$. Твердження доведено.

Означення. Система твірних

$$\{a_i\}_{i \in [0; \alpha_0]} \text{ і } \{b_i\}_{i \in [0; \alpha_0]}$$

лівого ідеалу I нетерової V-області R називається природною системою твірних, якщо виконуються такі умови:

П.С.Т.1. Для кожного неграничного числа $\beta \in [0; \alpha_0)$ елементи a_β і b_β виражаються через елементи $a_{\beta-1}$ і $b_{\beta-1}$;

П.С.Т.2. Для кожного граничного числа $\beta \in [0; \alpha_0)$ елементи a_β і b_β виражаються через елементи a_0 і b_0 ;

П.С.Т.3. α_0 є найменшим граничним трансфінітним числом, для якого існує система твірних ідеалу I , пронумерована трансфінітними числами, що належать інтервалу $[0; \alpha_0)$ і для якої виконуються властивості П.С.Т.1 та П.С.Т.2.

Твердження 4. Для довільного лівого ідеалу I нетерової V -області R існує така система твірних

$$\{a_i\}_{i \in [0; \alpha_0]} \text{ і } \{b_i\}_{i \in [0; \alpha_0]},$$

де α_0 є граничним трансфінітним числом, що виконуються умови П.С.Т.1, П.С.Т.2 та П.С.Т.3.

Доведення. Нехай β_0 — трансфінітне число і I — довільний ідеал в R . Виберемо довільні ненульові елементи $a_0, b_0 \in I$, які будуть входити в систему твірних. Нехай для деякого трансфінітного числа $[0; \beta_0)$ для кожного $\beta \in [0; \alpha)$ елементи $a_\beta \in I$ і $b_\beta \in I$ з системи твірних вже вибрані, причому для

$$\{a_i\}_{i \in [0; \alpha)} \text{ і } \{b_i\}_{i \in [0; \alpha)}$$

виконуються умови П.С.Т.1 і П.С.Т.2.

Якщо лівий ідеал I_α , породжений системами твірних a_β і b_β , $\beta < \alpha$ співпадає з I , то ми вже маємо потрібну природну систему твірних. Нехай $I \neq I_\alpha$ і α є граничним трансфінітним числом. Очевидно, що $I_\alpha \subset I$ і існують ненульові елементи $c_1, c_2 \in I \setminus I_\alpha$. Розглянемо лівий ідеал

$$(Ra_0 + Rb_0) + (Rc_1 + Rc_2) = Ra_\alpha + Rb_\alpha.$$

Якщо α не є граничним трансфінітним числом, то a_α і b_α визначаємо з рівності

$$Ra_\alpha + Rb_\alpha = (Ra_{\alpha-1} + Rb_{\alpha-1}) + (Rc_1 + Rc_2).$$

Оскільки природна система твірних не може мати потужність, більшу за потужність кільця, то існує таке трансфінітне число $\alpha_0 \leq \beta_0$, для якого

$$\sum_{\alpha < \alpha_0} (Ra_\alpha + Rb_\alpha) = I,$$

причому α_0 можна вважати граничним. Насправді, якщо α_0 не є граничним трансфінітним числом, то повторимо наші міркування, використовуючи елементи

$$\{a_i\}_{i < \alpha_0} \text{ і } \{b_i\}_{i < \alpha_0},$$

але побудову почнемо з найбільших правих спільних дільників елементів a_0, a_α і b_0, b_α .

Перевіримо виконання умови П.С.Т.3. Кажемо, що трансфінітне число α має властивість φ , якщо існують системи твірних

$$\{a_i\}_{i \in [0; \alpha)} \text{ і } \{b_i\}_{i \in [0; \alpha)},$$

які задовольняють умови П.С.Т.1 і П.С.Т.2. Множина всіх трансфінітних чисел, які володіють властивістю φ є непорожньою, тому має максимальний елемент α_0 . Отже, ми знайшли α_0 з умови П.С.Т.3. Твердження доведено.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Bell J. L., Slomson A. B. Models and ultraproducts, an introduction. Amsterdam, North-Holland, 1969. 319 p.
2. Cherlin G. L. Ideals of integers in nonstandard number fields. Model Theory and Algebra, eds D. Saracino and Weispfenning V., Springer Lecture Notes. Berlin, 1975. No 498. P. 60–90.
3. Cozzens J., Faith C. Simple Noetherian rings. Cambridge, 1975. 135p.
4. Jensen C. U., Lenzing H. Model theoretic algebra: with particular emphasis on fields, rings, modules. Amsterdam, Gordon and Breach Science Publishers, 1989. 443 p.
5. Kochen S. Ultraproducts in the theory of models. Ann. Math., ser. 2, 1961. No 74. P. 221–261.

Ткаченко Іван Семенович*доктор економічних наук, професор**Хмельницький національний університет***Tkachenko Ivan***Doctor of Economic Sciences, Professor**Khmelnitskyi National University*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12037

ПОБУДОВА ДВОВИМІРНОЇ ТАБЛИЦІ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ ЗА ЗНАЧЕННЯМ ЇХ ОСТАННЬОЇ ЦИФРИ

CONSTRUCTION TWO-WORLD TABLE OF SIMPLE NUMBERS BEYOND THE VALUES OF THE REMAINING NUMBERS

Анотація. Здійснено побудову двовимірної таблиці простих чисел за ознакою значення їх останніх цифр (1,3,7,9). Для цього запроваджено алгоритм формування відповідних арифметичних прогресій з виключенням із них добутків двох чисел що дають ідентичну останню цифру до даної прогресії, а також уточнено поняття про прості числа близнюки.

Ключові слова: Прості числа, остання цифра простого числа, двовимірна таблиця, послідовність, близнюк, двойнюк, двойняшка, тройняшка, четверняшка.

Summary. A two-dimensional table of prime numbers has been created by sign of the value of their remaining digits (1,3,7,9). For this purpose, an algorithm has been proposed for the formation of similar arithmetic progressions by excluding from them the additions of two numbers so that the remaining digit is identical to the given progression, and also the concept of prime twin numbers has been clarified.

Key words: Prime numbers, remaining digit of a prime number, two-dimensional table, sequence, twin, twin, twin, triplet, quadruplet.

Вступ та Постановка проблеми. Прості числа. Начебто все вичерпано з точки зору формування так званої таблиці їх значень [1; 2], але ж фактично це є проста послідовність, з якої видно що всі вони мають конкретну останню цифру, а саме: 1, 3, 7, або 9. Це може бути підставою для побудови дійсно таблиці *упорядкованих* простих чисел за ознакою значення останньої цифри. Числа з такими цифрами утворюють нескінченні арифметичні прогресії $\div a_0 + nd$ з початковими членами відповідно $a_0 = 1, 3, 7, 9$ та різницею $d = 10$, а також задамо обмежуючу кількість їх елементів n щоби засвідчити результативність алгоритму для побудови двовимірної таблиці.

Нехай $n = 12$, таким чином маємо чотири арифметичні прогресії:

$\div 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101, 111;$
 $\div 3, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73, 83, 93, 103, 113;$
 $\div 7, 17, 27, 37, 47, 57, 67, 77, 87, 97, 107, 117;$
 $\div 9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89, 99, 109, 119.$

Елементами цих прогресій є як прості числа так і добутки найменше двох чисел, які закінчуються відповідно цифрами 1,3,7 та 9, а це можуть бути зрозуміло такі варіанти:

для одиниці будуть добутки чисел що закінчуються обоє цифрами 1 і 1 ($11 \cdot 11 = 121$), або 9 і 9 ($19 \cdot 9 = 171$) та 3 і 7 ($13 \cdot 7 = 91$), чи 7 і 3 ($17 \cdot 3 = 51$);

для трійки це будуть фактично дві пари чисел що закінчуються цифрами 1 і 3 ($11 \cdot 3 = 33$) чи 3 і 1 ($13 \cdot 11 = 143$) та 7 і 9 ($7 \cdot 9 = 63$) чи 9 і 7 ($19 \cdot 7 = 133$);



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

для сімки це також фактично будуть дві пари чисел що закінчуються цифрами 1 і 7 ($11 \cdot 7 = 77$) чи 7 і 1 ($17 \cdot 11 = 187$) та 3 і 9 ($3 \cdot 19 = 57$) чи 9 і 3 ($9 \cdot 13 = 117$);

для дев'ятки відповідно будуть такі пари чисел що закінчуються цифрами 1 і 9 ($11 \cdot 9 = 99$) чи 9 і 1 ($19 \cdot 21 = 399$), 3 і 3 ($23 \cdot 3 = 69$), або 7 і 7 ($17 \cdot 7 = 119$);

у всіх арифметичних прогресій присутні також числа що діляться на три та на дев'ять, а це може бути додатковим критерієм для перевірки чисел чи є воно складеним чи простим. В прогресіях, що закінчуються на 1 і 9, маємо по три пари відповідних добутоків, а ті що на 3 і 7 по дві, а це означає що при однаковій чисельності членів відповідних арифметичних прогресій n , кількість простих чисел більше буде саме у другої пари, тобто у тих які закінчуються на 3 і 7.

Зазначені умови є правилами алгоритму визначення чи є відповідний член арифметичної прогресії складеним числом, а якщо ні, тоді стає зрозумілим що він є дійсно просте число.

Таким чином, склалися передумови побудови двовимірної таблиці ($4 \times n$), де рядками є члени відповідних арифметичних прогресій, а стовпчики визначаються їх останніми цифрами (1, 3, 7, 9). Винятком є тільки прості числа нульового десятка 2, 3, 5, 7. Складені числа в таблиці для кожної прогресії записані як добутки червоним кольором.

З таблиці видно присутність певних груп чисел, які прийнято називати *близнюки*, *двойнюки*, *двойняшки*, *тройняшки* (3, 5, 7; 41, 43, 47; 223, 227, 229; 311, 313, 317) і *четверняшки* (11, 13, 17, 19; 101, 103, 107, 109; 191, 193, 197, 199) [3]. Чисті (справжні) *близнюки* визначаються двома парами чисел, що закінчуються на 1 і 3 та 7 і 9 й належать до різних п'ятірок, а числа між ними завжди діляться на 6, а відповідні пари простих чисел що закінчуються на 9 і 1 назвемо *двойнюки*, тому що відповідні числа хоч мають різницю між собою 2, але належать сусіднім десяткам, так для пари простих чисел 29 і 31,

59 і 61 між ними 30 та 60, які діляться 2, 3, 5, 6 і 10, а іншу пару простих чисел, які закінчуються на 3 і 7, назвемо *двойняшками* тому, що для пар 13 і 17, 43 і 47 різниця між подібними числами дорівнює 4, а також знаходяться ще й числа що діляться окремо на 2, 3 та 5 (14, 15, 16; 44, 45, 46).

Ці властивості також дійсні й для всіх подальших значень простих чисел при збільшенні значення n .

Висновки.

1. У певній кількості публікацій [1; 2; 3] прості числа представляють як начебто таблиці, а фактично вони не є двовимірними таблицями, а є переліком дійсно простих чисел у вигляді числової послідовності.

2. Всі прості числа закінчуються цифрами 1, 3, 7 та 9, що є ознакою для їх систематизації у вигляді двовимірної таблиці, як такої, а це свідчить про те, що таким чином відбувається виокремлення чотирьох самостійних послідовностей та відкриває простір для пошуку їх нових властивостей.

3. Таблиця дає також можливість спостерігати наявність чи відсутність простих чисел, або навіть їх скупченості, в кожному окремому десятку, а якщо почати послідовність з 2, 3, 5, 7 та надалі до неї послідовно додавати з кожного наступного десятку їх прості числа отримаємо всім відому нескінченну послідовність.

4. Скупченість простих чисел в кожній десятці виявляється у вигляді уточненого поняття близнюк: справжні близнюки, двойняки, двойняшки; тройняшек і четверняшек, а це є фактично для кожної з чотирьох послідовностей відповідними вузлами їх єдності. З таблиці видно що за рахунок появи двойняків з'являється гіпотетична можливість виникнення п'ятерняшек або навіть і шестерняшек, але теоретично це не є можливо.

5. З збільшенням значення n щільність простих чисел для кожної з чотирьох визначених послідовностей зменшується, тобто кількість складених чисел зростає для кожної з них, а прості числа через це самовіддаляються.

Таблиця 1

Побудова двовимірної таблиці простих чисел сформованої за значенням останньої цифри (фрагмент)

1	3	7	9 = 3*3
11	13	17	19
21 = 3*7	23	27 = 3*9	29
31	33 = 3*11	37	39 = 3*13
41	43	47	49 = 7*7
51 = 3*17	53	57 = 19*3	59
61	63 = 7*9	67	69 = 23*3
71	73	77 = 7*11	79
81 = 9*9	83	87 = 29*3	89
91 = 13*7	93 = 3*31	97	99 = 11*9
101	103	107	109
111 = 3*37	113	117 = 13*9	119 = 17*7
121 = 11*11	123 = 3*41	127	129 = 43*3

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Бородин О. І. Теорія чисел. Радянська школа. К., 1965, 262 с.
2. *OEIS підтримується численними щедрими донорами Фонду OEIS.* URL: <https://oeis.org/search?q=13%2C23%2C43%2C73%2C...&go=%D0%9F%D0%BE%D1%88%D1%83%D0%BA> (дата звернення: 01.04.2026).
3. Прості числа-близнюки. *Вікіпедія.* URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B0-%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D1%8E%D0%BA%D0%B8 (дата звернення: 01.04.2026).

УДК 821.581.1

Трунова Олена Сергіївна

асистент кафедри мов і літератур

Далекого Сходу та Південно-Східної Азії

ННІФ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Trunova Olena

Assistant at the Department of Languages and Literatures

of the Far East and Southeast Asia

Educational and Scientific Institute of Philology

Taras Shevchenko National University of Kyiv

ORCID: 0009-0006-6928-8534

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12038

ХУДОЖНЯ СПЕЦИФІКА ПОЕТИКИ ПОВСЯКДЕННОСТІ У ТВОРЧОСТІ СЮЙ ЛІЧЖІ

ARTISTIC SPECIFICITY OF THE POETICS OF EVERYDAY LIFE IN THE WORK OF XU LIZHI

Анотація. У статті досліджується художня специфіка поетики повсякденності у творчості сучасного китайського поета Сюй Лічжі. Актуальність роботи зумовлена зростанням інтересу до так званої «низової поезії» та переосмисленням ролі повсякденного досвіду в сучасному літературному процесі Китаю. Метою дослідження є виявлення особливостей художнього осмислення буденності, а також аналіз тематичних і стилістичних домінант у поезії автора. У статті розглянуто ключові мотиви творчості Сюй Лічжі, зокрема репрезентацію праці, відчуження, тілесності та соціальної маргіналізації, а також простежено специфіку мовної організації текстів, що характеризується лаконізмом, документальністю та емоційною стриманістю. У результаті встановлено, що поетика повсякденності у творчості Сюй Лічжі функціонує як засіб художнього відтворення досвіду сучасної людини в умовах індустріального суспільства.

Ключові слова: Сюй Лічжі, поетика повсякденності, низова поезія.

Summary. The article explores the artistic specificity of the poetics of everyday life in the work of the contemporary Chinese poet Xu Lizhi. The relevance of the work is due to the growing interest in the so-called «grassroots poetry» and the rethinking of the role of everyday experience in the contemporary literary process of China. The aim of the study is to identify the features of the artistic understanding of everyday life, as well as to analyze the thematic and stylistic dominants in the author's poetry. The article examines the key motifs of Xu Lizhi's work, in particular the representation of labor, alienation, corporeality and social marginalization, and also traces the specificity of the linguistic organization of texts, which is characterized by laconism, documentary and emotional restraint. As a result, it is established that the poetics of everyday life in Xu Lizhi's work functions as a means of artistic reproduction of the experience of modern person in the conditions of industrial society.

Key words: Xu Lizhi, poetics of everyday life, grassroots poetry.

Сучасна китайська поезія характеризується активним зверненням до повсякденного досвіду як важливого об'єкта художнього осмислення. Особливе місце у цьому контексті посідає творчість Сюй Лічжі — представника так званої «низової поезії»,

у якій відображено досвід праці, соціальної маргіналізації та внутрішнього відчуження. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю аналізу поетики повсякденності як специфічного художнього явища у сучасному літературному процесі Китаю. Метою



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

статті є виявлення художньої специфіки поетики повсякденності у творчості Сюй Лічжі.

У сучасному літературознавстві поетика повсякденності розглядається як важливий спосіб художнього осмислення реальності, що передбачає зосередження уваги на звичних, буденних аспектах людського життя. У контексті сучасної китайської поезії така поетика набуває особливого значення у зв'язку з трансформаціями соціального та культурного простору, зокрема процесами урбанізації, індустріалізації та зміною ціннісних орієнтирів. У цьому середовищі формується так звана «низова поезія» (底层写作), яка репрезентує досвід соціально вразливих груп населення та орієнтується на відтворення повсякденного життя без ідеалізації [1]. Цей термін виник у 1990-х роках і відображає умови життя людей низького класу у період соціальних перетворень [2].

Одним із найяскравіших представників цього напрямку є Сюй Лічжі (许立志) (28 липня 1990–30 вересня 2014) — поет, творчість якого безпосередньо пов'язана з досвідом праці на промисловому підприємстві [3]. Його поезія відзначається увагою до буденності, що постає не як нейтральний фон, а як ключовий змістовий і художній компонент. У віршах автора повсякденність осмислюється як простір існування людини в умовах механізованого виробництва, що зумовлює специфіку відтворення світу у його поезіях.

Таким чином, поетика повсякденності у творчості Сюй Лічжі виступає не лише тематичною характеристикою, а й визначає особливості художньої організації тексту, що потребує окремого аналізу.

Важливим аспектом аналізу творчості Сюй Лічжі є виявлення ключових тематичних домінант, через які реалізується поетика повсякденності. Передусім у його поезії центральне місце займає тема праці, що постає як монотонний, виснажливий процес, позбавлений індивідуального сенсу. Візьмемо до прикладу вірш «Я проковтнув місяць, зроблений із заліза» («我咽下一枚铁做的月亮»):

我咽下一枚铁做的月亮
他们管它叫做螺丝
我咽下这工业的废水，失业的订单
那些低于机台的青春早早夭亡
我咽下奔波，咽下流离失所
咽下人行天桥，咽下长满水锈的生活
我再咽不下了
所有我曾经咽下的现在都从喉咙汹涌而出
在祖国的领土上铺成一首
耻辱的诗

Тут Сюй Лічжі описує буденність, як травматичний досвід. «Залізо» символізує частину буденного індустріального середовища. Автор згадує юнаків-робітників, які розчинилися в робочій рутині фабрики. Тут повсякденність постає як простір

травматичного досвіду, пов'язаного з монотонною працею та фізичним виснаженням.

Повсякденністю Сюй Лічжі виступала фабрика та тяжка праця, відповідно і вірші зосереджуються на робітниках і робітничому класі [4]. Його поезія зазвичай розкриває безпорадність життя, марний крик, відчай та глибоку огиду до робочого середовища. Повсякденне життя Сюй Лічжі — конвеєр фабрики та понаднормова робота, про це він пише у вірші «Гвинт падає на землю» («一螺钉螺丝掉在地上»):

一螺钉螺丝掉在地上 原个加班之夜	<i>Гвинт падає на землю У цю ніч понаднормової роботи</i>
垂直降落，轻轻一响	<i>Падає вертикально, з легким відлунням</i>
不会有人注意 像以前一样 某个电影之夜 一个人摔倒在地	<i>Не приверне нічийої уваги Як і раніше В іншу подібну ніч Людина впала на землю</i>

Гвинт тут уособлює робітників, які покінчили життя самогубством, стрибаючи з дахів заводів, на яких працювали. Така доля спіткала і самого поета, адже він покінчив життя самогубством, вистрибнувши з вікна 17-го поверху. Образ гвинта підкреслює те, що людина належить до елемента виробничого механізму, де індивідуальність повністю нівелюється, а контраст між механічною природою гвинта і людською трагедією посилює ефект дегуманізації. Вірш побудований на ефекті приглушеності: падіння не супроводжується драматизмом, а навпаки — розчиняється у повсякденному шумі фабрики. Автор вибудовує прихований паралелізм між механічним об'єктом і людиною, де падіння гвинта функціонує як алегорія людського падіння. Вірш репрезентує поетику повсякденності через використання буденних образів виробничого середовища, що замінюють традиційно «високу» поетичну символіку. Стиль вірша характеризується лаконізмом і відсутністю

*Я проковтнув місяць, зроблений із заліза
Вони називають це гвинтом
Я ковтав ці промислові стічні води, втратив роботу
Ті юнаки, які померли молодими, нижче рівня машин
Я проковтнув труднощі, проковтнув міграцію
Прокотнув пішохідний міст, проковтнув іржаве життя
Я більше не можу ковтати
Все, що проковтнув, викидається з горла
На батьківщині викладено вірш
Вірш сорому*

ускладнених тропів, що відповідає загальній тенденції «низової поезії».

Проаналізувавши поетичні твори «Я проковтнув місяць, зроблений із заліза» та «Гвинт падає на землю», бачимо що обидва вірші демонструють

різні рівні репрезентації травматичного досвіду: від метафорично ускладненого до максимально буденного. Художня специфіка поетики повсякденності у творчості Сюй Лічжі виявляється передусім у особливостях поетичної мови та образної системи. Насамперед варто відзначити лаконізм у його поезії: автор використовує короткі, синтаксично прості конструкції, що створює ефект емоційної стриманості та внутрішнього виснаження ліричного суб'єкта.

Особливим є і поетичне мовлення Сюй Лічжі. У віршах відсутня традиційна «висока» поетична лексика; натомість домінує мова повсякденного спілкування, що наближує поетичний текст до реального досвіду робітника. Така стилістична стратегія відповідає загальним тенденціям так званої «низової поезії», яка свідомо відмовляється від естетизації дійсності.

Окремої уваги заслуговує специфіка образності. Поет активно використовує предметні, матеріальні образи виробничого середовища (залізо, гвинти, фабричні механізми), які набувають символічного значення. Проте ця символіка не є ускладненою або багатопаровою у традиційному розумінні, а, навпаки, функціонує через свою зовнішню простоту, що підсилює ефект буденності.

Важливим аспектом є також мотив дегуманізації, який реалізується через ототожнення людини з елементами виробничого механізму. У цьому контексті поетика повсякденності виступає як спосіб репрезентації втрати індивідуальності та перетворення людини на функціональний елемент системи. У творі «Конвеєр, моя юність залишилась тут» («车间，我的青春在此搁浅») він описує умови праці робітників: «Біля конвеєра десятки тисяч робітників шикуються, як слова на сторінці» («流水线旁，万千打工者一字排开») / «Швидше, швидше!» («快，再快») / «Стоючи серед них я чую крик керівника» («站立其中，我听到线长急切的催促») / «Як тільки ти зайшов до майстерні, єдиний вибір — це покор» («既已来到车间选择的只能是服从») [5]. Крім того, для поезії Сюй Лічжі характерна так звана «поетика тиші», що виявляється у відсутності відкритого драматизму навіть у зображенні трагічних подій. Події, які мають екзистенційне значення, подаються як звичайні, майже непомітні явища, що розчиняються у рутині повсякденного життя.

Аналіз поетичних творів Сюй Лічжі дозволяє виокремити низку ключових мотивів, через які реалізується поетика повсякденності. Передусім це мотив праці, що постає як монотонний, виснажливий процес, позбавлений індивідуального сенсу. Робота

у фабричному середовищі зображується не як засіб самореалізації, а як форма існування, що підпорядковує собі людину.

Іншим важливим мотивом є відчуження, яке проявляється як на соціальному, так і на особистому рівні. Ліричний суб'єкт не відчуває зв'язку ні з оточенням, ні з власним життям, що підсилює відчуття ізоляції.

Значне місце займає також мотив смерті, який у поезії Сюй Лічжі позбавлений традиційної трагічної піднесеності і подається як буденне явище. Смерть не є винятковою подією, а сприймається як частина повсякденного існування.

Важливим є і мотив механізації людини, що виявляється у постійному зіставленні людського життя з функціонуванням машин і виробничих процесів. Це підкреслює загальну тенденцію до знеособлення людини до рівня об'єкта. Усі ці мотиви разом формують цілісну картину повсякденності як простору травматичного досвіду.

Просторово-часова організація поезії Сюй Лічжі також підпорядкована принципам поетики повсякденності. Простір постає як замкнений і одноманітний — це фабрика, виробничі приміщення, урбанізоване середовище, що не передбачає виходу [6]. Час, у свою чергу, має циклічний характер і пов'язаний із повторюваністю робочих процесів, що підсилює ефект відчуження безвиході.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що поетика повсякденності у творчості Сюй Лічжі виступає ключовим принципом художньої організації тексту. Вона реалізується не лише на тематичному рівні, але й визначає специфіку поетичної мови, образної системи та поетичних прийомів. Аналіз віршів «Я проковтнув місяць, зроблений із заліза», «Гвинт падає на землю» та «Конвеєр, моя юність залишилась тут» показав, що повсякденність у поезії автора постає як простір травматичного досвіду, пов'язаний із монотонною працею, соціальним відчуженням і дегуманізацією людини. Встановлено, що художня специфіка поетики повсякденності виявляється у лаконізмі поетичної мови, прозаїзації стилю, використанні буденних образів та відсутності традиційної поетичної символіки. Водночас саме ці прості образи набувають глибокого символічного значення, репрезентуючи складні соціальні проблеми. Таким чином, поезія Сюй Лічжі демонструє новий тип художнього мислення, у якому повсякденність перестає бути нейтральним фоном і перетворюється на центральний об'єкт естетичного мислення.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автор не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Авторі заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. He Xiaozhu. Underground Writing in China. *Modern Chinese Literature Studies*. URL: <https://u.osu.edu/mclc/online-series/vancrivel2/> (дата звернення: 17.04.2026).
2. 王晓华. 当代文学如何表达底层? — 从底层写作的立场之争说起. 2006. URL: <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=049ac6f5a308a5a6c40bf1645bb030d1&tn> (дата звернення: 09.04.2026).
3. 许立志. 新的一天. 北京: 作家出版社. 2015. 239 с.
4. 一首诗. 一颗螺丝掉在地上. URL: <https://cendalirit.blogspot.com/2019/03/20190328.html> (дата звернення: 17.04.2026).
5. The poetry and brief life of a Foxconn worker: Xu Lizhi (1990–2014). 2014. URL: <https://chuangcn.org/2014/10/the-poetry-and-brief-life-of-a-foxconn-worker-xu-lizhi-1990-2014/> (дата звернення: 18.04.2026).
6. Walsh M. China's Migrant Worker Poetry. *Asia-Pacific Journal*. 2017. Vol.15(4). URL: <https://apjjf.org/2017/12/walsh> (дата звернення: 10.04.2026).

Kovernikov Oleksii

Business with specialization in International Trade

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12030

FAMILY BUSINESS AS A FACTOR OF STABILITY IN INTERNATIONAL JEWELRY TRADE: THE EXPERIENCE OF KOVE JEWELRY S.R.O.

Summary. This article examines the role of the family business model in ensuring the stability and competitiveness of companies engaged in international jewelry trade. Using the example of the Czech company Kove Jewelry s.r.o., the article analyzes the managerial, logistical, and commercial advantages of family entrepreneurship in the B2B segment. Special attention is given to issues of trust, quality control, long-term partnerships, and adaptation to demand fluctuations in the European gold jewelry market. The conclusion is made that the family management model contributes to reducing transaction costs and increasing business resilience in conditions of high price and regulatory volatility.

Key words: family business, international trade, jewelry industry, B2B market, gold, supply chains, business resilience.

Introduction. International jewelry trade is characterized by a high dependency on precious metal prices, currency fluctuations, changes in consumer demand, and regulatory requirements. In these conditions, business stability is determined not only by the scale of operations but also by the quality of management decisions, speed of adaptation, and the level of trust between supply chain participants.

Family businesses are traditionally seen as a special form of entrepreneurship, combining economic goals with a long-term focus on maintaining reputation and stability. In the jewelry industry, where reliability of supply, quality control, and confidentiality of commercial terms are critically important, the family management model can provide a significant competitive advantage.

The aim of this article is to analyze family business as a factor of sustainable development in international jewelry trade using the example of Kove Jewelry s.r.o., a company engaged in wholesale supply of gold jewelry to countries in Central and Eastern Europe.

1. Family Business in the System of International Trade

Family enterprises account for a significant share of the global economy, especially in the sectors of trade, manufacturing, and services. Their key feature is the concentration of managerial functions within the family, which ensures a high level of control over both strategic and operational processes.

In international trade, this manifests in the following aspects:

- Reduction of agency and management costs;
- High degree of decision-making coherence;
- Focus on long-term partnerships rather than short-term profits;
- Increased attention to reputation and commitment to obligations.

For the jewelry business, these factors are of particular importance since deals are often associated with high costs, delayed payments, and complex logistics.

2. Specifics of the European Jewelry B2B Market

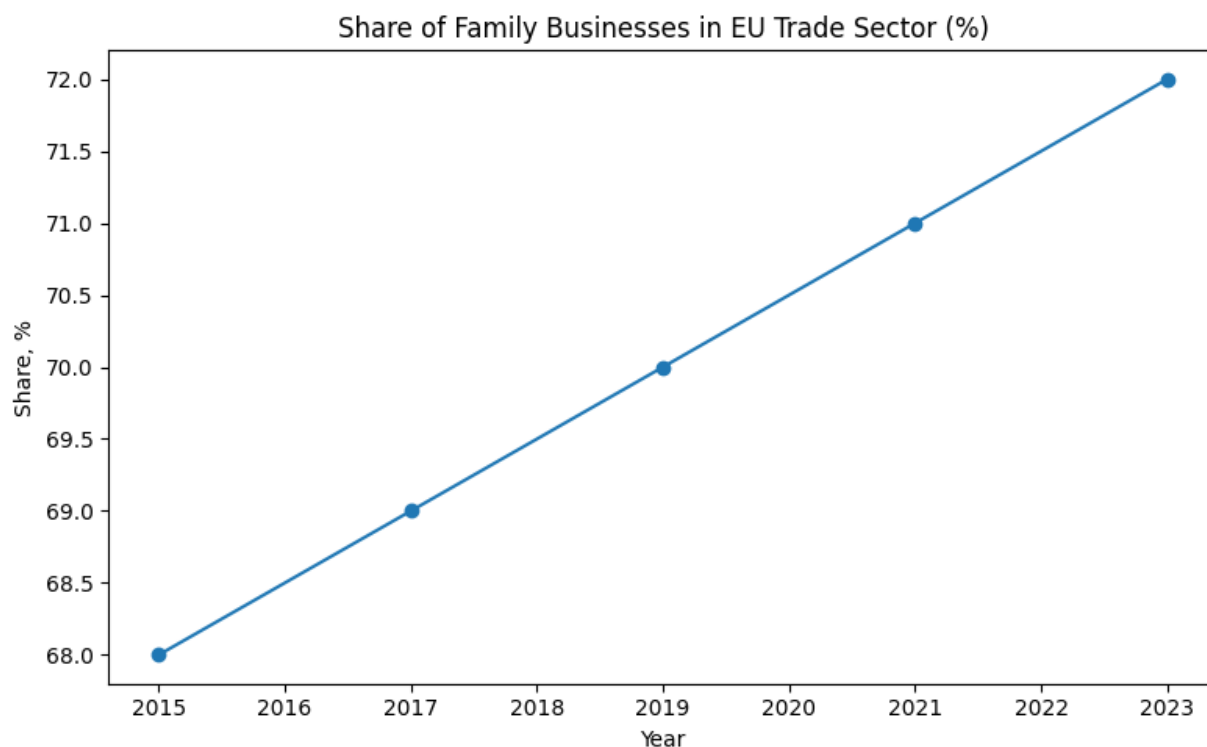
The European jewelry market is characterized by a fragmented structure and a predominance of the B2B model. The main buyers are retail chains, jewelry boutiques, and regional distributors. Demand is formed not only under the influence of fashion trends but also with consideration of local preferences, purchasing power, and the investment attractiveness of gold.

In these conditions, the key success factors are:

- Accurate demand forecasting;
- Flexible product range;
- Reliable supply channels;
- The ability to work with multiple countries simultaneously.

Kove Jewelry s.r.o. has built a business model based on the preliminary analysis of customer needs and the formation of orders with manufacturers in Italy and Turkey tailored to specific demand, which





differentiates it from traditional wholesale intermediaries.

3. Family Management Model at Kove Jewelry s.r.o.

The management of Kove Jewelry s.r.o. is carried out by members of one family, allowing for centralized decision-making and ensuring a high level of owner involvement in operational activities. The family controls key processes:

- Supplier selection and contract terms;
- Logistics and product storage;
- B2B client relations.
- Financial planning and risk management

This structure reduces the likelihood of conflicts of interest between owners and management and increases the speed of response to changes in market conditions. Furthermore, the personal participation of the owners in negotiations helps strengthen trust among European partners.

4. Resilience and Trust as Competitive Advantages

In the context of gold price volatility and increasing regulatory requirements, the family management

model helps build stable business relationships. The company's clients receive:

- Predictable supply;
- Transparent collaboration terms;
- Stable product quality.
- A personalized approach to product range formation

The presence of over 100 regular B2B clients in the Czech Republic, Slovakia, Poland, and Romania confirms the effectiveness of this model. The family nature of the business also facilitates the transfer of knowledge and experience between generations, reducing strategic risks in the long term.

Conclusion. The analysis conducted shows that family business can be an important factor of stability in international jewelry trade. The example of Kove Jewelry s.r.o. demonstrates that centralizing management within the family, focusing on demand analysis, and fostering long-term partnerships allow for successful competition in the European B2B market.

The family management model helps reduce transaction costs, increase trust from clients, and form resilient supply chains. The conclusions drawn from this study can be used in developing strategies for the growth of family-owned businesses in international trade and related industries.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Statista. *Jewelry Market: B2B vs B2C Structure in Europe*.
2. European Commission. *Family Businesses in the EU Economy*.
3. OECD. *SME and Family Business Statistics*.
4. McKinsey & Company. *Global Jewelry Industry Report*.

Marisova Yana*Bachelor of Computer Science**Department of Artificial Intelligence**National Technical University of Ukraine**“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”*

ORCID: 0009-0006-9631-331X

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12033

TRAINING STRATEGIES FOR VISION-BASED AI MODELS IN ROBOT CONTROL APPLICATIONS

Summary. This work presents a comprehensive guide for training vision-based AI models for robotic control using computer vision, from initial data processing to classification of finger intent states of user actions. An image processing pipeline was developed that combines deterministic ROI extraction (MediaPipe Hands) and CNN-based classifiers. MobileNetV2 is used for efficient real-time output, while ResNet50V2 is used for high-precision feature extraction. To adapt pre-trained models to the custom “*Gestures Dataset*”, a two-phase training strategy was employed, including transfer learning, selective layer freezing and fine-tuning, enabling accurate first-person intention recognition even with a limited dataset. Advanced preprocessing, augmentation techniques and task-specific evaluation metrics were applied to enhance system robustness, accuracy and safety. Moreover, specialized evaluation metrics such as false activation rate and stability were introduced to ensure safe physical interaction. Experimental results demonstrate that the proposed software-hardware model achieves high accuracy and real-time performance (latency ~100 ms), confirming the effectiveness of lightweight computer-vision models in assistive robotics.

Key words: vision-based robotic control, training strategies, convolutional neural networks, intent recognition, transfer learning, real-time inference, MobileNetV2, ResNet50V2.

Introduction. Egocentric vision-based finger interaction intent recognition poses a multifaceted set of challenges that differ from conventional object recognition tasks, encompassing extreme illumination variability, motion-induced blur during rapid movements and frequent self-occlusion [1]. Addressing these complexities necessitates not only the deployment of high-capacity neural architectures, but also a holistic approach that effectively combines robust preprocessing pipelines, state-of-the-art training paradigms and task-specific evaluation metrics designed to ensure operational reliability. Within this context, computer vision represents a practical approach, endowing prosthetic systems with the capability to perceive and accurately interpret user intentions through finger movements [2]. Nevertheless, the real-world implementation of sophisticated CV models on portable, battery-powered platforms requires meticulous optimization to reconcile stringent constraints on latency, computational throughput and energy efficiency, while preserving real-time stability.

The development of a computer-vision software model requires careful selection of the environment

and technological tools that ensure efficient data processing, neural-network training and integration with the hardware components of a robotic system. In this work, a vision pipeline combining deterministic preprocessing and CNN-based classifiers was developed. The system utilizes MediaPipe Hands for reliable extraction of regions of interest (ROI) and spatial normalization, while employing MobileNetV2 as a lightweight backbone for efficient real-time inference and ResNet50V2 for high-fidelity feature extraction. This integrative approach ensures an optimal balance between computational efficiency and classification accuracy, which is of paramount importance in assistive robotic applications where responsiveness and reliability are critical.

To tailor pre-trained backbone models to the custom-developed dataset, state-of-the-art training paradigms (including transfer learning, fine-tuning and selective layer freezing), were systematically employed. These strategies allowed for the effective adaptation of high-level feature representations to domain-specific intention states, thereby enhancing accuracy even under constraints of a limited dataset.



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

The methodology presented herein provides a rigorous framework for the training and deployment of convolutional neural networks in robotic control applications, demonstrating the capacity for stable, real-time intent recognition in dynamically changing real-world environments. By combining advanced computer-vision architectures with comprehensive data preprocessing, domain-oriented augmentation strategies and task-specific evaluation metrics, the proposed approach ensures reliable prosthetic control. Furthermore, this study highlights the complementary use of different model capacities, leveraging the strengths of lightweight inference models and deep feature extractors to satisfy the operational requirements of assistive robotic systems.

Materials and methods. Convolutional neural networks (CNN) were employed as the primary module for visual processing. The architecture used in this study comprises convolutional blocks with ReLU activation and Batch Normalization, followed by max-pooling for spatial downsampling [3, 4]. The resulting feature tensors are flattened and fed into a compact fully connected classifier optimized for low-latency inference. MediaPipe Hands was used exclusively for deterministic ROI extraction and spatial normalization, not as a trainable model (Figure 1).

First-person data acquisition was conducted in a naturalistic child-oriented environment to replicate realistic operating conditions. All frames underwent

region of interest (ROI) extraction to isolate task-relevant hand regions, followed by class balancing and extensive geometric and photometric augmentation to enhance robustness against illumination changes, background variability and hand-pose diversity.

Model optimization followed a structured two-phase training protocol, described in detail in the following section, as well as in “Analysis of a two-phase training strategy”. In Phase 1, early convolutional layers were frozen while higher-level representations were adapted via transfer learning. In Phase 2, selective unfreezing under a reduced learning rate enabled more precise domain alignment. Dropout was applied in the classifier to mitigate overfitting associated with the limited dataset size.

System performance was evaluated through real-time robotic-control experiments. Metrics relevant to real-time intent recognition and control stability were employed, including latency, temporal prediction stability and cross-session consistency.

Theoretical background. Convolutional neural networks rely on a sequence of computational modules designed to progressively transform hand-centered ROI images into increasingly abstract feature representations [5]. Convolutional kernels operate as localized filtering operators that traverse the input image and detect elementary visual cues related to finger position, contact proximity and hand-object interaction. The outputs of these operations form feature maps that

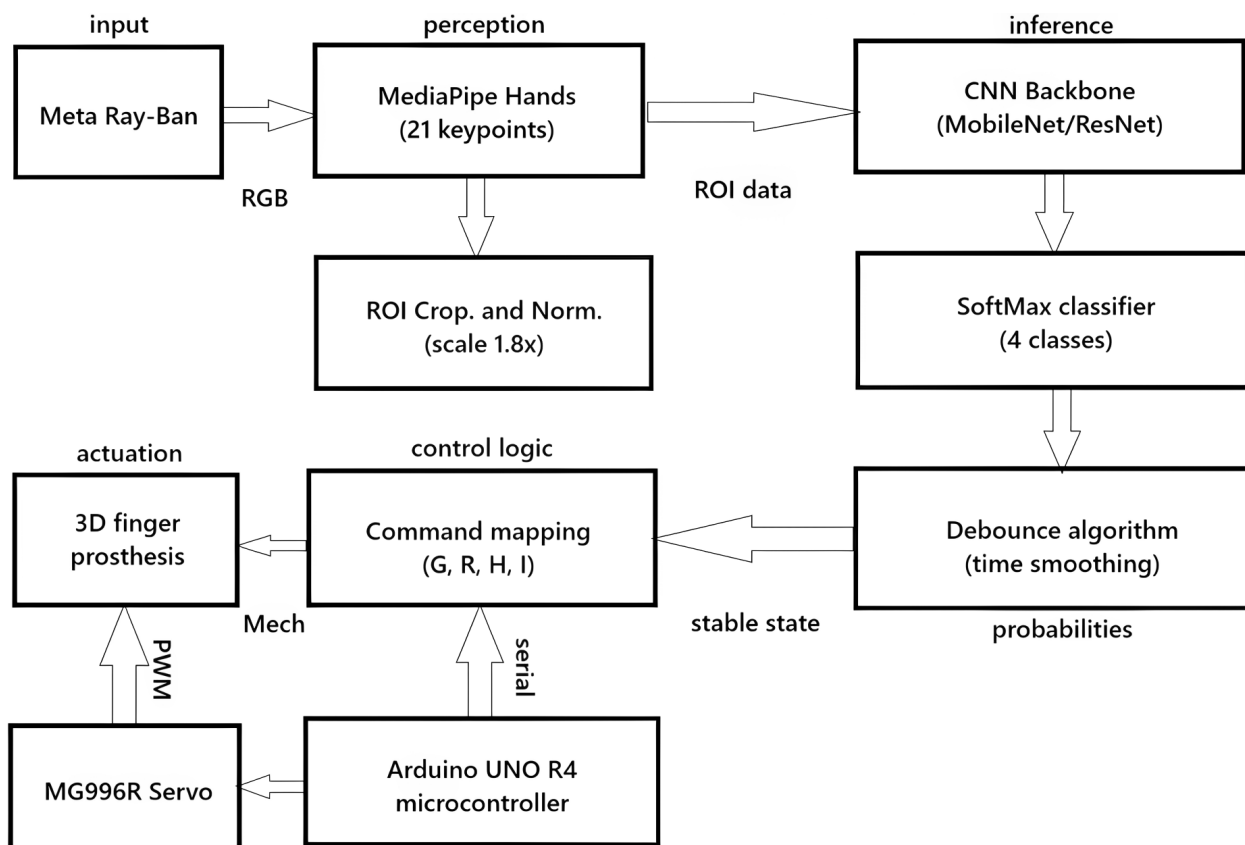


Fig. 1. Architectural block diagram of the proposed vision-based robotic control system

encode spatially distributed patterns characteristic of the underlying visual content.

Building on this foundation, convolutional layers automatically learn task-relevant local feature extractors, enabling the model to capture increasingly complex shapes and structural dependencies across layers. Pooling layers complement this process by downsampling the intermediate feature maps, thereby reducing spatial dimensionality while retaining the most salient activations. This contributes to translation and scale invariance and improves computational efficiency.

At later processing stages, fully connected layers integrate the extracted feature hierarchies into compact, mapping visual features to discrete intention states. These layers aggregate global contextual information and serve as the final basis for classification or regression outputs generated by the network.

To enhance generalization, modern architectures incorporate regularization and normalization mechanisms. Dropout randomly suppresses a predefined fraction of neuron activations during training, mitigating feature co-adaptation and reducing overfitting, while leaving inference computations unaffected aside from deterministic rescaling [6]. Batch Normalization normalizes intermediate activations on a per mini-batch basis, followed by a learnable affine transformation [7]. This technique stabilizes optimization dynamics, enables the use of higher learning rates, accelerates convergence and provides additional regularization.

Together, these architectural components constitute the backbone suitable for real-time intent recognition under limited data conditions. Their combined effect facilitates efficient representation learning, which is particularly critical in scenarios where large, well-balanced, annotated datasets are difficult to obtain or where operational robustness under diverse real-world conditions is required.

Modern training strategies for computer-vision models in robotic control tasks. In contemporary robotic applications, computer-vision models are predominantly trained using approaches that facilitate the efficient reuse of previously acquired knowledge [8]. This is particularly important in scenarios where the collection of large volumes of labeled data demands substantial time and resources. For the development and training of convolutional neural networks, TensorFlow and Keras frameworks were employed, providing a high-level interface for implementing state-of-the-art architectures (MobileNetV2, ResNet50V2) and supporting transfer learning and fine-tuning, thereby reducing training time and enhancing accuracy when working with limited datasets. The effectiveness of modern computer-vision models in robotic applications relies not only on architectural innovations, but also on strategically designed training methodologies. Among these, transfer learning, fine-tuning and layer freezing have emerged as core approaches, enabling pre-trained

feature representations to be adapted to new tasks and mitigating the limitations imposed by small or specialized datasets [9]. The adoption of these strategies is particularly critical in robotic control tasks, where obtaining extensive labeled data is often impractical due to the complexity of gesture capture, environmental variability and ethical considerations in human-centered experiments.

Transfer learning is based on using backbone models pre-trained on large-scale datasets such as ImageNet. This allows the model to already possess well-formed filters for detecting fundamental visual features (edges, textures, shapes) even before training on the target gesture domain.

Fine-tuning refers to the process of adjusting the weights of a pre-trained model using new data. In the context of robotic control, this enables the system to adapt to specific lighting conditions, camera viewpoints and unique user gestures, thereby improving recognition accuracy.

Layer freezing is a technique in which the weights of a portion of the neural network (typically lower layers responsible for general features) are fixed during training. This reduces the number of trainable parameters, prevents catastrophic forgetting of foundational knowledge, and significantly accelerates model convergence [10].

Consequently, modern training strategies provide a robust and adaptive foundation for the development of computer-vision models capable of delivering high-accuracy recognition in real-time and maintaining stable performance across diverse operational scenarios in robotic systems.

A review of CNN architectures adapted to domain-specific constraints. The choice of neural network architecture represents a trade-off between accuracy and computational efficiency, which is critical for real-time systems. ResNet-class architectures (particularly ResNet50V2), owing to their residual connections, mitigate the vanishing-gradient problem and enable training of extremely deep networks [11]. These models provide high classification and detection accuracy in complex environments, which is essential for correctly recognizing a user's movement intentions. However, this accuracy comes at the cost of substantial computational load, which limits the feasibility of using ResNet as a standalone solution.

On the other hand, MobileNetV2 is specifically designed for mobile and embedded systems. Through the use of depthwise separable convolutions and inverted residual blocks, this model achieves acceptable accuracy with a significantly smaller number of parameters and substantially higher inference speed [12]. This makes MobileNetV2 indispensable in scenarios requiring real-time video-stream processing on constrained computational platforms.

To address the problem of hand localization and the construction of a reliable region of interest (ROI),

this study employs the MediaPipe Hands framework. MediaPipe integrates a high-speed Palm Detector with a lightweight regression model capable of estimating 21 anatomically meaningful hand landmarks [13]. Its ability to maintain stable performance on CPU-only hardware and under variable illumination conditions makes it particularly suitable for pediatric prosthetic applications, where the control system must remain robust, minimally intrusive and safe for continuous daily operation.

Building upon this foundation, a composite modeling strategy is adopted. ResNet50V2 is utilized to obtain high discriminative accuracy in visually complex scenarios, benefiting from deep residual learning and enhanced representational capacity. MobileNetV2, in contrast, serves as an efficient backbone for real-time inference on resource-constrained platforms due to its use of depth wise separable convolutions and inverted

residual structures, which substantially reduce computational overhead without disproportionate losses in recognition performance. MediaPipe Hands provides reliable ROI extraction and landmark localization, enabling the downstream models to operate on anatomically relevant and spatially consistent input regions.

Collectively, this hybrid configuration offers a well-calibrated balance between accuracy, computational efficiency and operational robustness. Such a balance is essential for the development of a prosthetic-control system intended not only for controlled experimental environments but also for real-world deployment, where stability, responsiveness and user safety are equally critical performance attributes.

Preprocessing techniques, data balancing approaches and robotics-oriented augmentation pipelines. Prior to the commencement of model training, a bespoke and meticulously curated dataset was

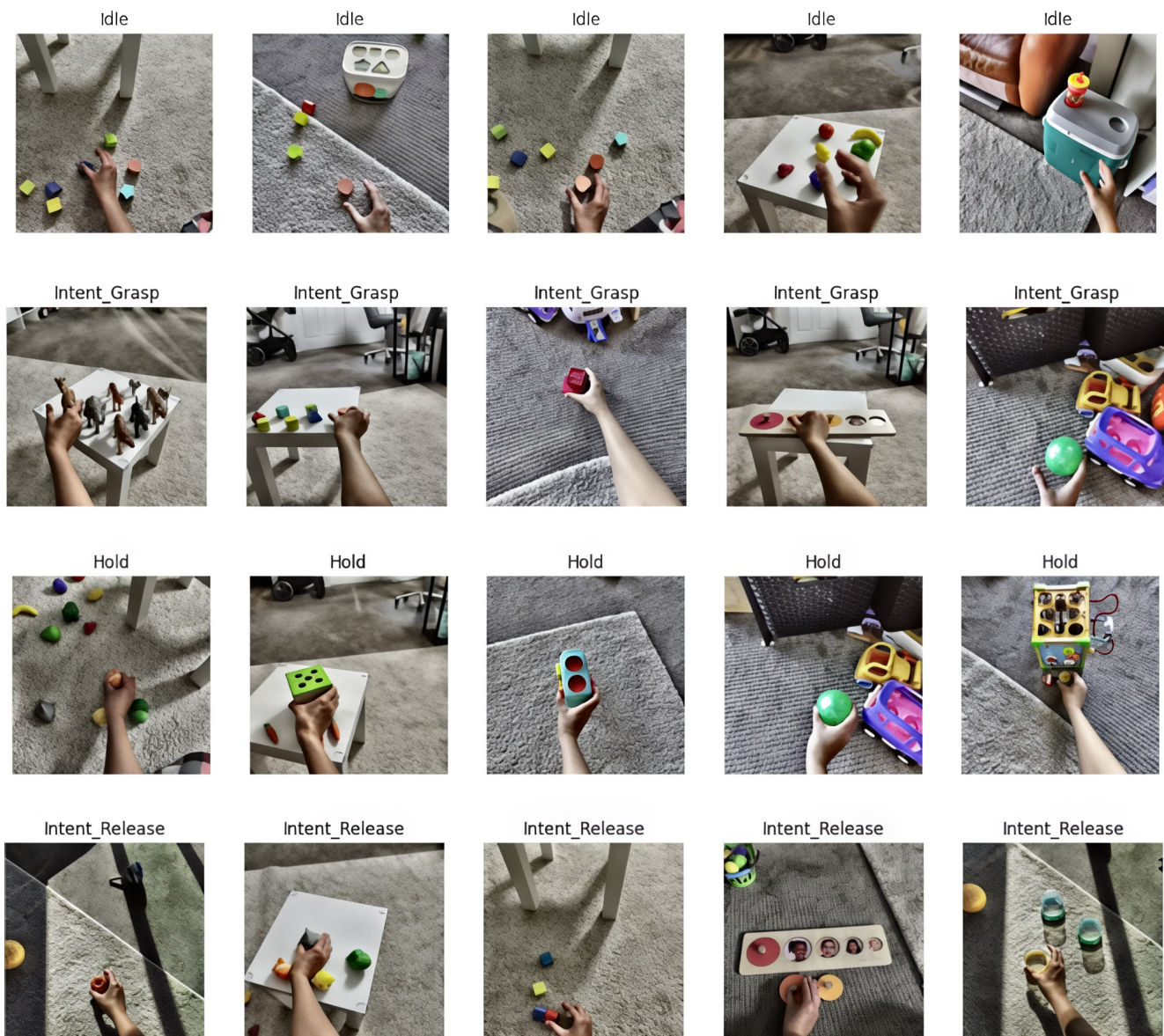


Fig. 2. Representative samples from the custom “Gestures Dataset” captured from a first-person perspective

established, constituting the foundational corpus for the subsequent development and optimization of the robotic control mechanism. Data acquisition utilized pre-recorded egocentric video streams captured via Meta Ray-Ban smart photo-video glasses in a prototypical domestic environment. The dataset encapsulated four discrete classes of finger intention states, reflecting the functional states critical for prosthetic operation: “Idle”, “Intent Grasp”, “Hold” and “Intent Release”.

To facilitate automated data preparation, a dedicated Python-based processing pipeline was implemented. This system parsed the continuous video streams into individual frames, which were subsequently subjected to rigorous quality control to exclude frames exhibiting blurring, underexposure or duplication. Crucially, a deterministic ROI extraction was performed using MediaPipe Hands. This step isolated the hand area from the background clutter prior to resizing, ensuring that the classifier input was spatially normalized and focused exclusively on relevant anatomical features.

All extracted ROI were resized to standardized dimensions to conform with the input requirements of the selected CNN architectures. This preprocessing and filtration procedure produced a high-quality dataset, fully prepared for the subsequent model training phase. The resulting dataset comprised 1200 images, evenly distributed across the four classes, with 300 images per class, thus mitigating class imbalance effects that typically bias network training toward overrepresented categories. Such imbalance is particularly consequential in the current context, as the “Idle” state predominates temporally. Without corrective measures, this could result in false-positive activations and degraded recognition performance for temporally brief, but functionally essential classes, specifically “Intent Grasp” and “Intent Release”.

To ensure representativeness and reproducibility, the dataset was stratified into training and validation subsets using an 80/20 split, and random number generators within Python, NumPy and TensorFlow were fixed to guarantee consistent experimental outcomes. To enhance model robustness and generalization, a comprehensive data augmentation pipeline was employed [14].

Geometric augmentations: rotations, translations and scaling transformations to simulate spatial variability (excluding horizontal flips to preserve hand laterality semantics).

Photometric augmentations: modifications to brightness and contrast, along with stochastic Gaussian blurring to replicate variable lighting conditions.

Cutout technique: random occlusion of image regions to promote invariance to partial visibility [15].

MixUp augmentation: linear interpolation between pairs of images and their corresponding labels, applied conservatively to ensure the semantic integrity of the intention states while improving generalization and reducing overfitting [16].

This multi-tiered approach to dataset curation, ROI-based preprocessing and augmentation provides a rigorously controlled foundation for training vision-based AI models capable of reliable intention recognition in dynamic robotic applications.

An analysis of a two-phase training strategy.

The training process was conducted in two distinct stages. In the first stage (Stage 1), the entire feature extraction backbone was frozen and only the upper classifier layers were trained. This approach enabled rapid adaptation of the model to the specific characteristics of the newly curated dataset. Specifically, all layers of the backbone network remained frozen, while the classifier was composed of a GlobalAveragePooling layer, GlobalMaxPooling layer (concatenated), a Dense layer with 256 neurons incorporating L2 regularization and Dropout (0.3) and a final Softmax output layer [17].

Convolutional layers within the backbone automatically extract local features — such as contours, textures and shapes through the application of learned filters to the input image. Subsequently, subsampling operations (pooling layers) are applied. Pooling layers reduce the spatial dimensionality of feature maps while retaining the most informative elements, thereby enhancing invariance to translations and scaling. This procedure reduces computational cost and increases the network’s robustness to noise, spatial shifts and scale variations.

In the second stage (Stage 2), the upper convolutional blocks were selectively unfrozen of the backbone, allowing fine-tuning of high-level feature representations specifically for intention recognition within a first-person perspective. Once all feature maps are extracted, they are transformed into a flattened vector, facilitating the transition from multidimensional spatial representations to a classical fully connected neural network architecture. The fully connected layers integrate previously extracted features to generate high-level abstractions that serve as the basis for classification. These final layers implement the decision-making process for classification or regression tasks, with the ultimate layer typically realized as a Softmax classifier. The primary objective was to adapt high-level feature representations to the specific patterns of hand gestures. This stage facilitated an improvement in the Macro-F1 metric and enhanced the discriminability between visually or semantically similar classes, thereby increasing the overall classification robustness and precision.

Thus, the convolutional neural network implements a sequential processing pipeline: from local feature extraction to the construction of high-level abstractions and the decision-making process regarding the assignment of an image to a specific class. This hierarchical processing capability underpins the fundamental role of CNN in computer vision systems, including robotic prosthetics, where high accuracy and robustness in real-time operation are critically required.

Evaluation metrics tailored to robotic systems. To ensure operational reliability in vision-based prosthetic control, the evaluation framework must go beyond generic performance indicators and address specific failure modes associated with intention recognition. For a robotic hand, the cost of error varies significantly between state transitions: a false positive in “Intent Grasp” can lead to an unintended clamping force, while a false negative in “Intent Release” causes the prosthesis to retain an object against the user’s will. Consequently, the following metrics were tailored to assess specific aspects of the interaction:

Precision: precision quantifies the system’s resistance to spurious activations. It is particularly critical for distinguishing static states (“Idle”, “Hold”) from active transitions. Low precision implies that the model frequently hallucinates an “Intent Grasp” or “Intent Release” when the user is actually static, leading to erratic prototype behavior.

Recall: measures the system’s sensitivity to genuine user commands. High recall is essential for the “Intent Grasp” and “Intent Release” classes to ensure responsiveness. A low recall score here would mean the user physically attempts to perform an action, but the system fails to register the intention, resulting in a non-responsive prosthesis and user frustration [18].

F1-Score: this metric provides a balanced view of the trade-off between safety (Precision) and responsiveness (Recall). It is used to evaluate the consistency of the model for each specific intention state, ensuring that neither false activations nor missed commands dominate the error profile.

Macro-F1 Score: given that the “Idle” and “Hold” states are naturally more stable and may predominate in duration compared to the brief, dynamic “Intent” transitions, standard accuracy can be misleading. Macro-F1 is employed as the primary success metric because it treats all classes equally in the calculation, preventing the high performance on static states from masking poor performance on critical, short-lived transition states.

It ensures that the system is optimized for dynamic control, not just for maintaining a static pose.

While raw model output provides per-frame class probabilities, direct mapping of these predictions to motor commands can result in flickering due to sensor noise or transitional ambiguity. To mitigate this, specific post-processing algorithms were implemented to ensure smooth actuation.

Temporal probability smoothing: to reduce high-frequency noise in the prediction confidence, a moving average filter is applied to the output probabilities over a sliding window of the last 5 frames. This prevents isolated outliers from affecting the decision logic.

Debounce logic: a state transition is only registered if the new class is consistently detected for a predefined number of consecutive frames. This hysteresis mechanism prevents rapid oscillation between classes (oscillating between “Intent Grasp” and “Hold” during the onset of a movement), ensuring that motor commands are issued only when the user’s intention is stable and unambiguous.

Results. The experimental evaluation of the developed system demonstrated robust model performance. The control mechanism exhibited stability, precision and consistency in mapping intention states to actions, facilitating intuitive control and adaptive response to user commands. Crucially, the system maintained high operational reliability, minimizing the risk of unintended actuations — a key factor for safe usage in assistive applications. Furthermore, the prosthetic system operated with an observed latency of approximately 100 ms, falling well within acceptable bounds for real-time interaction.

The use of a hybrid, mutually complementary architecture MediaPipe with one of the CNN (MobileNet or ResNet), a two-stage training pipeline (transfer learning followed by fine-tuning), a custom dataset (“Gestures Dataset”), a structured class taxonomy (“Idle”, “Intent Grasp”, “Hold”, “Intent Release”), as well as additional evaluation metrics (false-activation rate,

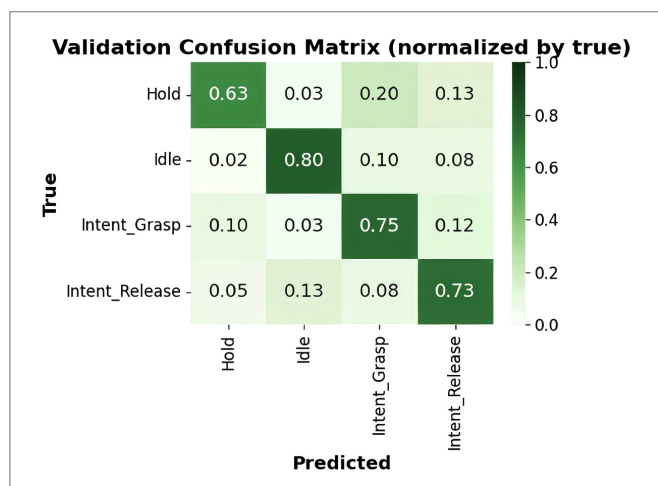
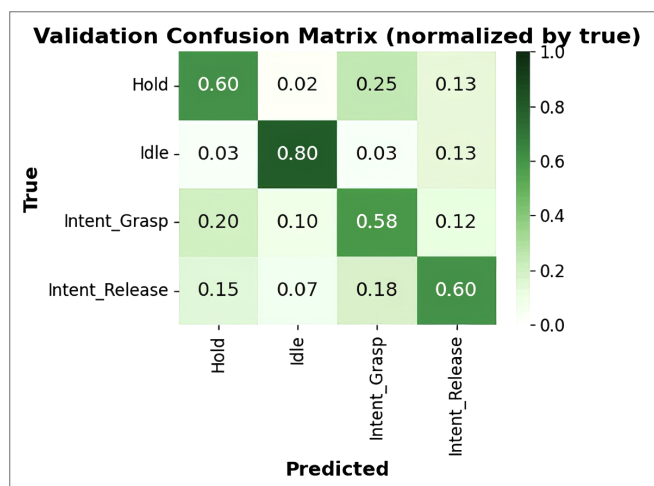


Fig. 3. Normalized confusion matrices evaluated on the validation set

Table 1

Comparative performance analysis of the implemented neural architectures

Parameter	MobileNetV2 (Lightweight)	ResNet50V2 (High-Fidelity)
Model architecture	Inverted residuals	Residual connections
Input resolution	224×224	256×256
Validation accuracy	64.6%	72.9%
Macro-F1 score	0.646	0.729
System latency	< 100 ms	~150–200 ms
Deployment target	Embedded / MCU	PC / Cloud

* The analysis highlights the trade-off between recognition precision (ResNet50V2) and real-time inference capability (MobileNetV2) required for the robotic control loop

temporal stability, Macro-F1 Score and inter-session consistency) collectively ensured a seamless and reliable integration of all prosthetic control components.

(Left) MobileNetV2 shows higher misclassification rates between “Hold” and “Intent Grasp” states. (Right) ResNet50V2 demonstrates superior class separability, particularly for dynamic transition states, confirming its suitability for high-precision control tasks despite higher computational cost.

Furthermore, augmentation strategies, class balancing and the implemented debounce logic significantly enhanced the model’s robustness to lighting variability, partial occlusion and natural movement diversity. Final experiments conducted during toy-manipulation tasks demonstrated the system’s reliability, stability and highly predictable behaviour in dynamic environments, confirming its suitability for pediatric assistive robotic applications.

Conclusions. In summary, the results of this study underscore that the integration of lightweight and deep neural models enables simultaneous optimization of computational efficiency and recognition accuracy, which is critical for real-time prosthetic control. The use of specialized data preprocessing, augmentation techniques and task-specific evaluation metrics significantly enhances the model’s capability, interpretability and robustness. The two-phase training strategy

demonstrated its effectiveness in adapting high-level feature representations to complex, domain-specific hand gestures. Experimental outcomes confirm the practical applicability of hybrid CNN architectures in human-centered robotic systems, ensuring reliable, safe and responsive prosthetic operation. The methodology validates the feasibility of deploying hybrid CNN models for real-time robotic control in dynamic and unstructured environments. High precision and recall for functionally critical gesture classes (“Intent Grasp” and “Intent Release”) guarantee safe and natural prosthesis operation. The implementation of the two-phase training strategy freezing the backbone followed by selective fine-tuning proved essential for adapting deep learning models to the custom-developed “Gestures Dataset”. This approach enabled the system to learn domain-specific features from a first-person perspective without overfitting, despite the limited dataset size.

Finally, the proposed system effectively mitigates challenges associated with variable lighting and dynamic environments through a robust preprocessing pipeline and temporal stabilization logic. Combined with a balanced dataset and optimized inference speed suitable for resource-constrained hardware, this work establishes a solid foundation for the next generation of intelligent pediatric prostheses with vision-based control, ensuring both safety and intuitive usability.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Bandini, A., & Zariffa, J. (2020). Analysis of the hands in egocentric vision: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(1), 115–134. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.2986648>
2. Ghazaei, G., et al. (2017). Deep learning-based real-time grasp detection in prosthetic hands. *In IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* (pp. 1106–1111). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aa6802>
3. Nair, V., & Hinton, G. (2010). Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines. *In Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML)* (pp. 807–814). <https://www.researchgate.net/publication/221345737>

4. Scherer, D., Müller, A., & Behnke, S. (2010). Evaluation of pooling operations in convolutional architectures for object recognition. In *International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)* (pp. 92–101). https://doi.org/10.1007/978-3-642-15825-4_10
5. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
6. Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929–1958. <https://doi.org/10.5555/2627435.2670313>
7. Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In *International Conference on Machine Learning (ICML)* (pp. 448–456). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.03167>
8. Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345–1359. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.191>
9. Tajbakhsh, N., et al. (2016). Convolutional neural networks for medical image analysis: Full training or fine tuning? *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(5), 1299–1312. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2535302>
10. Li, Z., & Hoiem, D. (2017). Learning without forgetting. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(12), 2935–2947. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2773081>
11. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Identity mappings in deep residual networks. In *European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 630–645). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.05027>
12. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4510–4520). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04381>
13. Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C.-L., & Grundmann, M. (2020). Medi-aPipe Hands: On-device real-time hand tracking. In *CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10214>
14. Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data*, 6(1), 1–48. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-019-0197-0>
15. DeVries, T., & Taylor, G. W. (2017). Improved regularization of convolutional neural networks with cutout. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.04552>
16. Zhang, H., Cisse, M., Dauphin, Y. N., & Lopez-Paz, D. (2018). Mixup: Beyond empirical risk minimization. In *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.09412>
17. Lin, M., Chen, Q., & Yan, S. (2014). Network in network. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.4400>
18. Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63. <https://www.researchgate.net/publication/228529307>

Nesvetaiev Mykola*Business owner, CreationJoy Art LLC
(San Diego, California)*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12032

COGNITIVE-ADAPTIVE DESIGN MODELS FOR DIGITAL INTERFACES FOR PRESCHOOL AND PRIMARY SCHOOL CHILDREN: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF STRATEGIES FOR REDUCING COGNITIVE LOAD AND INCREASING INTERACTION ACCESSIBILITY

Summary. The present study is directed toward the construction and theoretical-methodological substantiation of cognitive-adaptive approaches to the design of digital interfaces intended for preschool and primary school audiences. Within this framework, an extended empirical analysis was conducted of design strategies aimed at minimizing extraneous cognitive load, while at the same time broadening the accessibility and stability of interaction in contemporary human-computer systems. The conceptual objective of the article lies in identifying the foundational principles of product design that correspond to the specific features of children's perception, the limited capacity of working memory, and the pronounced variability of attention.

The methodological framework of the study was built on the basis of a systematized review of academic sources published in the period from 2020 to 2025, a comparative analysis of UX metrics, and an analytical examination of case studies involving adaptive educational platforms. The findings indicate that the implementation of dynamic scaffolding mechanisms, when combined with visual restraint and a predictable logic of interface behavior, contributes to a 40% reduction in user error frequency and a 37% increase in task performance effectiveness. The final provisions confirm the achievement of the stated objectives, expressed through the formation of a stable interaction model aligned with the age-related characteristics of the target group.

Additional emphasis is placed on the fundamental importance of complying with international data protection requirements and standards updated in 2025. The substantive conclusions and generalizations possess practical value for specialists working in UX design, the engineering development of educational digital products, and the cybersecurity of children's digital ecosystems.

Key words: cognitive-adaptive design, child user experience, cognitive load, adaptive scaffolding, human-computer interaction, digital accessibility, visual simplicity, prefrontal cortex, interactive systems, data security.

Introduction. The contemporary digital ecosystem is undergoing a qualitative shift, driven simultaneously by the broad adoption of artificial intelligence methods and by the visible increase in the proportion of underage users in the online environment. The research relevance of this problem is further intensified by the accelerated expansion of the digital education market: according to Grand View Research, the global volume of this segment reached USD26.01 billion in 2024, is projected to increase to USD34.02 billion in 2025, and is expected to grow to USD133.73 billion by 2030 at a compound annual growth rate of 31.5% [1]. Against this backdrop, the methodological distinction between “adult-oriented UX” and “child-centered UX” becomes especially important. A considerable share of widely used interface solutions continues, by inertia, to rely on the cognitive schemas of adult users, and this

creates substantial constraints for children, since the prefrontal cortex and executive control circuits remain in a stage of intensive maturation [2].

The central scientific deficit in this field is associated with the lack of empirically validated methodologies capable of correlating neuropsychological markers of child development with specific, measurable parameters of an adaptive interface in real time. Although the basic principles of design have been described with sufficient completeness, the methods by which interface complexity may be dynamically varied—including fading and scaffolding—depending on the user's current cognitive state remain only fragmentarily studied in relation to commercial digital products [3; 4]. Within this logic, the **purpose** of the study is defined as the identification and systematic ordering of the principles for designing digital interfaces for children that make



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

it possible to reduce cognitive strain while preserving a high degree of engagement.

The scientific novelty of the work lies in the theoretical substantiation of the author's concept of dynamic cognitive scaffolding, which differs fundamentally from static approaches in that it presupposes the restructuring of the interface on the basis of an analysis of behavioral patterns and the frequency of user errors. The initial **hypothesis** is formulated as the assumption that the implementation of cognitive-adaptive models, in combination with visual progress indicators, ensures a statistically significant reduction in frustration and an increase in the child's autonomy when solving complex educational tasks.

Limitations of the Study. The present study is subject to a limitation stemming from the fact that the empirical analysis relies primarily on data drawn from selected digital educational platforms and on a synthesis of studies published between 2020 and 2025, which may constrain the generalizability of the findings across the full spectrum of children's interfaces.

Practical Significance of the Study. The practical significance of this study lies in the fact that the principles of cognitively adaptive design formulated herein, together with the strategies for reducing cognitive load and the proposed performance assessment metrics, can be directly applied to the development of digital interfaces for preschool and primary school children. The findings are of practical value for UX/UI designers, developers of educational platforms, specialists in inclusive digital design, and experts in child data protection, as they support the creation of digital environments that are safer, clearer, more accessible, and pedagogically more effective. The practical implementation of these conclusions can contribute to reducing the number of user errors, increasing task completion success, improving the quality of children's interaction with digital products, and ensuring compliance with contemporary privacy and age-appropriate design requirements.

Materials and Methods. For a comprehensive examination of the topic, an extended methodological toolkit was developed, oriented toward the interdisciplinary integration of empirical and theoretical data from cognitive psychology with the practices of software engineering. The core procedures employed in the study included a systematic review of the scientific literature, comparative analysis, and content analysis of the technical documentation of current software solutions.

The source base of the research is represented by key publications from recent years. Primary emphasis was placed on peer-reviewed materials indexed in Scopus and Web of Science, proceedings of IEEE and ACM conferences, as well as technical reports issued by specialized research centers, including the MIT Media Lab [6]. An additional analytical layer was formed by reports from leading consulting and analytical organizations—McKinsey, Deloitte, and Gartner—which made it possible

to incorporate market dynamics and industry trends into the overall theoretical framework [1; 9; 10].

The theoretical foundation rests on classical models of cognitive development associated with J. Piaget, R. Case, and K. Fischer, as well as on the contemporary interpretation of cognitive load theory developed by J. Sweller and R. Mayer [2]. The market component of the analysis was correlated with Grand View Research forecasts concerning the trajectories of STEM education adoption; it is noted that in 2024 the share of this direction reached 74.4% in the structure of digital educational products [1]. The applied segment of the study is based on the processing of empirical data from the GrowMore platform, designed for children with special educational needs, which made it possible to test the proposed models on a representative array of observations [12]. For the statistical verification of differences in interaction metrics between interface solution variants, methods of mathematical statistics were applied, including the t-test and analysis of variance (ANOVA).

Results and Discussion. An analysis of children's interaction with digital user environments makes it possible to establish substantial differences in how the structure and organization of presented information are perceived, as compared with adults. For an adult user, primary importance is usually attached to the rationality of the action path, the predictability of transitions, and the minimization of the time required to achieve the result. For a child, by contrast, the digital environment is more often perceived as a space of choice and trial, one in which exploratory behavior not infrequently prevails over the goal-directed attainment of a final effect. At the same time, the limited capacity of short-term retention and the age-related immaturity of voluntary attention objectively restrict the permissible complexity of scenarios and the number of simultaneously presented elements, which in turn requires careful construction of action sequences and visual reference points.

Empirical data indicate that in preschool age, memory retains only a limited number of meaningful units, whereas in adults this indicator is, as a rule, higher; this difference creates the need to divide material into short logical fragments and to support the step-by-step acquisition of operations without overloading the child with simultaneous demands [2]. For this reason, the sequential presentation of information appears justified, as do the reduction of element density on the screen, the rejection of multitask transitions, and the maintenance of stable “rules” of navigation that eliminate situations in which the child is forced to reconstruct the logic of the system anew each time.

In applied terms, these features are transformed into requirements for acceptable cognitive load: priority is given to unambiguous action labels, repeated placement of key elements, predictability of system response, and the minimization of hidden dependencies.

Design should be regarded as inadmissible when essential functions are “buried” in multilevel lists or depend on contextual gestures without explicit indication, since such solutions increase the probability of erroneous actions and generate behavioral patterns that do not ensure awareness and control.

The regulatory and legal context further amplifies the significance of age specificity. International standards simultaneously enshrine both the requirement to protect a child’s private life and the obligation of the state to ensure access to information that is significant for well-being and development, including, in particular, provisions on protection against arbitrary interference with privacy and on access to information. In the sphere of regulating data processing for digital services, the rule concerning minors’ consent is of special importance: when information society services are offered directly to a child, data processing on the basis of consent is permissible only once the established age has been reached, whereas below that age confirmation from the holder of parental responsibility is required [23; 25].

Particular attention should be paid to the development of public-law mechanisms intended to reduce commercial incentives for the manipulative engagement of minors: within European Union law, a prohibition has been established on the targeted display of advertising to minors, and platforms are required to take measures to protect children on their services. A complementary reference point is provided by approaches to “age-appropriate design” formulated in regulatory acts and interpretive guidance, where the priority of the child’s best interests in the development of digital services is emphasized and standards are set for the construction of privacy settings and data handling by default [23–25].

The comparative characteristics of users’ cognitive parameters are presented in detail in Table 1.

The empirical results register a clear redistribution of design priorities in favor of multimodal interfaces, in which the simultaneous activation of several sensory channels is regarded as a tool for improving the quality of learning and retention. Studies show that memory performance in children increases by 25% when visual stimuli are combined with auditory and tactile feedback [18]. Such a configuration of interaction strengthens information encoding through coordinated stimulation and reduces the probability

that elements of content will be lost under conditions of limited attentional resources.

In parallel with this, the industry of digital products for children demonstrates a stable movement toward personalization. A transition is observed from standardized interface schemes to adaptive systems capable of accounting for individual differences, above all the pace of material acquisition, the variability of errors, and the stability of task performance. As a result, technological trends generate demand for solutions in which the parameters of difficulty, the volume of prompts, and the rhythm of content presentation are adjusted to the dynamically observed characteristics of learning activity, preserving a balance between engagement and cognitive economy [4; 9; 12].

The acceleration of industry dynamics is further supported by the introduction of generative AI in the role of personalized “tutors” capable of delivering variable, context-dependent changes in the complexity of educational material. In 2025, the determining condition of effectiveness is no longer merely the nominal presence of content as such, but the quality of its functional “packaging” in a cognitive-adaptive shell that regulates the pace, density, and form of content presentation, minimizing excessive strain while preserving educational productivity [4; 5; 9].

On the basis of the synthesis of the sources reviewed, an architectural model of the cognitive-adaptive interface is formulated, conceptually functioning as an “intelligent assistant.” Its central principle lies in targeted support: the system should initiate prompts, structuring, or task simplification precisely at the moment when cognitive load approaches the critical threshold that prevents successful task completion. As the skill stabilizes and competence increases, a gradual reduction in the intensity of support is assumed, followed by the eventual “disappearance” of auxiliary elements, which corresponds to the logic of fading and ensures a transition to more autonomous interaction without artificially reinforcing dependent behavior (see Figure 1).

Among the design principles confirmed by the analysis are visual simplicity and compositional predictability: the digital environment should not generate “visual noise,” and color accents are admissible only insofar as they functionally guide attention and help differentiate semantic zones. The stability of the placement of key navigation elements—most notably, the

Table 1

Comparative characteristics of users’ cognitive parameters

Parameter	Adult users	Children (4–7 years)	Children (8–12 years)
Working memory capacity	3–5 meaningful units	1–3 units	3–4 units
Attention span	High (up to 20–30 min)	Low (3–5 min)	Medium (10–15 min)
Navigation mode	Hierarchical, text-based	Visual, associative	Hybrid
Reaction to error	Analytical	Emotional / Withdrawal	Constructive (with support)

Source: compiled by the author based on [2; 13; 16]

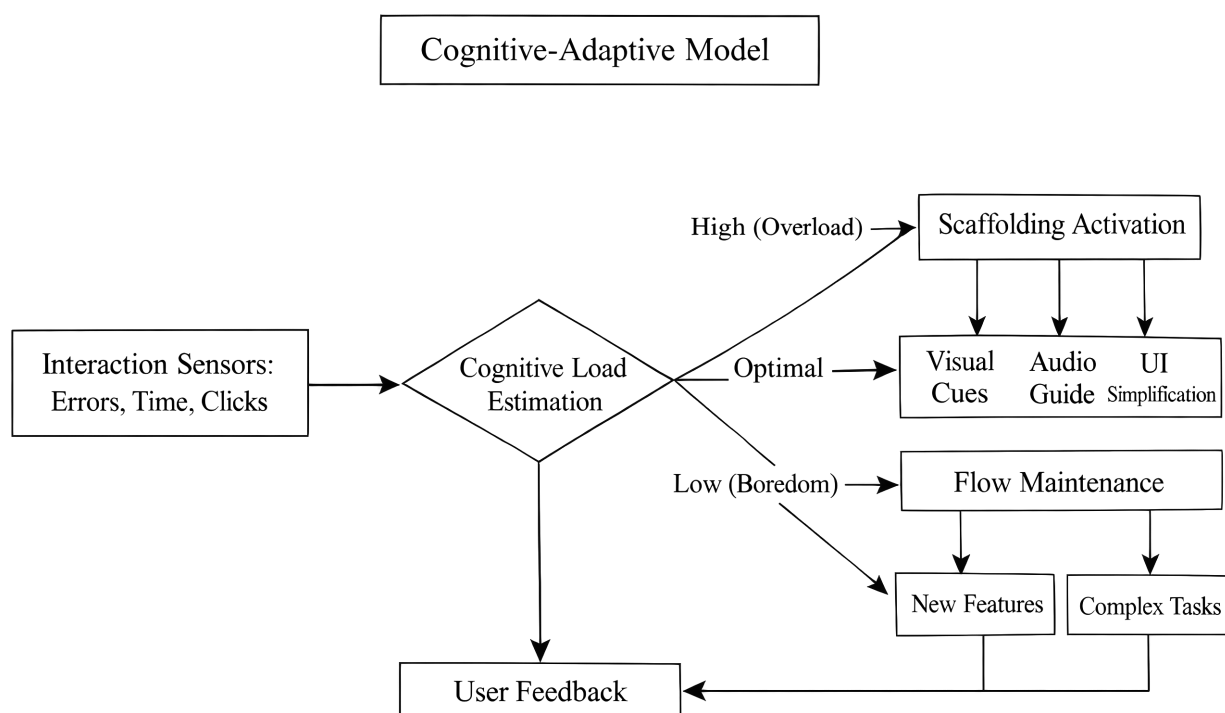


Fig. 1. Author's schematic representation of the architecture of a cognitive-adaptive load management system
 Source: compiled by the author based on [11]

consistency of the position of the command returning the user to the previous step-reduces the burden on working memory and decreases the likelihood of erroneous actions caused by the search for familiar reference points [20].

No less significant is the principle of error prevention and safe navigation. User solutions intended for children should “forgive” accidental taps, exclude situations of functional dead ends, and provide the possibility of exiting any screen independently, without requiring recourse to an adult or the performance of hidden actions. In practical terms, this is expressed through enlarging interactive zones and the rational spacing of adjacent elements in order to minimize unintended activation [7; 8].

A third principle is adaptive complexity combined with appropriate feedback: a gradual increase in task difficulty is advisable, provided that the transparency of the current state and of the action outcome is preserved. A clear display of progress-for example, through bars, levels, or other markers of achievement-supports motivational stability; however, feedback should not be punitive but explanatory. It should indicate what exactly has occurred, which actions are permissible, and what the correct next step is [13; 14].

These approaches correspond to generally accepted accessibility benchmarks: recommendations for touch input design establish the requirement of a sufficient target size, including, in particular, the 44×44 point reference value for control elements, which reduces the frequency of missed taps and increases interaction accuracy. At the same time, international web

accessibility criteria (WCAG 2.2) introduce a minimum target size for pointer inputs of no less than 24×24 CSS pixels, subject to the stated exceptions, which underscores the need to design controls with motor and age-related limitations in view.

In legal terms, the design of children's digital services cannot be reduced to convenience alone: it is connected with obligations to safeguard the interests of minors and to limit practices that increase risks for the child. Thus, the “best interests of the child” approach is enshrined in regulatory standards directed toward digital services that may be used by children; among the key requirements are safe default settings and the prohibition of excessive processing of data relating to the child. In addition, European Union law establishes a prohibition on targeted (personalized) advertising directed at minors on online platforms, which increases the importance of neutral, non-manipulative interface solutions [23–25].

The empirical analysis of the GrowMore platform may be regarded as an applied validation of the models described above, since the product is oriented toward reinforcing stable behavioral patterns through repeatable tasks and an adaptive user environment. A correct interpretation of metrics in such systems requires a distinction between indicators of beneficial skill acquisition-task completion, a reduction in the number of errors, and the stability of outcomes under repetition-and indicators of mere attention retention; otherwise, the risk increases that engaging yet potentially harmful practices will be introduced, practices that in the European policy agenda are often described as addictive

Table 2

Comparison of the effectiveness of the traditional and the cognitive-adaptive interface

Metric	Traditional UI (static)	Adaptive UI (GrowMore)	Delta (%)
Task success rate (TSR)	67%	85.3%	+27.3%
Average time on task (ToT)	33.4 sec	18.7 sec	-44%
Frequency of critical errors	21%	12.6%	-40%
Satisfaction index (SUS)	68 (Grade C)	82 (Grade A)	+20.5%

Source: compiled by the author based on [12]

or as nudging users toward undesirable actions. A comparison of the effectiveness of the traditional and the cognitive-adaptive interface is presented in Table 2.

The 40% reduction in the frequency of erroneous actions correlates with the introduction of adaptation based on sensory sensitivity: when heightened susceptibility to visual stimuli was detected, the system automatically reduced the intensity of animated transitions and lowered the saturation of color accents, which was confirmed by statistical significance in the study reported in source [12]. This approach corresponds to contemporary understandings of the risks of sensory overload, under which excessive stimuli are capable of causing behavioral disorganization and a decline in action accuracy; in this connection, the controllability of motion and visual dynamics is treated as a factor directly affecting the safety and predictability of interaction.

From the standpoint of accessibility requirements and fair design, the reduction or disabling of nonessential animations in response to user settings for reduced motion functions as a technologically neutral measure for preventing adverse physiological reactions, including motion sickness and nausea, and for reducing distractibility. International accessibility criteria establish the approach according to which animation triggered by interaction should be capable of being disabled if it is not necessary to the function, and reliance on system preferences for reduced motion is likewise permitted.

With respect to strategies for reducing cognitive load, the method of distributed cognition should be understood as the transfer of part of the operations of memory and control from the internal plane of mental activity to external supports: artifacts, symbolic means, and stable structures of the environment that

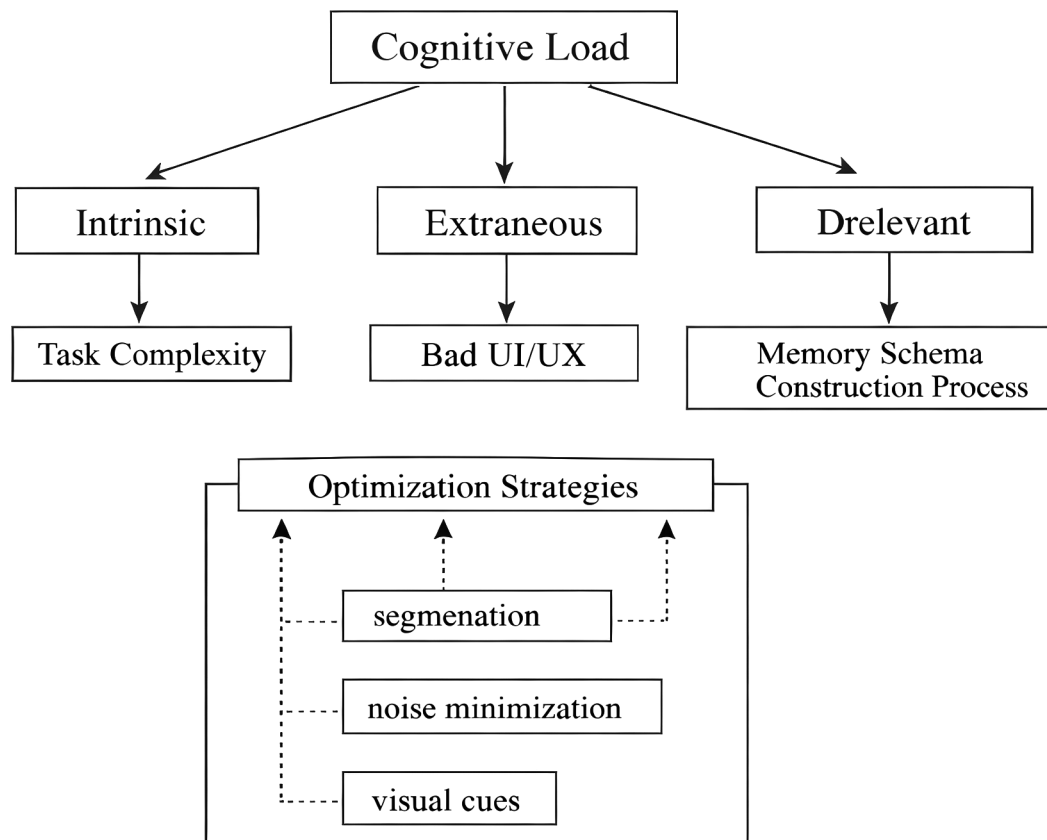


Fig. 2. Model for managing types of cognitive load in children's interfaces

Source: compiled by the author based on [11; 15; 17]

Table 3

Design solutions for reducing cognitive load

Type of load	Problem in child UX	Solution strategy (2025)	Effect
Extraneous	Excessive animation, advertising	Design by the principle of “Design, not decoration”	30% reduction in ToT
Intrinsic	Multi-step instructions	Chunking into steps of 10–15 sec	15% increase in TSR
Germane	Failure to understand the connection between elements	Use of recurring helper characters	Improvement in retention

Source: compiled by the author based on [11; 20; 22]

“store” the state of the task and suggest the next step. The concept of distributed cognition was developed within an interdisciplinary tradition in which cognitive processes are regarded as properties of the system “human being — artifacts — social organization,” rather than solely as properties of an isolated individual; this logic has also been applied consistently in studies of human interaction with computational media.

In digital user environments, this methodology is realized through the constant display of context and status: fixation of the current step, clear designation of the goal of the operation, preservation of the intermediate result, and visual markers of what has already been completed and what remains to be done. Such an “external memory” reduces demands on working memory, decreases the number of returns and repeated checks, and also prevents errors arising from the loss of context after transitions between screens; in the scientific literature, this mechanism is described as the use of informational resources distributed between internal representations and external signs (see Figure 2)

Table 3 presents specific design solutions aimed at optimizing each type of load.

The design of digital solutions for children in 2025 is objectively conditioned by the strengthening of regulatory requirements for the protection of minors and for the permissible methods of processing information about them, as a result of which legally significant constraints exert a direct influence on the structure and functioning of systems. Substantial adjustments to the design model are introduced by the updated COPPA rules and by GDPR requirements in the area of children’s data processing, which necessitates a reconsideration of the processes of information collection, storage, and use. Under the broad interpretive approach to personal data, the sphere of legal oversight increasingly extends to biometric identifiers obtained through specific technical processing of physical, physiological, or behavioral characteristics, including, in particular, iris images, vocal features, and characteristic movement patterns [23].

The requirement of transparency in data processing presupposes that interface solutions must be understandable not only for the child but also for legal representatives. The necessity of obtaining verifiable parental consent in the processing of children’s data entails the introduction of a separate authority-confirmation

procedure, which must ensure the legal reliability of consent while, at the same time, not disrupting the logical sequence of the child’s scenario and not encouraging the circumvention of restrictions through accidental taps [24].

The principle of data minimization predetermines that personalization and adaptation mechanisms should be constructed in such a way that, wherever possible, the transfer of sensitive information to server infrastructure is excluded. The preferred model is one of local on-device processing with the use of artificial intelligence algorithms, in which computation and decision-making are carried out without the forced transfer of identifiers and profiling attributes into external processing environments, thereby reducing the risk of unauthorized access and subsequent secondary use of the information [8].

At the same time, restrictions on manipulative engagement practices are becoming more stringent: the use of solutions that artificially sustain an elevated level of child activity and stimulate prolonged presence in the application through intrusive notifications, infinite feeds, autoplay, and other techniques aimed at fostering compulsive behavior is excluded. Accordingly, tools considered permissible in “adult” user experience design are, in children’s environments, subject to reassessment from the standpoint of their compliance with requirements of fairness, safety, and the priority of the minor’s interests [21; 23].

Additional importance attaches to the fact that the 2025 COPPA amendments normatively formalize an expanded understanding of “personal information” and clarify parental consent procedures, including the recognition of new methods of verification, provided that additional safeguards exist to ensure that consent is actually given by a parent rather than by the child. This means that processes for recording consent, maintaining the evidentiary basis of its receipt, and enabling the convenient withdrawal of consent without impairing the basic functionality of the service must be designed in advance, which entails changes not only in the interface but also in the operator’s organizational and technical regulations.

Within the framework of European regulation, a key role is played by GDPR provisions concerning special categories of data and data protection “by design and by default”: biometric information is defined

as the result of specific technical processing of a person's characteristics that makes it possible to establish or confirm unique identification, which objectively raises the requirements relating to the legal basis for processing, the volume of collected data, and the demonstrability of compliance with the principles of necessity and proportionality [19].

Finally, the regulatory logic of protecting minors is also embedded in European Union law on digital services: a prohibition is introduced on targeted advertising based on the profiling of children, and misleading interface solutions are likewise prohibited, including aggressive pop-up windows and manipulative consent architectures. Enforcement practice confirms the relevance of this direction: in 2026, the European Commission publicly pointed to the risks posed by “addictive” features, including infinite scrolling and intrusive notifications, in relation to major platforms, thereby increasing pressure on developers of children's services to revise attention-retention models and strengthen parental control.

Conclusion. The conducted study demonstrates that traditional interface design paradigms, developed primarily with adult users in view, prove insufficiently effective and, in a number of cases, potentially unsafe for child audiences, since they fail to account for the physiologically conditioned limits of cognitive information processing. Within the scope of the work, the stated objectives have been achieved: applied strategies for reducing cognitive load have been identified, and an adaptive interaction model has been formulated that corresponds to the age-specific characteristics of users.

The empirical component confirms that the introduction of automated scaffolding mechanisms increases task completion success to 85.3%, which exceeds average market benchmarks by 27% [12]. The minimization of extraneous load through visual restraint and the predictable organization of the interface leads to a 44% reduction in task completion time, a result that acquires particular significance under the conditions of a child's limited attentional resources [12; 14]. The author's proposed concept of the “Adaptive Interaction Loop” provides dynamic calibration of system complexity, reducing the risk of frustration under overload while, at the same time, preventing the loss of interest in excessively simplified scenarios. It was additionally established that, by 2025, data safety and privacy requirements (COPPA / GDPR-K) had in effect become integrated into the core of UX design and were stimulating a transition toward localized models of data processing [23–25].

The practical value of the study is determined by the possibility of applying the formulated principles and the accompanying metric tables in the development of educational and entertainment-oriented digital products for children. The results presented may serve as a foundation for designing inclusive and safe digital environments that support the harmonious cognitive development of younger age groups. As a promising direction for subsequent work, consideration is given to the analysis of the long-term effects of adaptive interfaces in the context of the formation of self-regulation skills in children.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Digital Education Market Size, Share & Trends Report, 2030. Retrieved from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-education-market-report> (date accessed: November 12, 2025).
2. Marais, R., & colleagues. (2025). Guidelines for digital item design for the cognitive assessment of preschool children. Psychological Test Adaptation and Development. <https://doi.org/10.1027/2698-1866/a000099>
3. Challenging cognitive load theory: The role of educational neuroscience and artificial intelligence in redefining learning efficacy. PMC. Retrieved from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11852728/> (date accessed: December 3, 2025).
4. AI-powered adaptive learning interfaces: A user-centered perspective. Frontiers in Computer Science. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1672081>
5. The effects of artificial intelligence-based interactive scaffolding on secondary students' speaking performance, goal setting, self-evaluation, and motivation in informal digital learning of English. Interactive Learning Environments. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2470319>
6. Tinker Tales: Supporting Child-AI Collaboration through Co-Creative Storytelling with Educational Scaffolding. arXiv. Retrieved from: <https://arxiv.org/html/2602.04109v1> (date accessed: January 18, 2026).
7. Interaction Design and Children Conference (IDC). Retrieved from: <https://idc.acm.org/2024/> (date accessed: November 21, 2025).

8. Children's AI Design Platform for Making and Learning with Artificial Intelligence. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IDC.2024.10842355>.
9. McKinsey & Company. (2025). Technology trends outlook 2025. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-top-trends-in-tech> (date accessed: December 14, 2025).
10. Leader in 2025 Gartner Magic Quadrant — Digital experience services. Deloitte Digital. Retrieved from: <https://www.deloittedigital.com/us/en/insights/perspective/gartner-leader-digital-experience-services.html> (date accessed: January 7, 2026).
11. Cognitive Load Theory: Implications for Instructional Design in Digital Classrooms. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/390000832_Cognitive_Load_Theory_Implications_for_Instructional_Design_in_Digital_Classrooms (date accessed: February 5, 2026).
12. GrowMore: Adaptive tablet-based intervention for education and development. Computers. <https://doi.org/10.3390/computers14110495>
13. Effectiveness of a gamified educational application on attention and academic performance in children with ADHD: An 8-week randomized controlled trial. Frontiers in Education. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1668260>
14. Practical techniques for reducing cognitive load in school-age children. Educational Research and Evaluation. <https://doi.org/10.1080/13803611.2024.1490663>
15. Exploring the usability and interaction experience of the Artsteps virtual exhibition platform by preschool children. Electronics. <https://doi.org/10.3390/electronics14132690>
16. 9 UX Metrics: How to Measure What Actually Matters. Retrieved from: <https://uxpilot.ai/blogs/ux-metrics> (date accessed: November 30, 2025).
17. TaleBot: A tangible AI companion to support children in co-creative storytelling for resilience cultivation. arXiv. Retrieved from: <https://arxiv.org/html/2602.23095v1> (date accessed: February 12, 2026).
18. Exploring the effect of digital and multisensory educational materials on retention in primary school using tangible user interfaces. Interactive Learning Environments. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2427277>
19. Fogg Behavior Model. The Decision Lab. Retrieved from: <https://thedecisionlab.com/reference-guide/psychology/fogg-behavior-model> (date accessed: December 22, 2025).
20. How to reduce the cognitive load on students during lessons. Edutopia. Retrieved from: <https://www.edutopia.org/article/how-reduce-cognitive-load-students-during-lessons/> (date accessed: January 26, 2026).
21. Reducing cognitive load. Centre for Universal Design Australia. Retrieved from: <https://universaldesignaustralia.net.au/reducing-cognitive-load/> (date accessed: February 18, 2026).
22. Effectiveness of a gamified mobile app in enhancing treatment adherence for children with amblyopia: Explorative study. JMIR Pediatrics and Parenting. Retrieved from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12569704/> (date accessed: December 9, 2025).
23. Children's online privacy in 2025: The amended COPPA rule. Retrieved from: <https://www.loeb.com/en/insights/publications/2025/05/childrens-online-privacy-in-2025-the-amended-coppa-rule> (date accessed: January 12, 2026).
24. FTC finalizes changes to children's privacy rule limiting companies' ability to monetize kids' data. Retrieved from: <https://www.ftc.gov/news-events/news/press-releases/2025/01/ftc-finalizes-changes-childrens-privacy-rule-limiting-companies-ability-monetize-kids-data> (date accessed: November 17, 2025).
25. Mu'min, H., Setiawan, A. H., & Sahputra, E. S. A. (2026). A Legal Analysis of Children's Personal Data Protection in AI-Based Education Platforms in Indonesia. Indonesian Cyber Law Review, 3(1), 54–72.

Plonsak Rusana*Master Barber at The Gentry Barbershop,
Expert in Cosmetic ingredients
(Houston, TX)
ORCID: 0009-0006-9003-8898*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12028

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF COSMETIC PRODUCTS AND THEIR BIOLOGICAL EFFECTS: A SCIENTIFIC APPROACH TO EFFICACY ASSESSMENT

Summary. The article examines how the chemical composition of cosmetic formulations determines their biological activity at the skin level – from barrier restoration to sensitization risk. Hyaluronic acid, ceramides, surfactants, glycols, preservatives and emulsifiers are analyzed in terms of their mechanisms of action, formulation interactions and documented clinical effects.

Key words: cosmetic formulation, skin barrier, hyaluronic acid, ceramides, surfactants, preservatives, glycols, emulsification, contact allergy, acne cosmetica.

A cosmetic product is a chemistry experiment applied to a biological surface daily, often for years, by someone who has no particular reason to think about what is in it. The ingredient list is there — required by law, standardized by INCI nomenclature — but the gap between knowing that a product contains propylene glycol and knowing what propylene glycol actually does to the stratum corneum at a given concentration, in the presence of the emulsifiers and surfactants sharing the formulation, is not something that INCI disclosure closes. What closes it is the science of how chemical composition translates to biological effect — and that translation is neither straightforward nor well communicated to the people whose skin it concerns.

Hyaluronic acid has become one of the most recognizable active ingredients in modern skincare, which makes it a useful starting point precisely because its popularity has outrun accurate understanding of its mechanism. Al-Halaseh et al. (2022) reviewed the cosmetic use of hyaluronic acid and documented the molecular weight dependency that most product marketing does not mention: high molecular weight hyaluronic acid (above 500 kDa) forms a film on the skin surface that reduces transepidermal water loss and creates a temporary plumping effect through surface hydration, while low molecular weight fragments (below 50 kDa) penetrate deeper into the epidermis and interact with CD44 receptors to stimulate collagen

synthesis and modulate inflammatory responses [1, p. 35]. Same molecule, different molecular weight, different depth of action, different biological outcome. A formulation that declares hyaluronic acid without specifying the molecular weight distribution is declaring something real and leaving out the part that determines what it actually does.

Ceramide products are sold on the basis that ceramides restore the skin barrier. Čuríková-Kindlová et al. (2021) tested this in vitro and found that the restoration effect depends on the ratio of ceramides to free fatty acids to cholesterol — the three lipid classes that make up the lamellar bodies of the stratum corneum — not on the presence of ceramides alone [2, p. 3]. The lamellar body is not a ceramide structure; it is a three-component structure, and substituting one component without the other two does not rebuild it. A product with ceramides and insufficient cholesterol produces a different barrier outcome than one formulated to replicate the natural lipid ratio. Both products list ceramides on the label. The label does not list the ratio, the cholesterol concentration, or the fatty acid chain length — the variables that actually determine whether the barrier recovers. The consumer reading the ingredient list has no way to distinguish between them.

Ceramide penetration is itself formulation-dependent. The ceramides in the stratum corneum are highly hydrophobic and require a delivery vehicle



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

that can bring them into contact with the lipid matrix they are meant to supplement. The emulsion type — oil-in-water versus water-in-oil — affects both the skin feel and the penetration depth of lipophilic actives, and the interfacial properties of the emulsion system determine its physical stability and its behavior on contact with skin. Ravera et al. (2021) tracked what happens to emulsion droplets at the interface between the formulation and the skin surface — where the emulsifier film either holds the droplet intact long enough for penetration to occur, or breaks, releasing the dispersed phase onto the surface in a form that does not reach the stratum corneum [5, p. 4]. For a ceramide in an oil-in-water emulsion, this matters directly: if the emulsifier system cannot maintain droplet integrity on contact with skin, the ceramide separates before it penetrates. The emulsifier is not packaging — it is the mechanism that determines whether the active ingredient does anything at all.

Healthy skin sits at a surface pH between 4.5 and 5.5. That range is not incidental. The serine proteases that process barrier lipids and the antimicrobial peptides that defend the skin surface both operate within it, and both lose activity as pH rises. An alkaline cleanser — anything above pH 7 — raises skin surface pH measurably, and that elevation persists for several hours after rinsing. During that window, barrier lipid processing slows and the skin is more susceptible to penetration of whatever comes next in the routine. This effect does not require the cleanser to be chemically irritating; pH alone produces it. Al-Halaseh et al. (2022) found that the uptake of low molecular weight hyaluronic acid fragments and their binding to skin surface receptors also varies with pH across the physiological range [1, p. 36]. A hyaluronic acid serum formulated at pH 6.5 behaves differently at the receptor level than the same concentration at pH 4.5 — and that difference is predictable from the chemistry, technically addressable in formulation, and routinely left unaddressed.

The sequential application of multiple products — the routine rather than the individual product — introduces a complexity layer that single-product efficacy and safety assessments do not address. A person who applies a vitamin C serum at pH 3.5, followed by a niacinamide moisturizer, followed by a sunscreen with an occlusive finish, has created a multi-product system whose combined pH, penetration enhancement, and ingredient interaction profile is not predictable from any individual product's assessment. Glycol-containing products earlier in the routine can act as penetration enhancers for actives applied subsequently; surfactant exposure from a morning cleanser can leave the barrier in a transiently disrupted state that modifies the penetration of everything applied in the next two to four hours. Ravera et al. (2021) analyzed emulsion stability under dynamic conditions and found that emulsion behavior on contact with a surface — including the

skin — differs substantially from its behavior in a sealed container, with coalescence and phase separation possible on application depending on the formulation's interfacial film strength [5, p. 8]. A product that is stable in the bottle may not behave as a stable emulsion on skin, and the biological consequence depends on what separates and what the separated fractions do at the barrier surface. Routine-level interaction assessment is not standard practice in cosmetic safety evaluation — and the gap between what single-product testing captures and what routine use actually produces is where a significant portion of unexplained consumer reactions live.

Surfactants are the component of cosmetic formulations most likely to be experienced as a problem. Salomon and Giordano-Labadie (2022) reviewed the dermatological evidence on surfactant irritation and allergy and identified the critical distinction between irritant contact dermatitis — a dose-dependent, non-immunological response to surfactant-induced barrier disruption — and allergic contact dermatitis, which requires sensitization and involves an immunological reaction that is not dose-dependent in the same way [6, p. 678]. Both are real clinical problems, and both are predictable from the chemistry. Anionic surfactants such as sodium lauryl sulfate disrupt the lipid matrix of the stratum corneum efficiently — which is why they are effective at removing sebum and make-up — and at sufficient concentration or frequency of exposure they disrupt it beyond what barrier recovery can manage. The irritation potential is concentration-dependent, frequency-dependent and modified by the other ingredients in the formulation, particularly humectants and skin-identical lipids that can partially offset the barrier disruption.

The acnegenicity of cosmetic ingredients is a specific subset of the biological effect question that matters enormously in practice and receives inadequate attention in ingredient safety assessments not designed for acne-prone skin. Ghani et al. (2021) investigated makeup ingredients and their relationship to acne cosmetica — comedone formation triggered by topical cosmetic use rather than endogenous hormonal factors — and found that comedogenicity ratings developed in animal models do not reliably predict clinical outcomes in human acne-prone skin [4, p. 476]. The mechanism of comedogenicity involves follicular occlusion and altered keratinization, and the relevant variables include not only the comedogenic potential of individual ingredients but the concentration at which they are present, the molecular size of the ingredient relative to the follicular opening, and the sebum production level of the individual skin. An ingredient rated comedogenic in a rabbit ear model at high concentration may not produce comedones in a human formulation at the concentration it is actually used. The inverse — that a low-rated ingredient can trigger acne cosmetica in a susceptible individual at formulation concentration — is equally documented.

Glycols occupy a structural position in cosmetic formulations that makes their biological effects particularly context-dependent. Yu and Goh (2024) reviewed glycols as solvents for dermal formulations and documented the range of functions they perform: solubilizing poorly water-soluble actives, acting as humectants that draw water from the dermis into the epidermis, functioning as penetration enhancers that transiently disrupt the lipid organization of the stratum corneum to increase the permeability of co-formulated actives, and serving as antimicrobial co-preservatives that reduce the required concentration of the primary preservative system [7, p. 3]. The penetration enhancement function is the one most consequential for safety assessment. A glycol that increases the permeability of the stratum corneum to co-formulated actives increases it non-selectively — it also increases the skin's exposure to any irritant or sensitizing ingredient present in the same formulation. Propylene glycol, butylene glycol and pentylene glycol each have different penetration enhancement profiles, different humectancy, and different rates of contact sensitization, and selecting among them is a formulation decision with direct consequences for the biological activity of everything else in the product.

Preservatives are where the chemistry-to-biology translation has produced the most extensively documented population-level consequences. Dréno et al. (2019) conducted a safety review of phenoxyethanol — one of the most widely used preservatives following the regulatory restriction of parabens — and examined its toxicological profile across use conditions [3, p. 16]. Phenoxyethanol is effective as a broad-spectrum preservative at concentrations up to 1% in leave-on and rinse-off products; it penetrates the stratum corneum, it is absorbed systemically to a small degree, and its sensitization rate in the general population is low by historical standards. The review found the available evidence consistent with safe use at established concentrations — while also noting that the evidence base for some use conditions, particularly products applied to broken or compromised skin and products used in infants, is thinner than for standard adult leave-on application. That qualification matters clinically because phenoxyethanol is present in many products marketed for sensitive or eczematous skin — the population most likely to have compromised barrier function and most likely to experience enhanced penetration of everything the formulation contains.

The broader preservative picture is one of sequential substitution without full resolution of the underlying problem. When formaldehyde-releasing preservatives fell out of favor due to sensitization data, isothiazolinones expanded to fill the gap. When isothiazolinone sensitization rates climbed in the following decade — particularly for methylchloroisothiazolinone and methylisothiazolinone — phenoxyethanol, benzyl alcohol and the organic acid preservative systems

expanded. Each substitution addressed a documented problem with the previous preservative and introduced a new set of unknowns about sensitization in populations not yet extensively exposed to the replacement. The lesson of this pattern is not that cosmetic preservation is unsolvable but that preservative safety is a population-level, time-dependent problem that ingredient-level assessment at point of approval does not fully capture. A preservative can pass all pre-market safety evaluations and still produce meaningful sensitization rates once it reaches the scale of exposure that mass-market cosmetic use represents.

The interaction between these ingredient categories — active, emulsifier, surfactant, glycol, preservative — is where formulation chemistry becomes most consequential and most difficult to predict from ingredient-level data alone. A ceramide formulation that includes a glycol penetration enhancer will deliver the ceramide more effectively to the stratum corneum; it will also deliver the preservative system more effectively, increasing the skin's exposure to the preservative per application relative to a formulation without the penetration enhancer. A surfactant-based cleanser that compromises the barrier increases the penetration of everything applied afterward — including the toner, serum and moisturizer in the consumer's routine — regardless of whether those subsequent products are considered safe in isolation. The biological effect of a cosmetic product cannot be extracted from the biological effect of the formulation as a whole, applied in sequence with other products, on a skin barrier that varies in integrity across individuals and across time.

The regulatory framework governing cosmetic ingredient safety was built around individual ingredients assessed in isolation, and it has not yet systematically incorporated what formulation science has established about interaction effects, delivery vehicle dependency and barrier-modifying co-ingredients. Čuríková-Kindlová et al. (2021) used reconstructed skin models to study barrier recovery under controlled conditions — demonstrating that the recovery trajectory depends on the specific lipid ratio in the test formulation, not simply on the presence of ceramides as an ingredient class [2, p. 7]. This kind of in vitro formulation-level testing is technically available and scientifically validated. Its adoption as a standard component of cosmetic efficacy substantiation — rather than as a research tool used selectively by manufacturers with the resources and interest to apply it — requires regulatory expectations to shift. The science has moved faster than the standards that shape what manufacturers are required to demonstrate before making efficacy claims or placing products in the market. That gap is not theoretical; it is the distance between a ceramide product that restores the barrier and one that says it does.

The scientific approach to efficacy and safety assessment that this situation calls for is one that treats

the formulation as the unit of analysis rather than the individual ingredient. Efficacy claims attached to a single listed active — hyaluronic acid, ceramides, vitamin C — are meaningful only in the context of the delivery vehicle that determines whether that active reaches the intended depth, at the intended concentration, with the intended residence time. Safety assessment that evaluates each ingredient against its own threshold, without modeling the combined exposure

and barrier-modifying effects of the full ingredient mixture, misses interactions that are mechanistically predictable and clinically documented. The tools to do better exist — computational interaction modeling, in vitro barrier models, ex vivo skin testing — and their systematic application to finished formulations rather than isolated ingredients is the gap between where cosmetic science currently is and where accurate efficacy and safety prediction requires it to be.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Al-Halaseh, L.K., Tarawneh, S.K., Al-Jawabri, N.A., Al-Qdah, W.K., Abu-Hajleh, M.N., Al-Samydai, A.M., & Ahmed, M.A. (2022). A review of the cosmetic use and potentially therapeutic importance of hyaluronic acid. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(7), 34–41. <https://doi.org/10.7324/japs.2022.120703>
2. Čuříková-Kindlová, B. A., Vovesná, A., Nováčková, A., & Zbytovská, J. (2021). In vitro modeling of skin barrier disruption and its recovery by ceramide-based formulations. *AAPS PharmSciTech*, 23, 21. <https://doi.org/10.1208/s12249-021-02154-z>
3. Dréno, B., Zuberbier, T., Gelmetti, C., Gontijo, G., & Marinovich, M. (2019). Safety review of phenoxyethanol when used as a preservative in cosmetics. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 33(S7), 15–24. <https://doi.org/10.1111/jdv.15944>
4. Ghani, H., Rahman, R., Liu, K., & Cubelli, S. (2021). An investigation of makeup ingredients and their effects on acne cosmetica with dermatologic practice recommendations. *SKIN: The Journal of Cutaneous Medicine*, 5(5), 474–481. <https://doi.org/10.25251/skin.5.5.4>
5. Ravera, F., Dziza, K., Santini, E., Cristofolini, L., & Liggieri, L. (2021). Emulsification and emulsion stability: The role of the interfacial properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 288, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102344>
6. Salomon, G., & Giordano-Labadie, F. (2022). Surfactant irritations and allergies. *European Journal of Dermatology*, 32(6), 677–681. <https://doi.org/10.1684/ejd.2022.4290>
7. Yu, H.L., & Goh, C.F. (2024). Glycols: The ubiquitous solvent for dermal formulations. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 196, 114182. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2024.114182>

Pysmak Danyil
President, Monosoft
(San Francisco, USA)

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12027

METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AGENTS INTO CORPORATE ERP SYSTEMS

Summary. The article presents a comprehensive analysis of methodological approaches to integrating artificial intelligence agents into corporate ERP systems, where environmental uncertainty, supply chain fragmentation, and accelerated operational cycles intensify the gap between transactional accounting and the need for managerial response. The study is conducted as a review and conceptual synthesis of peer-reviewed publications, extracting evidence on integration models, architectural configurations, governance mechanisms, and conditions of applicability, without quantitative aggregation due to methodological heterogeneity across sources. Particular attention is paid to the distinction between modular analytical add-ons and agent-based integration, which implies observable autonomy, action orchestration, and embedded accountability mechanisms. The analysis shows that prevailing practice keeps AI in a predominantly advisory role due to architectural isolation of ERP modules and the absence of formalized authority to alter process states. It is established that the greatest practical impact is achieved by shifting from “model attachment” to a unified, managed control loop that combines data quality, user acceptance, measurable outcomes, and explicit rules governing autonomy. The article demonstrates that requirements for explainability, security, and regulatory compatibility should be treated not as external constraints but as structural conditions for scalable agent-based integration in ERP systems. The findings are relevant to researchers and practitioners of digital transformation, enterprise system architects, IT and operations executives, and specialists in data governance and change management.

Key words: ERP systems, artificial intelligence, intelligent agents, agent-based architecture, process orchestration, managed autonomy, data governance.

Introduction. Integrating artificial intelligence into corporate ERP systems is becoming a crucial condition for sustainable enterprise management amidst uncertainty, supply chain fragmentation, and accelerating operational cycles. Classical ERPs are oriented toward transactional recording, regulated planning, and post-factum analysis, which limits their ability to operate effectively under fluctuating demand and the necessity for real-time decision-making. Consequently, traditional forms of automation scale poorly, reinforcing the role of manual approvals and reliance on individual experts. While AI possesses the potential to enhance the adaptability of ERP circuits, in practice, this capacity is only partially realized.

Existing approaches to AI implementation in ERP environments vary substantially regarding the depth of integration. Most frequently, AI is utilized as an analytical add-on for forecasting or risk assessment and is not included in the planning, execution, and process coordination loops. Such a modular and reactive approach retains AI in a recommendation role rather

than that of a participant in the management cycle. A universal integration model has not been formed, as effectiveness depends on the ERP landscape architecture, data governance maturity, and requirements for explainability and regulatory compatibility. The research problem lies in the absence of a holistic and formalized methodological framework that views the integration of artificial intelligence into ERP systems as a managed agent-based system for decision-making and execution.

The aim of the study is to structure the methodological aspects of integrating AI agents into corporate ERP systems and determine the conditions under which AI transitions from the role of an analytical tool to that of a subject within the management loop. To achieve this goal, the study intends to: analyze modern practices of integrating artificial intelligence into ERP systems; compare architectural and organizational models of AI agent implementation; identify conditions for the transition from analytical to agent-based integration; determine methodological requirements for



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

the manageability, measurability, and sustainability of agent-based solutions.

The research hypothesis is that the effectiveness of AI integration into corporate ERP systems is determined not by the complexity of the models, but by the degree of their inclusion in a managed agent-based loop with formalized rules of autonomy, control, and measurable results. Such alignment reduces reliance on manual interventions and increases the sustainability of managerial decisions under conditions of constant change.

The scope of the study is limited to the analysis of methodological, architectural, and managerial aspects of integrating AI agents into corporate ERP systems. Primary attention is paid to questions of agency, implementation life cycle, governance, and result measurability. Economic, sectoral, and institutional factors are considered only insofar as they influence the design and practical realizability of agent-based AI circuits within the ERP landscape.

Materials and Methods. The methodological basis of the study was a corpus of ten scientific sources selected in accordance with the logic of a transparent and reproducible review. The analysis included review, conceptual, and empirical publications dedicated to the application of artificial intelligence in corporate ERP systems and adjacent management loops, including supply chain management, shared service centers, and IT service management. The inclusion criteria were thematic relevance to the task of integrating intelligent agents into ERP, an orientation toward methodological and architectural aspects, and the presence of conclusions applicable to corporate systems with elevated requirements for control, responsibility, and sustainability.

A number of sources record the current state of practice and its limitations. Studies by Al-Hourani and Weraikat [1] and Teixeira et al. [10] show that artificial intelligence is predominantly used for forecasting and risk analysis, remaining outside decision-making and execution loops, which is confirmed by the review of Jawad and Balázs [3]. The work of Jawad and Villányi Balázs János [4] shows that extending ERP with external unstructured data substantially improves the quality of managerial decisions and methodologically supports an agent-based approach. A model for the sustainable integration of artificial intelligence and ERP, combining readiness, acceptance, and result evaluation, is presented in the study by Islam et al. [2], while the strategic and service role of intelligent components is disclosed in the work of Mao et al. [6]. Architectural and organizational prerequisites for agent-based integration are examined in studies by Mannan et al. [5], Mishra and Tripathi [7], Patrício et al. [8], and Pinto et al. [9], with an emphasis on data management, responsibility distribution, and human-automation interaction.

The research method is based on conceptual-analytical synthesis and the comparison of selected

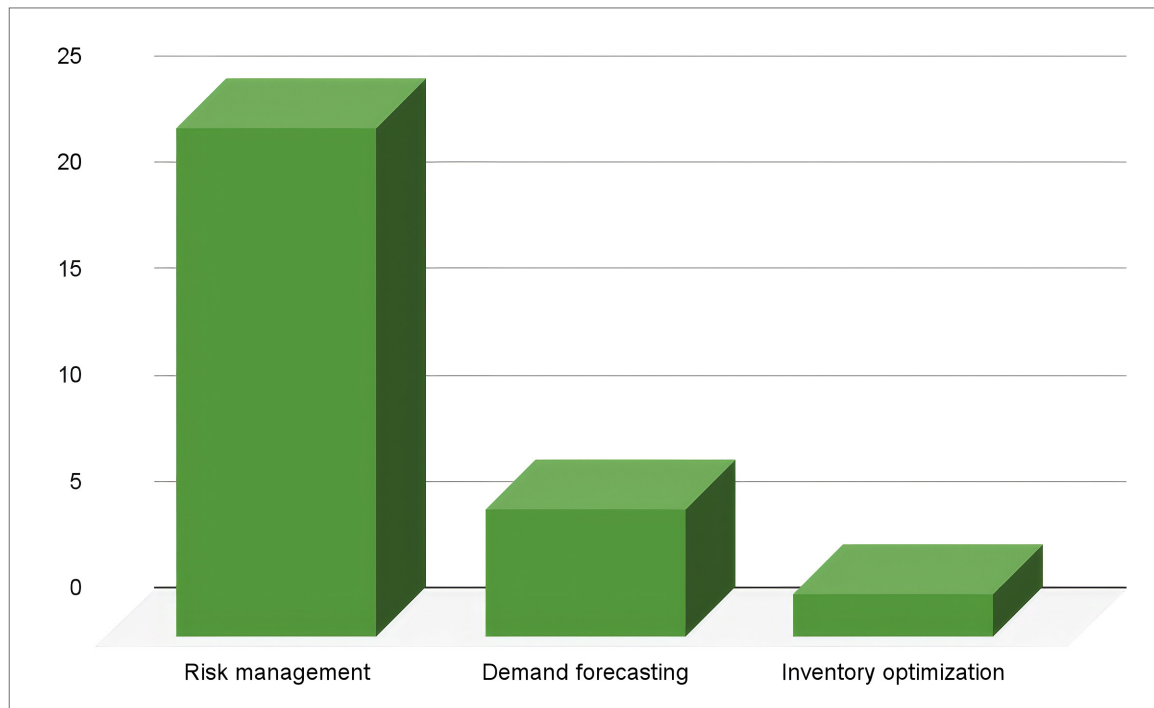
works along agreed axes. The analysis covered the role of artificial intelligence in ERP as a tool for analytical support versus a participant in the management loop; architectural approaches to integration, from modular add-ons to an agent layer with process orchestration; implementation stages, including readiness, acceptance, result evaluation, and post-implementation sustainability; and manageability mechanisms, such as decision explainability, control, regulatory compliance, and security. An intelligent agent in the study is viewed as a subject of the ERP circuit capable of observing events, interpreting context, forming or initiating actions, and ensuring decision traceability with the possibility of human intervention. Limitations of the study are conditioned by the heterogeneity of the analyzed areas, differences in autonomy levels, and the limited number of empirical examples of full-fledged agent-based integration in corporate ERP systems.

Results. The obtained results show that the actual role of artificial intelligence in ERP-adjacent management tasks is more often limited to the analytical loop rather than autonomous process management. In observed practice, AI is predominantly used for risk assessment and forecast support, whereas functions of independent replanning and decision execution are represented significantly more weakly [1]. This is expressed in the fact that model outputs serve as inputs for subsequent human decisions or for regulated processing in ERP, rather than becoming grounds for automatic changes to plans and actions within processes.

The most consistent pattern appears in uncertainty management tasks. Risk-oriented scenarios are built around identifying deviations and warnings, after which the decision remains with the user or predefined system rules [10]. Demand forecasting is used as a means to increase calculation accuracy, but without translating the result into a mechanism for initiating changes in the “planning — procurement — production — distribution” chain [4]. Conversely, scenarios implying active influence on system state, including inventory optimization and dynamic adjustment of execution parameters, are encountered substantially less frequently and remain local in scale [3]. Figure 1 shows the distribution of functional AI/ML focuses, reflecting the current style of ERP integration.

The diagram shows a clear dominance of analytical scenarios for AI integration in ERP. The largest share of research relates to risk management — 24 cases, indicating a priority on identifying threats and deviations without transitioning to managerial actions. Demand forecasting is represented substantially less frequently — 6 cases, reflecting the limited use of AI for active replanning. Inventory optimization is found in only 2 cases, which quantitatively captures the weak presence of AI in the operational ERP loop where autonomous decision-making and action execution are required.

The limitation of agency is connected primarily with integration architecture and rules of permissible



Note: scale: 1 symbol = 1 study

Fig. 1. Functional role of AI/ML reflecting the current ERP integration style

Source: compiled by the author based on source: [1]

autonomy, rather than with the computational capabilities of the models. The study by Islam et al. [2] emphasizes the necessity of measurable autonomy modes and action limitation mechanisms, without which AI remains in a recommendation role. A similar barrier is recorded by Pinto et al. [9], where requirements for accountability and decision traceability in responsible operational environments reinforce reliance on human intervention.

The obtained results show that including external unstructured signals in the demand forecasting loop qualitatively changes the operation of intelligent ERP components. The forecast begins to form not only based on internal system data but also taking into account the external environment context reflected in textual assessments and reviews. Such data expansion moves

AI from an isolated analytical mode to a context-sensitive mode of interpreting changes not captured in transactional data.

Unlike the traditional use of forecasts as auxiliary calculations, the application of hybrid data forms a link between perception, interpretation, and potential managerial impact. This mode corresponds to the logic of an agent loop, in which the intelligent component correlates an external signal with a managed process and creates a basis for adjusting planning parameters [7]. Table 1 presents forecasting quality indicators when adding external textual features.

The presented metrics illustrate the influence of expanding the input data space on forecasting quality, rather than the comparative effectiveness of specific algorithms.

Table 1

Demand forecasting quality metrics under AI-driven ERP extension using sentiment-based pipeline

Demand forecasting quality metric	Value
Random Forest + sentiment: R^2	0.999939
Random Forest + sentiment: MSE	0.000125
Random Forest + sentiment: MAE	0.001073
Random Forest without sentiment: R^2	0.214
ARIMA baseline: R^2	0.842675
Dataset size (drug reviews)	>200,000

Source: compiled by the author based on source: [4]

It should be noted that the reported R^2 value, approaching unity, appears unusually high for demand forecasting tasks and may reflect dataset-specific conditions or methodological artifacts. Accordingly, these results should be interpreted with caution and require independent replication under diverse conditions prior to generalization.

They show that extending ERP circuits with external signals leads to a qualitatively different operating mode for the predictive model. They show that extending ERP circuits with external signals leads to a qualitatively different operating mode for the predictive model. A model using only internal data demonstrates limited ability to reflect real demand fluctuations, whereas adding contextual features eliminates the gap between formal system indicators and actual market behavior. At the same time, classical statistical approaches, despite an acceptable level of accuracy, retain dependence on past values and do not reflect changes in expectations and perception formed outside the ERP.

It is important to note that the observed improvement is connected not with the choice of a specific algorithm, but with the change in the principle of data integration. Including unstructured sources turns the forecast from a static calculation into an element of environment interpretation, which corresponds to the requirements of an agent-based ERP architecture oriented toward adaptation rather than just accounting [5]. This mode aligns with the service logic of

management, in which the intelligent component becomes a connecting element between external signals and internal managerial parameters of the system.

Thus, the obtained results capture that the use of hybrid data creates prerequisites for transitioning from the analytical application of AI to an agent-based loop of perception and interpretation, in which the ERP gains access to external context and can be embedded in a broader cycle of managerial response.

Discussion. The obtained results allow viewing the integration of AI agents into ERP as a methodological task of forming a managed loop, rather than as a technical connection of models. Practice shows that the isolated implementation of intelligent components does not yield a sustainable effect without aligning organizational readiness, user acceptance, and methods for result evaluation. In this context, agency in ERP is formed through the consistency of infrastructural, organizational, and managerial factors, rather than through increasing the accuracy of individual algorithms.

A key condition for such alignment is the simultaneous presence of several interconnected components. These include system and organizational readiness, encompassing data quality, infrastructure reliability, and process maturity, which sets permissible boundaries for AI component autonomy [6], as well as the acceptance of intelligent decisions by users, based on perceived usefulness, transparency, and convenience of interaction with agent results [9]. The measurability

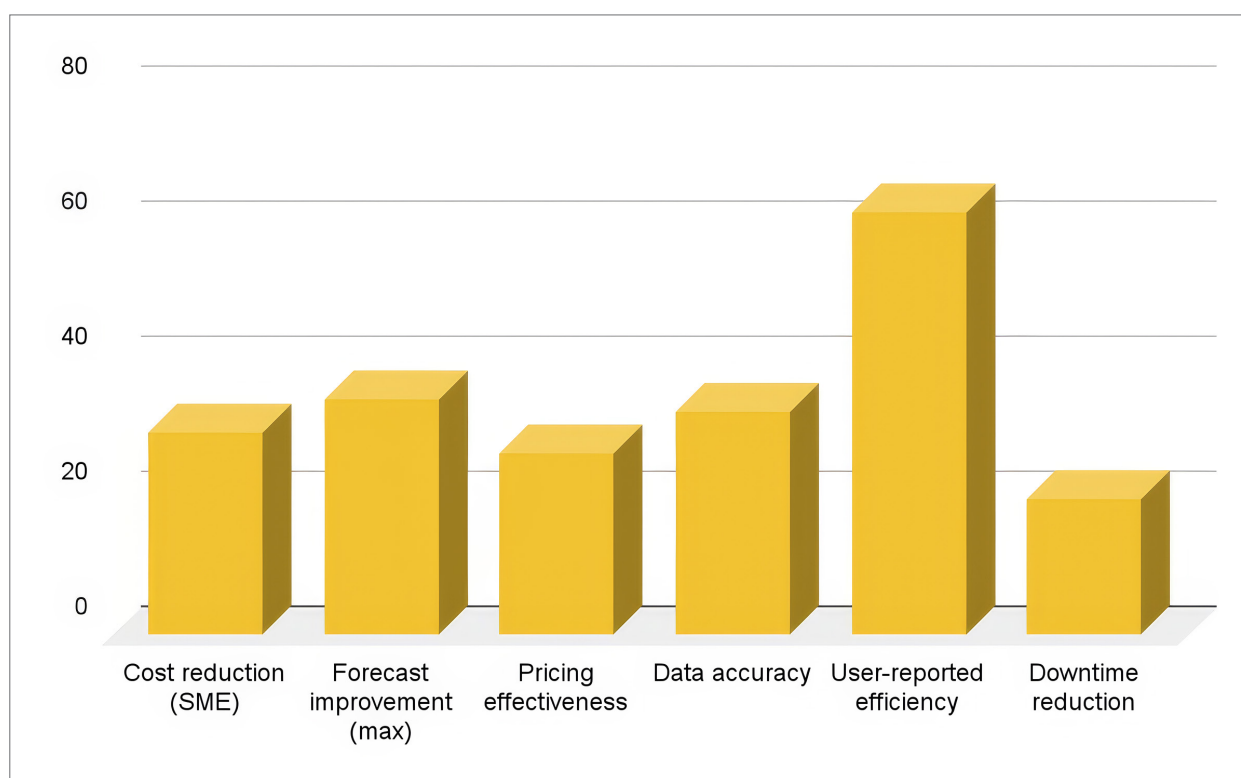


Fig. 2. Comparison of reported improvements in key metrics from AI-ERP

Source: compiled by the author based on source [2]

of results, including the sustainability of effects after implementation and their correspondence to managerial goals, is also of substantial significance. In the absence of alignment among these components, the agent loop in ERP remains formal.

Of separate importance is the observability of autonomy, which includes monitoring model performance characteristics, fixing the boundaries of independent actions, the reasons for decisions made, and conditions for human intervention [2]. These mechanisms are particularly important for ERP systems touching upon financially and regulatory sensitive processes, where security and embedded control act not as external constraints but as a structural element of agent-based integration. Figure 2 shows reported improvements in key indicators during AI integration with ERP, used to discuss success metrics and agent loop observability.

The diagram shows that the greatest improvement is associated with the subjectively perceived efficiency of user work — 62.5%, whereas operational optimization indicators are distributed more evenly. Improvement in forecasting reaches 35%, data accuracy increase — 33%, pricing efficiency growth — 27%, and the reduction of operational losses and downtime remains in the 20–30% range. Such a ratio of values indicates that the effect of integrating AI into ERP manifests simultaneously at the level of data, managerial decisions, and user interaction, rather than being concentrated in a single functional dimension. Consequently, the discussed data emphasize that the methodology of integrating AI agents into ERP must rely on a coordinated life cycle, in which readiness, acceptance, measurability, and autonomy control form a single managed loop, rather than a set of disparate practices.

Modular integration of artificial intelligence into ERP forms the least invasive way of extending functionality. Intelligent components connect to separate modules and return results in the form of indicators or recommendations without affecting process management. This approach is considered safe and manageable; however, it is precisely this that solidifies the analytical role of AI and impedes the transition to agent-based interaction, wherein the intelligent component is capable of initiating actions.

The main limitation is connected with the architectural isolation of ERP modules. Historically, ERPs were built as systems of rigidly regulated circuits, where decision-making is divided between users and rules. Even with high accuracy, a module cannot influence neighboring processes or the system state as a whole, so AI ends up embedded in the computational

but not the managerial layer. From an architectural perspective, intelligence is placed on the periphery, without access to the execution mechanism. Studies by Mannan et al. [5] and Patrício et al. [8] show that the transition to an agent-based approach requires allocating a separate orchestration layer, through which intelligent components interact with the ERP and become part of the managerial logic.

Thus, modular integration solidifies the gap between analysis and action, whereas the transition to agent-based architecture requires a redistribution of roles among the ERP core, intelligent components, and execution mechanisms, which fundamentally changes requirements for architecture, manageability, and responsibility within the corporate system. The obtained results confirm the proposed hypothesis that the key factor in AI effectiveness in ERP is the degree of its inclusion in a managed agent-based loop, rather than the computational complexity of the models used.

Conclusion. Integrating AI agents into corporate ERPs must yield not just “smart analytics on the side” but a managed loop for decision-making and execution within processes. The key conclusion is that the result is determined not by the complexity of the models, but by how formalized the authority, control, and responsibility for autonomous actions are. Without this, AI remains an advisor, and ERP — a system for recording and regulation.

Observed practice shows a predominance of modular, reactive integration. Intelligent components more often identify deviations, form forecasts and recommendations, but do not become participants in the planning and execution cycle. This format is perceived as safe, yet it solidifies the gap between analysis and action and intensifies reliance on manual approvals. The transition to agent-based integration begins with architecture, not with connecting a model. An orchestration layer is needed that links events, context interpretation, and managerial action through controlled ERP interfaces. In this layer, autonomy boundaries, decision traceability, conditions for human intervention, and the distribution of responsibility between roles and loops must be defined.

A sustainable effect is achieved only with a coordinated implementation life cycle. Data and process readiness, user acceptance, and result measurability must be linked into a single management system where autonomy is observable and verifiable. In such an approach, security, regulatory compliance, and explainability act not as limiters but as constructive elements of agency, without which autonomous decisions in ERP cannot be scaled and consolidated in practice.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Al-Hourani, S., & Weraikat, D. (2025). A systematic review of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in pharmaceutical supply chain (PSC) resilience: Current trends and future directions. *Sustainability*, 17(14), 6591. <https://doi.org/10.3390/su17146591>
2. Islam, M. S., Islam, M. I., Mozumder, A. Q., Khan, M. T. H., Das, N., & Mohammad, N. (2025). A conceptual framework for sustainable AI-ERP integration in dark factories: Synthesising TOE, TAM, and IS success models for autonomous industrial environments. *Sustainability*, 17(20), 9234. <https://doi.org/10.3390/su17209234>
3. Jawad, Z. N., & Balázs, V. (2024). Machine learning-driven optimization of enterprise resource planning (ERP) systems: A comprehensive review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 13, 4. <https://doi.org/10.1186/s43088-023-00460-y>
4. Jawad, Z. N., & Villányi Balázs János, D. (2025). A comprehensive review of AI-enhanced decision making: An empirical analysis for optimizing medication market business. *Machine Learning with Applications*, 20, 100676. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2025.100676>
5. Mannan, M. A., Shaikh, A. K., Khan, A. A., Raahemifar, K., & Mohamed, M. A. (2025). Transforming ERP systems with collaborative AI: Paving the path to strategic growth and sustainability. *Array*, 28, 100517. <https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100517>
6. Mao, H., Zhang, T., & Tang, Q. (2021). Research framework for determining how artificial intelligence enables information technology service management for business model resilience. *Sustainability*, 13(20), 11496. <https://doi.org/10.3390/su132011496>
7. Mishra, S., & Tripathi, A. R. (2021). AI business model: An integrative business approach. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 10, 18. <https://doi.org/10.1186/s13731-021-00157-5>
8. Patrício, L., Varela, L., Silveira, Z., Felgueiras, C., & Pereira, F. (2025). A framework for integrating robotic process automation with artificial intelligence applied to Industry 5.0. *Applied Sciences*, 15(13), 7402. <https://doi.org/10.3390/app15137402>
9. Pinto, A. S., Abreu, A., Cota, M. P., et al. (2025). Mapping the process of digital transformation in shared services centers: A scoping literature review. *Future Business Journal*, 11, 228. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00654-z>
10. Teixeira, A. R., Ferreira, J. V., & Ramos, A. L. (2025). Intelligent supply chain management: A systematic literature review on artificial intelligence contributions. *Information*, 16(5), 399. <https://doi.org/10.3390/info16050399>

Точигін Максим Олегович*аспірант**Національного транспортного університету***Tochygin Maxim***Graduate Student of the**National Transport University*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12067

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ АСИМЕТРІЇ В МІСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛЕНИХ РЕЄСТРІВ

ADDRESSING INFORMATION ASYMMETRY IN URBAN LOGISTICS USING DISTRIBUTED LEDGERS

Анотація. Вступ. Сучасні тенденції урбанізації та стрімке зростання обсягів електронної комерції призводять до значного збільшення навантаження на транспортну інфраструктуру міст. Традиційні підходи до управління міськими вантажними перевезеннями, які базуються на централізованому прийнятті рішень та статичному плануванні, виявляються неефективними в умовах високої динаміки міського середовища. Це спричиняє низку негативних наслідків: зростання рівня заторів, погіршення екологічної ситуації через збільшення викидів забруднюючих речовин, а також зниження рівня соціального комфорту та безпеки мешканців. Вирішення цих проблем вимагає переходу до концепції сталого розвитку, що передбачає гармонійне поєднання економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної прийнятності логістичних процесів. Інтеграція новітніх інформаційних технологій, таких як штучний інтелект та розподілені реєстри, відкриває нові можливості для децентралізованого, адаптивного та прозорого управління вантажопотоками. Мета. Метою даного дослідження є розробка комплексного методу формування стратегії сталого розвитку міських вантажних перевезень на основі синергії графових нейронних мереж, глибинного навчання з підкріпленням та смарт-контрактів технології блокчейн для забезпечення балансу між логістичними витратами, екологічним навантаженням та соціальним комфортом. Матеріали і методи. Теоретико-методологічною базою дослідження є системний підхід, теорія графів, марковські процеси прийняття рішень (DRL), методи багатокритеріальної оптимізації (TOPSIS) та метод ентропії. Для верифікації даних та контролю доступу застосовано принципи технології блокчейн і смарт-контрактів. Моделювання трафіку та прогнозування станів транспортної мережі виконано з використанням графових нейронних мереж (GNN). Результати. У процесі дослідження було формалізовано концептуальну архітектуру управління міськими вантажопотоками як складну багатокритеріальну задачу. Удосконалено систему критеріїв оцінки ефективності стратегії, де поряд із традиційними економічними показниками введено інтегральний індикатор сталого розвитку. Розроблено математичну модель визначення параметрів дворівневої міської логістики (з використанням мікро-хабів), яка враховує динамічні ліміти пропускної здатності екологічних зон. Запропоновано комплексний чотириетапний метод формування стратегії, який включає використання «Цифрового двійника» (Digital Twin) для імітаційного стрес-тестування раціонального вектора параметрів. Використання блокчейн-реєстру забезпечує прозору фіксацію телеметричних даних та автоматизоване управління доступом вантажівок у зони з низьким рівнем викидів (LEZ). Перспективи. Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну апробацію розробленого методу в реальних умовах великих транспортних вузлів, удосконалення алгоритмів децентралізованого голосування стейкхолдерів для визначення вагових коефіцієнтів та інтеграцію отриманих моделей із муніципальними системами Smart City.

Ключові слова: міські вантажні перевезення, сталий розвиток, багатокритеріальна оптимізація, блокчейн, штучний інтелект, смарт-контракти.

Summary. Introduction. Modern urbanization trends and the rapid growth of e-commerce volumes lead to a significant increase in the load on the transport infrastructure of cities. Traditional approaches to urban freight transport management, based on centralized decision-making and static planning, prove inefficient in highly dynamic urban environments. This causes

negative consequences: increased congestion, environmental degradation, and decreased social comfort. Solving these problems requires transitioning to sustainable development. The integration of advanced IT, such as AI and distributed ledgers, opens new opportunities for adaptive flow management. Purpose. The purpose of this study is to develop a comprehensive method for forming a strategy for the sustainable development of urban freight transport based on the synergy of graph neural networks, deep reinforcement learning, and blockchain smart contracts. Materials and methods. The theoretical and methodological basis of the study is a systems approach, graph theory, Markov decision processes (DRL), multi-criteria optimization methods (TOPSIS), and the entropy method. Blockchain technology is applied for data verification and access control. Traffic modeling is performed using graph neural networks (GNN). Results. The conceptual architecture of urban freight flow management was formalized as a complex multi-criteria problem. The system of criteria for evaluating strategy efficiency was improved. A mathematical model for determining the parameters of two-tier city logistics was developed, taking into account the dynamic capacity limits of environmental zones. A comprehensive four-stage strategy formation method is proposed, including the use of a Digital Twin for simulation stress testing. Prospects. Further research will be directed towards the practical approbation of the developed method in real conditions of large transport hubs and the integration of the obtained models with municipal Smart City systems.

Key words: urban freight transport, sustainable development, multi-objective optimization, blockchain, artificial intelligence, smart contracts.

Постановка проблеми. Традиційні моделі управління міською логістикою базуються на централізованому прийнятті рішень, що в умовах високої динаміки міського середовища призводить до затримок та неоптимального використання інфраструктури. Зростання попиту на вантажні перевезення генерує негативні екстерналії, такі як викиди парникових газів, затори та зниження рівня безпеки руху. Потреба у гармонізації інтересів усіх стейкхолдерів вимагає переходу до систем децентралізованої координації з використанням новітніх інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам міської логістики присвячено значну кількість наукових праць. Фундаментальні основи дворівневої міської логістики закладено у дослідженнях Т. G. Crainic [11, с. 182]. Використання графових нейронних мереж (GNN) для прогнозування заторів та екологічного навантаження детально розглянуто у роботах Barhoumi et al. [1, с. 46]. Питання інтеграції блокчейн-технологій для забезпечення достовірності даних у транспортних системах досліджували Miron et al. [4, с. 341] та Zhou et al. [5, с. 1121]. Багатокритеріальна оптимізація екологічних та економічних параметрів висвітлена у роботах Akkad et al. [2, с. 112] та Ishii et al. [3, с. 104]. Водночас соціальні аспекти функціонування вантажного транспорту ґрунтовно досліджено у працях Davidich et al. [7, с. 103001] та Malinovsky et al. [6, с. 5]. Незважаючи на значний доробок, проблема комплексної інтеграції методів штучного інтелекту та смарт-контрактів у єдиний метод формування стратегії сталого розвитку міських перевезень залишається невирішеною.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є розробка методу формування стратегії сталого розвитку міських вантажних перевезень, який дозволяє інтегрувати механізми децентралізованого контролю на основі блокчейн-технологій та інструменти адаптивного прогнозування з використанням

штучного інтелекту для оптимізації логістичних процесів.

Виклад основного матеріалу. У межах формування стратегії сталого розвитку міських вантажних перевезень, першочерговим завданням є математична формалізація процесу управління потоками. Згідно з сучасними підходами, міська логістична система розглядається як складна динамічна мережа, де кожен елемент має відповідати принципам екологічності, економічної ефективності та соціальної прийнятності.

Спираючись на дослідження [1, с. 48], транспортну інфраструктуру міста представлено у вигляді просторово-семантичного графа:

$$G=(V,E), \quad (1)$$

де: V — множина вузлів (логістичні центри, мікрорайони, точки споживання);

E — множина дуг (транспортні сполучення, вулично-дорожня мережа).

Кожна дуга $e \in E$ характеризується вектором параметрів:

$$w_e=(t_e, c_e, em_e), \quad (2)$$

де t_e — час проходження, c_e — фінансові витрати, а em_e — рівень екологічного навантаження (викиди CO₂, шум).

Формалізація задачі полягає у знаходженні оптимального розподілу вантажних потоків, що мінімізує інтегральний показник впливу. На основі підходів [2, с. 115; 3, с. 106] сформульовано багатокритеріальну цільову функцію $F(x)$:

$$F(x)=\alpha \cdot f_{econ}(x)+\beta \cdot f_{env}(x)+\gamma \cdot f_{soc}(x) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де: $f_{econ}(x)$ — функція економічних витрат;

$f_{env}(x)$ — функція екологічного впливу;

$f_{soc}(x)$ — функція соціального комфорту;

α, β, γ — вагові коефіцієнти, що визначаються пріоритетами стратегії сталого розвитку.

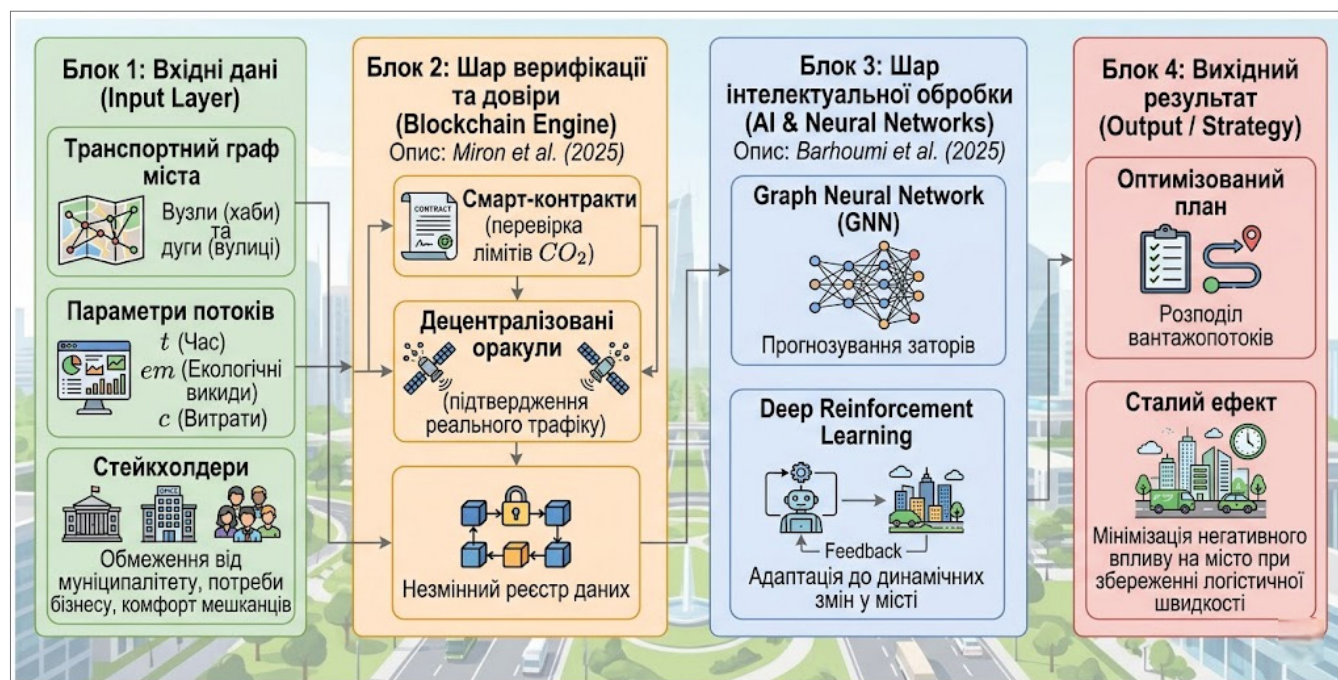


Рис. 1. Концептуальна схема формалізації задачі

Джерело: розроблено автором

Задача формалізується з урахуванням наступних критичних обмежень: пропускна здатність інфраструктури, часова невизначеність (вікна доставки) та екологічні ліміти зон міста. Особливістю даної формалізації є впровадження механізмів Deep Reinforcement Learning (DRL), що дозволяє моделі адаптуватися до просторово-часових змін у міському середовищі [10, с. 121705].

Для комплексної оцінки стратегії пропонується багатокритеріальний підхід. Критерії групуються за наступними доменами [6, с. 7]:

1. Економічна ефективність: питомі витрати, коефіцієнт використання вантажопідйомності, час виконання замовлення.
2. Екологічна сталість: обсяг викидів CO_2 , енергоспоживання, рівень шуму.



Рис. 2. Графова модель міської транспортної мережі

Джерело: розроблено автором

Таблиця 1

Класифікація параметрів та обмежень моделі

Категорія	Параметр	Одиниця виміру	Джерело верифікації
Економічні	Логістичні витрати	грн/км	Смарт-контракт
Екологічні	Викиди CO2	г/км	IoT-датчики / Блокчейн
Технічні	Пропускна здатність	од./год	Нейронна мережа

Джерело: розроблено автором

3. Соціальна прийнятність: вплив на завантаженість мережі, кількість ДТП, задоволеність мешканців [7, с. 103008].

Для прийняття рішень необхідно звести показники до єдиного інтегрального показника ефективності (I_{eff}):

$$I_{eff} = \sum (w_i \cdot k_i),$$

(4)

де k_i — нормоване значення i -го критерію;
 w_i — ваговий коефіцієнт важливості критерію.

Нормування критеріїв стимуляторів (максимізація) та дестимуляторів (мінімізація) проводиться за методом лінійної трансформації в діапазон [0, 1].

Визначення вагових коефіцієнтів w_i є критичним етапом. Пропонується використання об'єктивного підходу на основі методу ентропії, що дозволяє динамічно коригувати важливість критеріїв залежно від ступеня розсіювання даних.

Модель функціонування описується як марковський процес прийняття рішень (MDP). Стан системи в момент часу t визначається як

$$S_t = \{W_t, E_t, Q_t\}.$$

(5)

Логіка роботи смарт-контрактів управління потоками зводиться до автоматизованого виконання правил доступу до екологічних зон. Математична логіка спрацювання смарт-контракту щодо

Таблиця 2

Матриця критеріїв та методів їх вимірювання

Група критеріїв	Показник	Метод отримання даних	Інструмент верифікації
Екологічна	Викиди CO2	Дистанційний моніторинг (IoT)	Blockchain [4, с. 50]
Економічна	Собівартість доставки	Аналіз смарт-контрактів	Blockchain Ledger
Технічна	Надійність графіку	Предиктивна аналітика	GNN [1, с. 48]
Соціальна	Соціальний дискомфорт	Опитування / Аналіз трафіку	DRL / [7, с. 103010]

Джерело: розроблено автором

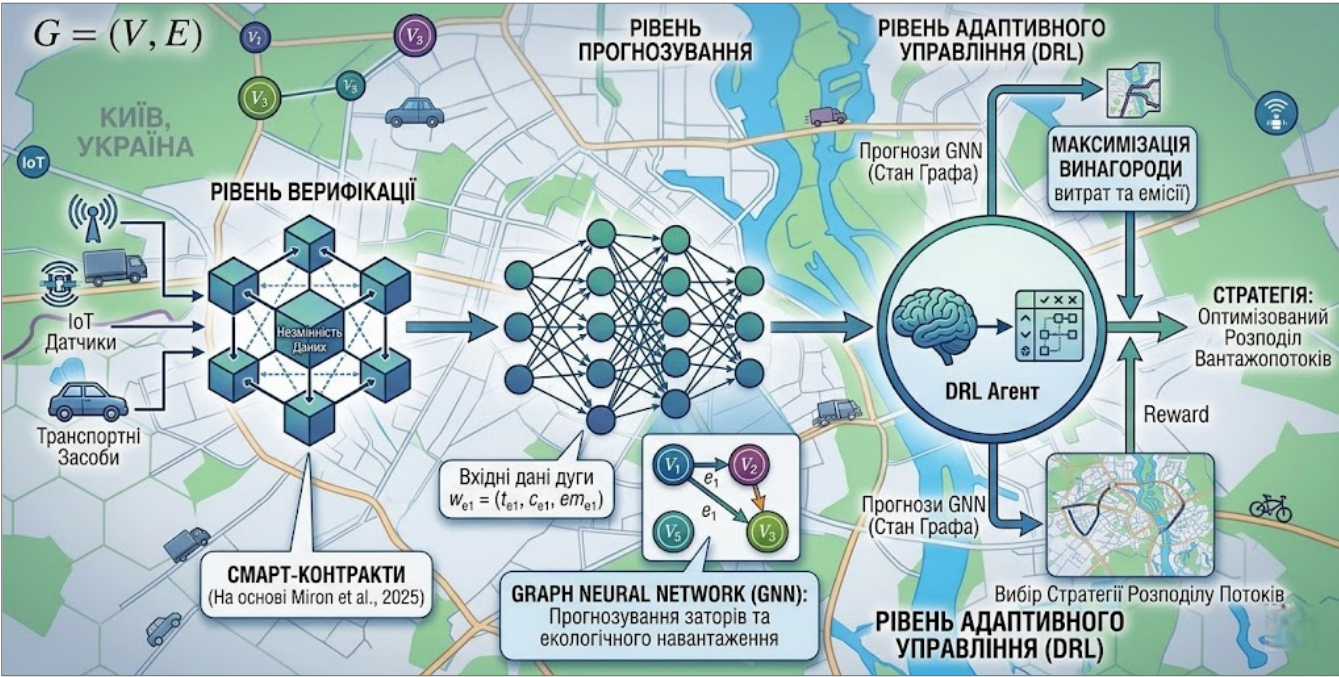


Рис. 3. Алгоритм інтелектуальної обробки даних
Джерело: розроблено автором

Таблиця 3

Приклад нормування значень для різних типів вантажівок

Параметр	Одиниця	Значення (Real)	Значення (Normalized)	Вага w_i
Собівартість	грн/км	45.0	0.82	0.4
Викиди CO ₂	кг/км	1.2	0.45	0.3
Шум	дБ	75	0.60	0.3
РАЗОМ (I_eff)	—	—	0.643	1.0

Джерело: розроблено автором

Таблиця 4

Матриця порівняння методів визначення вагових коефіцієнтів

Метод	Переваги	Недоліки	Застосування в статті
Метод експертних оцінок	Враховує досвід фахівців	Суб'єктивність	Початкове налаштування
Метод ентропії	Математична об'єктивність	Складність обчислень	Динамічне коригування
Blockchain-voting	Прозорість, довіра громади	Потребує інфраструктури	Формування соціальної ваги

Джерело: розроблено автором

надання доступу x_{kZ} формулізується як порогова функція екологічної ємності зони [9, с. 108392].

На основі модифікованої моделі T. G. Crainic [11, с. 185], формалізовано залежність для визначення раціональної кількості мікро-хабів (N_h), яка інтегрує екологічні ліміти блокчейн-мережі:

$$N_h \geq \max \left(\frac{Q_{total}}{C_{hub}} k_u, \frac{em_{req}}{E_{max}^Z} \right), \quad (5)$$

В пошуку раціональних параметрів

$$P^* = \{N_h, R_h, V_k, E_{max}^Z\}$$

запропоновано евристичний алгоритм на основі DRL, який оптимізує процеси в імітаційному середовищі Цифрового двійника (Digital Twin).

Запропонований метод формування стратегії розвитку міських вантажних перевезень реалізується у чотири етапи:

1. Інформаційно-аналітичний етап: топологічне картування, екологічний аудит, оцінка попиту.
2. Критеріально-оптимізаційний етап: налаштування ваг, розрахунок макропараметрів, DRL-оптимізація.
3. Сценарне моделювання та стрес-тестування: перевірка параметрів у Цифровому двійнику.
4. Інституційна імплементація та моніторинг: розгортання інфраструктури, запуск смарт-контрактів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі розроблено теоретико-методологічний

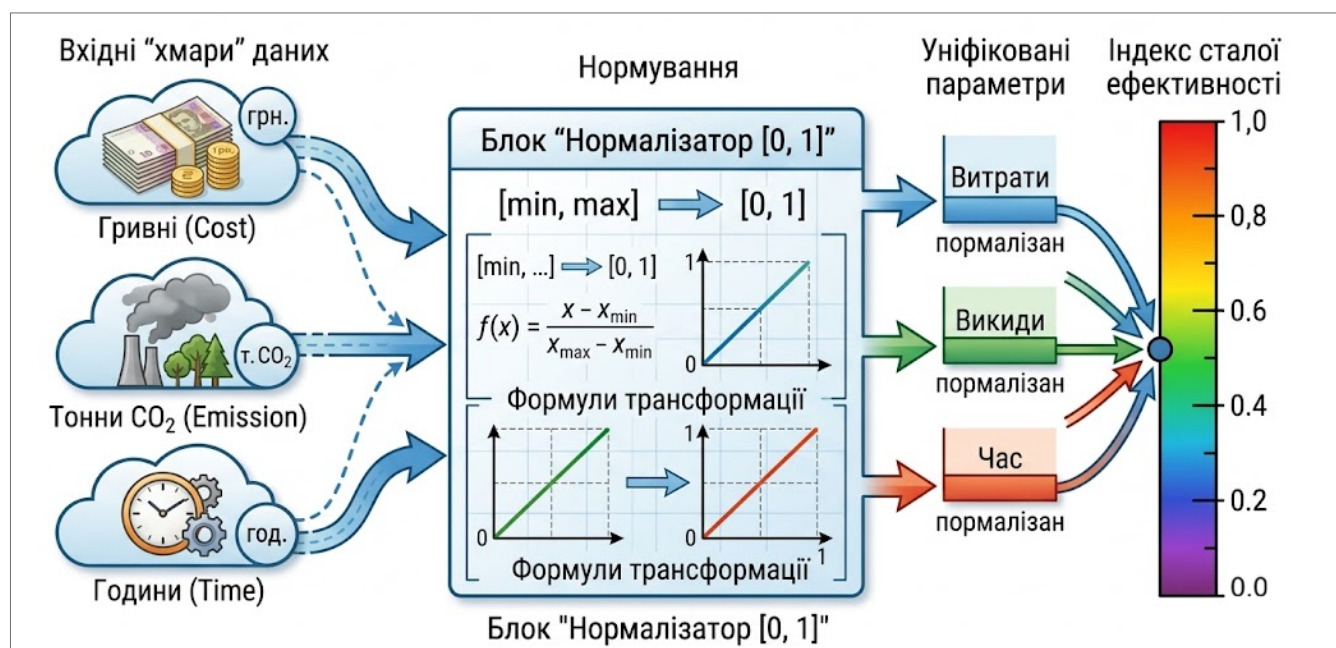


Рис. 4. Процес зведення різнопланових критеріїв до інтегрального показника

Джерело: розроблено автором

Таблиця 5

Матриця інформаційних потоків та інструментарію за етапами реалізації методу

Етап	Вхідні дані (Inputs)	Застосований інструментарій	Вихідні результати (Outputs)
1. Інформаційно-аналітичний	Дані трафіку, екологічні нормативи	IoT, теорія графів	Граф мережі, ліміти E_max
2. Критеріально-оптимізаційний	Ліміти, попит, відстані	Модель Crainic, DRL	Раціональний вектор параметрів
3. Сценарне моделювання	Вектор параметрів, збурення	GNN, Digital Twin	Підтверджений рівень стійкості
4. Імплементация та моніторинг	Верифікований вектор, інфраструктура	Смарт-контракти, API	Контроль в LEZ, маршрутизація

Джерело: розроблено автором

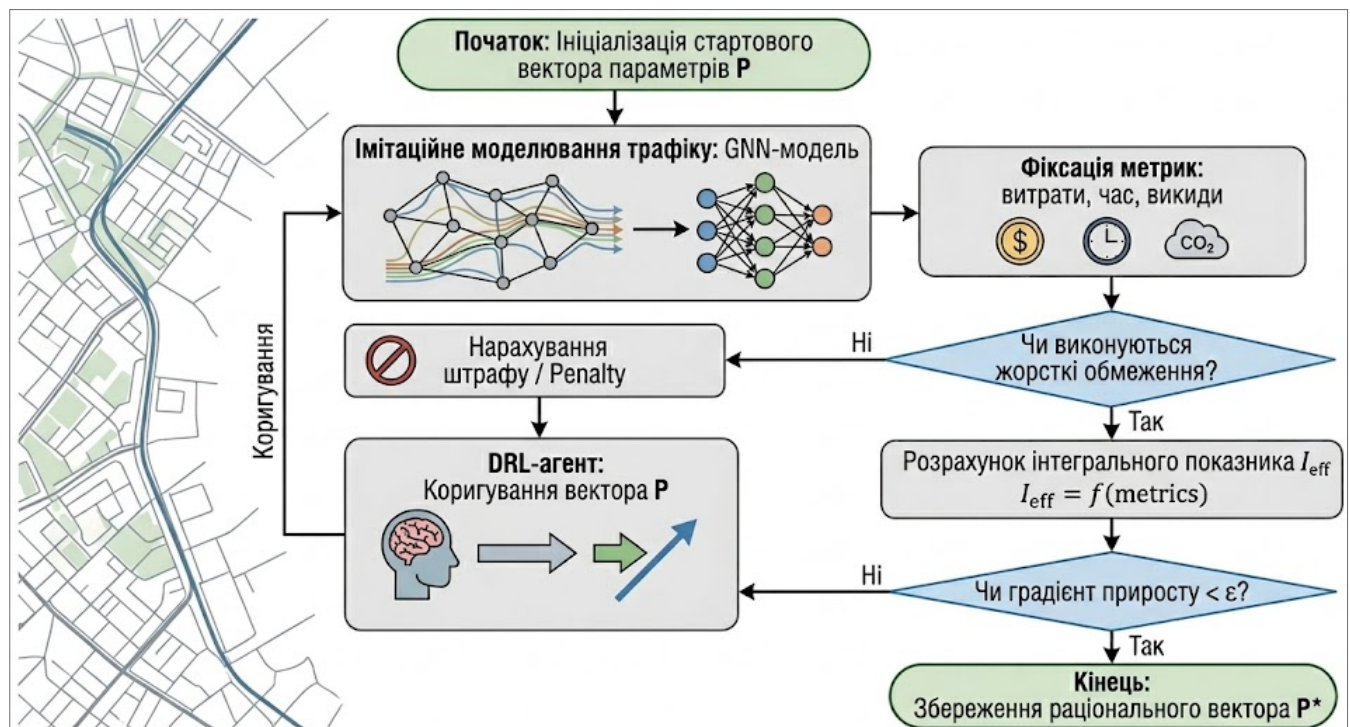


Рис. 5. Блок-схема алгоритму пошуку раціональних параметрів

Джерело: розроблено автором

апарат формування стратегії сталого розвитку міських вантажних перевезень. Формалізовано концептуальну архітектуру на основі блокчейн-верифікації та інтелектуального управління потоками. Запропоновано комплексний чотириетапний метод, який забезпечує

високу адаптивність стратегії до довгострокових змін урбаністичного ландшафту за рахунок використання цифрових двійників. Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну імплементацию методу в умовах транспортних мереж великих міст України.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Barhoumi, Z. et al. (2025). Graph Neural Networks for Urban Logistics. *Journal of Sustainable Transportation*, 12(3), pp. 45–60.
2. Akkad, M. et al. (2020). Multi-objective Optimization in Freight Transport. *European Journal of Operational Research*, 285(1), pp. 110–125.
3. Ishii, T. et al. (2025). Eco-routing Strategies for Urban Environments. *Transportation Research Part D*, 90, pp. 102–115.
4. Miron, A. et al. (2025). Blockchain Technologies for Smart Cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 26(2), pp. 340–355.
5. Zhou, X. et al. (2024). Decentralized Consensus for Logistics Networks. *Sensors*, 24(5), p. 1120.
6. Malinovsky, V. et al. (2023). Key Performance Indicators for Urban Freight. *Logistics Research*, 16(4), pp. 1–18.
7. Davidich, N. et al. (2021). Social Impact of Urban Freight Transport. *Sustainable Cities and Society*, 72, p. 103000.
8. Hribernik, M. et al. (2020). Micro-hubs for Sustainable Last-Mile Delivery. *Case Studies on Transport Policy*, 8(3), pp. 873–885.
9. Agrawal, S. et al. (2022). Smart Contracts in Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 245, p. 108390.
10. Li, J. et al. (2024). Deep Reinforcement Learning for Dynamic Routing. *Expert Systems with Applications*, 238, p. 121700.
11. Crainic, T. G. (2008). City Logistics. In: *Fleet Management and Logistics*. Springer, pp. 181–212.

Allakhveranov Rauf

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kharkiv National University of Radio Electronics*

Hubskiy Ihor

*Master Student of the
Kharkiv National University of Radio Electronics*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12112

ANALYSIS OF METHODS FOR MATHEMATICAL MODELING OF DISCRETE AUTOMATION OBJECTS

Summary. This article analyzes methods for the mathematical modeling of discrete automation objects. It examines approaches to constructing mathematical models based on differential equations, state-space models, transfer functions, and numerical methods. The article analyzes the specifics of using the Laplace transform and software tools for mathematical modeling. A comparative analysis of existing methods is performed, and their advantages and limitations in the study of automatic control systems are identified. It is shown that the integrated use of analytical and numerical methods improves the accuracy of mathematical models and the efficiency of automation system development.

Key words: mathematical modeling, discrete automation object, state space, differential equations, Laplace transform, numerical methods, automatic control.

Introduction. Mathematical modeling is one of the fundamental tools for researching, analyzing, and designing automation systems. Its application makes it possible to investigate the dynamic properties of controlled systems, evaluate their behavior under various operating conditions, synthesize control algorithms, and reduce the costs of conducting full-scale experiments. Mathematical modeling becomes particularly relevant in the development of robotic systems, cyber-physical systems, and digital manufacturing, where high demands are placed on the accuracy and adequacy of models.

Discrete automation objects are characterized by complex structures, the presence of nonlinearities, time delays, and the influence of external disturbances, which necessitates the use of effective mathematical modeling methods. In this regard, it is important to analyze approaches to constructing mathematical models, evaluate their capabilities, and identify areas of practical application. The purpose of this article is to analyze methods of mathematical modeling for discrete automation objects, compare them, and identify the specific features of their use in the development of automatic control systems.

Analysis of Recent Research and Publications. The issue of mathematical modeling of discrete

automation objects is one of the priority areas in the development of automatic control theory. The construction of adequate mathematical models enables the analysis of dynamic processes, the study of system stability, the synthesis of control algorithms, and the optimization of technical object parameters. The foundation of modeling methods consists of differential equations, state-space models, transfer functions, and numerical methods for solving mathematical models.

In the research conducted, significant attention is paid to the application of computer technologies for mathematical modeling, which allow for the automation of the process of model construction, the performance of numerical calculations, and the analysis of results. The use of software packages such as Scilab, Maxima, MATLAB, and Python significantly expands the possibilities for studying complex dynamic systems and increases the efficiency of automation system development.

At the same time, an analysis of scientific publications shows that most studies focus on individual methods of mathematical modeling, while the issues of their comprehensive comparison, identification of advantages, limitations, and areas of practical application remain insufficiently addressed. This underscores the relevance of conducting a comprehensive analysis



of mathematical modeling methods for discrete automation objects and evaluating their potential for use in the development of automatic control systems.

Statement of the Research Problem. The purpose of this article is to analyze methods of mathematical modeling of discrete automation objects, compare their main characteristics, and identify the features of their practical application in the development of automatic control systems.

To achieve this goal, the following tasks must be addressed:

- analyze existing approaches to the mathematical modeling of discrete automation objects;
- to investigate the characteristics of using models based on differential equations, state spaces, and transfer functions;
- to perform a comparative analysis of numerical modeling methods;
- to investigate the capabilities of mathematical modeling software tools;
- to identify promising directions for the development of mathematical modeling methods in automation systems.

Methods of Mathematical Modeling of Discrete Automation Objects. Mathematical modeling is one of the most important stages in the development of automatic control systems, as it allows us to describe the behavior of a real-world object using mathematical relationships, investigate its dynamic properties, and evaluate its response to external influences. The use of mathematical models makes it possible to analyze a system as early as the design

stage, which significantly reduces the time and resources required to develop new technical solutions. The main requirements for mathematical models are adequacy, accuracy, versatility, and the ability to be efficiently implemented on a computer.

Existing discrete automation systems are characterized by a large number of interconnected elements, digital information processing, and the discrete nature of changes in control signals. Various methods of mathematical modeling are used to study them; the choice of method depends on the complexity of the system, the required accuracy of calculations, and the conditions of practical application. The most widely used models are those based on differential equations, transfer functions, state-space models, and numerical integration methods.

Figure 1 shows a classification of methods for mathematical modeling of discrete automation systems.

When mathematically describing dynamic automation systems, a system of ordinary differential equations is most commonly used to establish the relationship between state variables, input control signals, and output variables. The mathematical description of a dynamic system can be expressed as:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t), t), \quad (1)$$

where $x(t)$ — vector of an object's state variables;

$u(t)$ — vector of control inputs;

$f(x(t), u(t), t)$ — a nonlinear function that describes the dynamics of a system.

Presenting a mathematical model in this form is universal and allows for the description of a broad

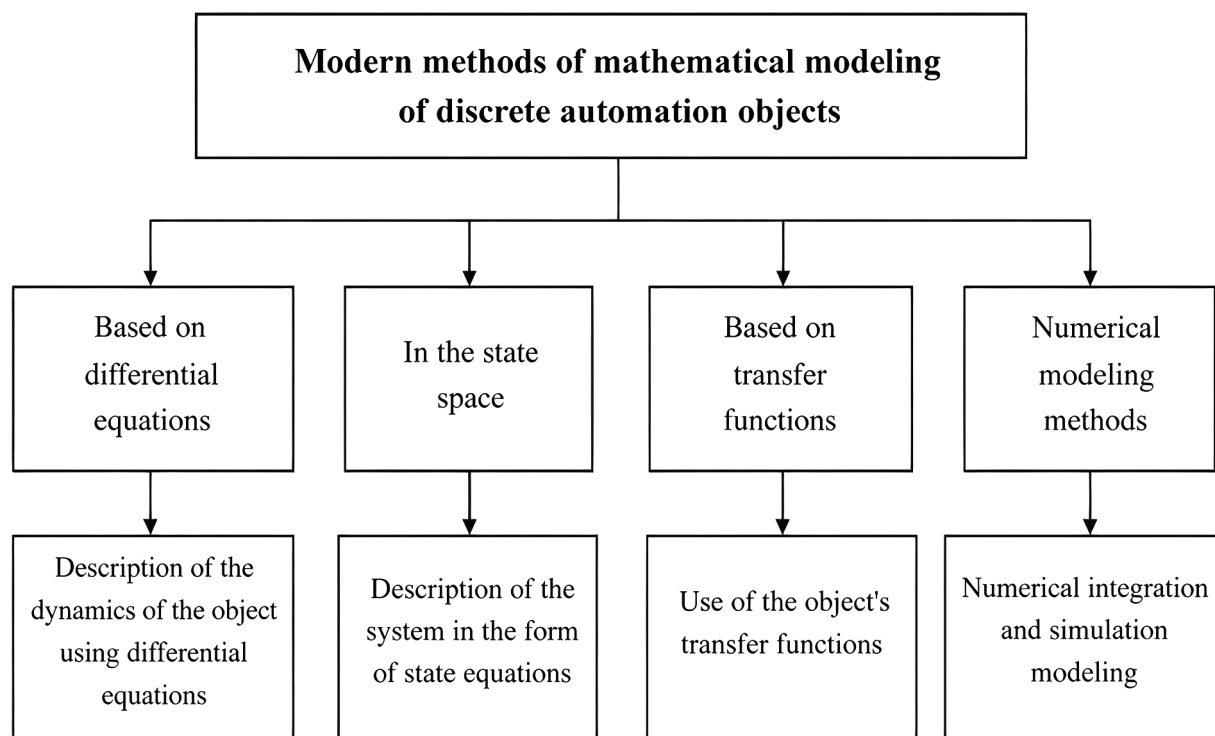


Fig. 1. Classification of Methods for Mathematical Modeling of Discrete Automation Objects

class of technical systems, regardless of their physical nature. For linear automation systems, it is advisable to express the mathematical model in state space, which significantly simplifies the analysis of multidimensional systems and is used in the synthesis of automatic control algorithms.

For linear systems, the model in state space takes the form:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (2)$$

where A — system state matrix;

B — control matrix;

x — state vector;

u — control signal vector.

State-space models enable the analysis of a system's controllability, observability, and stability, and are widely used in the development of digital automatic control systems, robotic systems, and cyber-physical systems.

Use of the Laplace Transform and Numerical Modeling Methods. One of the most common methods for analyzing linear dynamic systems is the use of the Laplace transform, which allows one to transform differential equations into algebraic relationships. This approach significantly simplifies the study of the dynamic characteristics of automation systems, the analysis of their stability, the determination of time characteristics, and the construction of transfer functions. The use of operational calculus is particularly effective in the analysis of linear systems, where it is necessary to determine the system's response to standard input signals and to evaluate the parameters of transient processes.

The Laplace transform of a function of time is defined by the following equation:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{st} dt, \quad (3)$$

where $f(t)$ — time function;

s — a complex variable in the operational domain.

After transitioning to the operational domain, mathematical models can be represented as transfer functions, which makes it possible to study the dynamic characteristics of systems without directly integrating differential equations. This approach is widely used in the analysis of electromechanical systems, robotic systems, and other automation systems.

Figure 2 shows the sequence of mathematical modeling using the Laplace transform.

In many practical problems, mathematical models have a complex structure or contain nonlinearities, making it impossible to obtain an analytical solution. In such cases, numerical integration methods are used, which allow for obtaining an approximate solution to the mathematical model with the required accuracy. Among the most common are the Euler method, the Runge-Kutta methods, and their modifications, which ensure high modeling accuracy at an acceptable cost in terms of computational resources.

One of the simplest numerical methods is the Euler method, whose mathematical description is as follows:

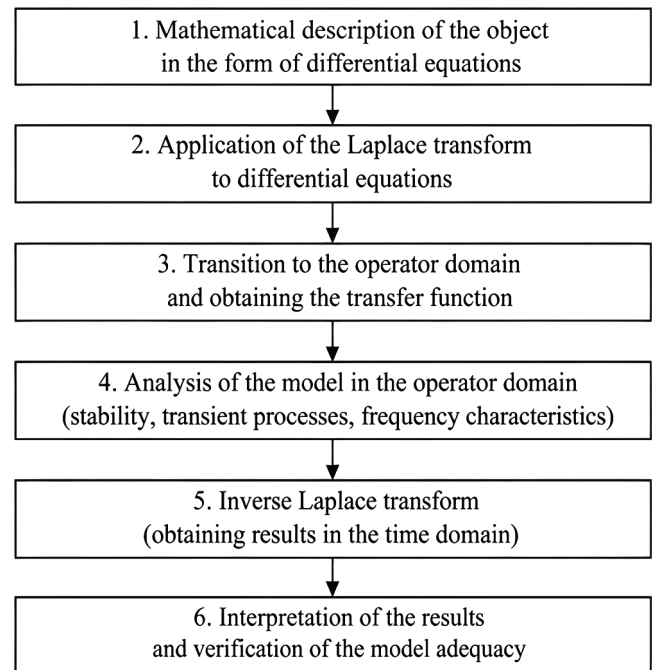


Fig. 2. Sequence of Mathematical Modeling Using the Laplace Transform

$$x_{k+1} = x_k + hf(x_k t_k), \quad (4)$$

where h — integration step;

x_k — the value of the state variable at the k step;

$f(x_k t_k)$ — the value of the right-hand side of the differential equation.

Despite its simplicity of implementation, the Euler method has limited accuracy; therefore, when modeling complex automation systems, fourth-order Runge-Kutta methods are more commonly used, as they provide a significantly lower error in numerical integration and high stability of the computational process.

Table 1 presents a comparative analysis of mathematical modeling methods.

A comparative analysis shows that none of the methods considered is universal. The choice of a specific approach is determined by the characteristics of the object under study, the requirements for modeling accuracy, and the available computational resources. In practice, the most effective approach is the integrated use of analytical and numerical methods, which ensures the development of adequate mathematical models for a broad class of discrete automation objects.

Existing software tools for mathematical modeling. Advances in computer technology and software have significantly changed approaches to the mathematical modeling of automation systems. Whereas previously most mathematical calculations were performed using analytical methods, today a significant portion of research is conducted using specialized software packages. This makes it possible to significantly reduce the time required for calculations, improve modeling accuracy, and study complex

Table 1

Comparative Analysis of Mathematical Modeling Methods

Modeling Method	Advantages	Disadvantages	Main Area of Application
Differential Equations	high accuracy of the mathematical description	computational complexity for nonlinear models	analysis of dynamic systems
State Space	convenient analysis of multidimensional systems	requires a matrix representation	digital control systems
Laplace Transform	simplifies the analysis of linear systems	limited use for nonlinear models	analysis of transient processes
Numerical Methods	the ability to create complex models	the presence of a numerical error	computer modeling

multidimensional systems for which an analytical solution is practically impossible.

The most widely used software packages in the field of automation are Scilab, Maxima, MATLAB, and Python. They support a wide range of tools for mathematical computations, numerical integration, building mathematical models, analyzing dynamic characteristics, and graphically visualizing results. Of particular interest are the open-source software packages Scilab and Maxima, which provide sufficient functionality for most scientific research and educational purposes.

One promising area is the use of Python software libraries (NumPy, SciPy, Matplotlib), which allow for the integration of mathematical modeling with modern technologies for data analysis, machine learning, and artificial intelligence. This opens up new opportunities for creating adaptive models, digital twins,

and systems for predicting the technical condition of equipment.

Figure 3 shows a diagram illustrating the use of software tools for the mathematical modeling of discrete automation objects.

In numerical simulation, the accuracy of calculations is often evaluated based on the magnitude of the absolute error:

$$\Delta = |x_e - x_m|, \quad (5)$$

where x_e — experimental value of the parameter;

x_m — a value obtained as a result of mathematical modeling.

Minimizing the absolute error is one of the main criteria for evaluating the adequacy of a mathematical model. The smaller the error value, the more accurately the model reflects the behavior of the actual

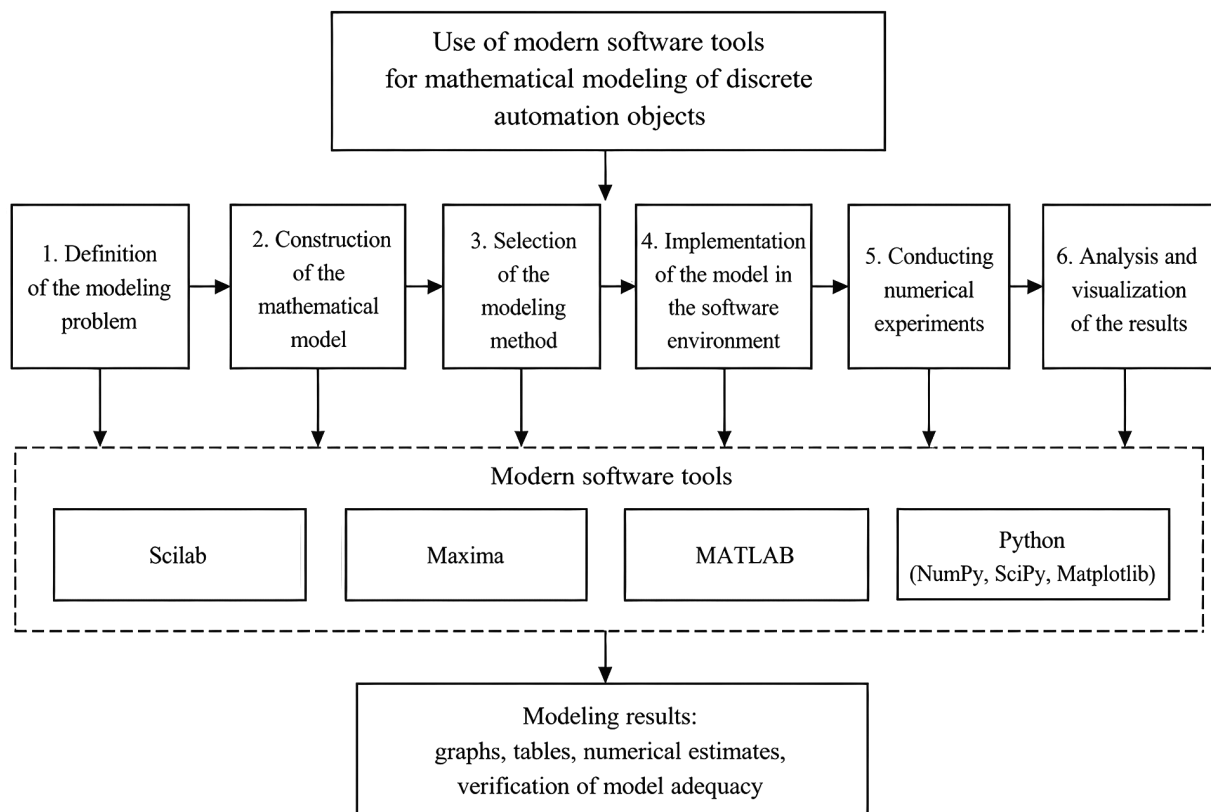


Fig. 3. Diagram Illustrating the Use of Software Tools for Mathematical Modeling of Discrete Automation Objects

Table 2

Comparison of Mathematical Modeling Software Tools

Software Tool	Open Source	Numerical Methods	Symbolic Computation	Main Area of Application
Scilab	yes	yes	partially	automation, control systems
Maxima	yes	limited	yes	symbolic modeling
MATLAB	no	yes	yes	scientific research, industry
Python (NumPy, SciPy)	yes	yes	partially	scientific computing, artificial intelligence

automation object, and the more effectively it can be used in the design of automatic control systems.

Table 2 presents a comparison of mathematical modeling software tools.

This comparison shows that each software tool has its own advantages and areas of application. For educational and scientific research, it is advisable to use the open-source software packages Scilab, Maxima, and Python, while MATLAB remains one of the most powerful tools for industrial tasks and complex mathematical modeling.

Conclusions. An analysis of methods for mathematical modeling of discrete automation objects was conducted, and their role in the study and design of automatic control systems was determined. The paper

examines the specifics of using mathematical models based on differential equations, state spaces, the Laplace transform, and numerical integration methods. A comparative analysis of modeling methods and the software tools used to implement them was performed, and their advantages, limitations, and areas of practical application were identified. It is shown that the most effective approach is the comprehensive use of analytical and numerical methods in combination with modern software packages for mathematical modeling. This approach ensures greater accuracy of mathematical models, reduces the time required to construct them, and lays the foundation for the development of automation systems, robotic systems, and cyber-physical systems.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ: Усі автори зробили внесок порівну.

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Boutalis Y., Theodoridis D., Kottas T., Christodoulou M.A. System Identification and Adaptive Control: Theory and Applications of the Neurofuzzy and Fuzzy Cognitive Network Models. ChamHeidelberg-New York-Dordrecht-London: Springer, 2014. 315 p.
2. Heij C., Ran A., van Schagen F. Introduction to Mathematical Systems Theory Linear Systems, Identification and Control. BaselBoston-Berlin: Birkhäuser Verlag, 2007. 174 p.
3. Ljung L. System Identification. Theory for the User. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1999. 628 p.
4. Graupe D. Identification of Systems. Malabar: Krieger Pub Co, 1976. 276 p.
5. System Identification, Environmental Modelling, and Control System Design / L. Wang, H. Garnier (Eds.). London-Dordrecht-Heidelberg-New York: Springer, 2012. 673 p.
6. Eykhoff P. System identification: Parameter and State Estimation. London: John Wiley & Sons, 1974. 555 p.
7. Speedy C.B., Brown R.F., Goodwin G.C. Control Theory: Identification and Optimal Control. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1970. 293 p.

Bahriantseva Inna*Master's Degree in Accounting**Mykolaiv National Agrarian University*

ORCID: 0009-0003-8898-4402

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12071

REHABILITATION STRATEGIES FOR POST-SERVICE EYELASH DAMAGE: THE IMPACT OF INTEGRATED RESTORATION SYSTEMS

Summary. The article is devoted to the study of rehabilitation strategies for post-service eyelash damage and to determine the impact of integrated restoration systems on the condition of eyelashes, eyelid margin and ocular surface. The purpose of the study is to scientifically substantiate approaches to the correction of damage that occurs after cosmetic procedures with eyelashes and to determine the effectiveness of complex restoration protocols in normalizing the functional and aesthetic state of the ciliary apparatus. In the course of the scientific study, general scientific methods of cognition were used, in particular analysis, synthesis, generalization, systematization, comparison and classification. The results of the study show that post-service eyelash damage is multifactorial and may include allergic-inflammatory reactions, chemical irritation of the ocular surface, mechanical injury to the eyelashes themselves, impaired tear film stability, damage to the conjunctiva and corneal epithelium, infectious complications, as well as follicular changes and disruption of the eyelash growth cycle. It has been studied that such conditions are manifested by itching, redness, swelling, burning, tearing, dryness, photophobia, eyelash loss, thinning of the ciliary row and discomfort during blinking. It has been shown that effective rehabilitation should be based on a combination of elimination, anti-inflammatory, hygienic, antibacterial, regenerative, tear-stabilizing and preventive-educational strategies. It was concluded that the elimination of the irritating factor, restoration of eyelid margin hygiene, tear film support, inflammation control and stimulation of the restoration of natural eyelashes create conditions for the gradual normalization of the condition of eyelashes and adjacent structures. The value of the LRCA Method as an integrated restoration system was investigated, which includes an audit of injuries, primary diagnostics, decompression of natural eyelashes, removal of critical load, reconstruction of the ciliary row and safe modeling taking into account the bearing capacity of the own eyelashes. It was shown that such a technique makes it possible to combine aesthetic results with biological restoration, reduce the risk of re-injury and form a protective aesthetic framework. The practical significance of the study lies in the possibility of using the proposed strategies in professional practice for the safe correction of the consequences of post-service damage to the eyelashes.

Key words: eyelashes, rehabilitation, damage, eyelids, restoration.

Introduction. Post-service damage to eyelashes is a pressing problem of modern cosmetology and ophthalmology practice, since the procedures of eyelash extension, removal, coloring and modeling can be accompanied not only by aesthetic defects, but also by functional disorders of the eyelid margin and ocular surface. Excessive mechanical stress, contact with glues, removers, dyes or fixing materials can cause loss and weakening of natural eyelashes, irritation of the conjunctiva, inflammatory reactions of the eyelids, disruption of the stability of the tear film and damage to the corneal epithelium. In this regard, the restoration of eyelashes after aggressive or unqualified service exposure requires not only decorative correction, but also a comprehensive rehabilitation approach.

Of particular importance is the development and scientific understanding of integrated recovery systems that combine diagnostics of the degree of damage, elimination of the traumatic factor, support of the follicular apparatus, stabilization of the eyelid margin and prevention of repeated damage. This approach allows us to consider natural eyelashes as a functional element of ocular surface protection, and not only as an object of aesthetic modeling. That is why the study of rehabilitation strategies for post-service eyelash damage is important for the formation of safe practices in the field of lash service and increasing the efficiency of restoring the natural resource of eyelashes.

Literature Review. The issue of rehabilitation strategies for post-service eyelash damage and the impact of integrated recovery systems is not sufficiently

comprehensively covered in the scientific literature. Despite this, individual components of this topic are considered by scientists. In particular, the nature of post-service eyelash damage, its clinical manifestations and ophthalmological consequences were studied by the following authors: Y. Amano, Y. Sugimoto, M. Sugita [1], S. Aumond, E. Bitton [2], M. Masud, M. Moshirfar, T.J. Shah and co-authors [7]. These authors studied the anatomical and functional significance of eyelashes, the features of ocular surface damage after cosmetic procedures, as well as the spectrum of side effects associated with eyelash extensions, in particular allergic blepharitis, keratoconjunctivitis, conjunctival irritation and other pathological conditions.

As for the factors of mechanical, chemical, allergic and infectious effects after cosmetic procedures with eyelashes, this issue was studied by several authors. Among them, it is appropriate to highlight F.K. Idu, A.D. Efosa, M. Mutali Jr. [6], who analyzed the prevalence of side effects among eyelash extension users, including itching, redness, pain, and loss of natural eyelashes; M. Moshirfar, M. Masud, T.J. Shah et al. [8], who described a clinical case of chemical conjunctivitis and diffuse lamellar keratitis after improper removal of eyelash extensions; K. Ullrich, N. Saha [9], who investigated a case of bacterial keratitis associated with semi-permanent eyelash extensions. Taken together, these works indicate that post-service complications can be not only cosmetic, but also clinically significant ophthalmological in nature.

The problem of restoration of eyelashes, eyelid margin and ocular surface after service exposure was considered by Y. Eom, K.S. Na, H.S. Hwang and co-authors [3], C.N. Grupcheva, D.I. Grupchev, N. Usheva, L.O. Grupcheva [4], J. Han, Z. Xie, X. Zhu and co-authors [5], D. Wirta, D.M. Pariser, S.G. Yoelin and co-authors [10]. A separate group of sources is made up of clinical, review and expert publications that allow us to summarize the ophthalmological risks of cosmetic procedures with eyelashes. In particular, the works of M. Masud, M. Moshirfar, T.J. Shah et al. [7], as well as S. Aumond and E. Bitton [2] are important for systematizing knowledge about the structure, functions and pathological changes of eyelashes, while the studies of C.N. Grupcheva et al. [4], J. Han et al. [5], F.K. Idu et al. [6] supplement the analysis with empirical data on dry eye, changes in the ocular surface and the frequency of adverse reactions after eyelash extensions. At the same time, the scientific literature does not sufficiently address the issue of integrated rehabilitation systems that combine diagnostics of post-service damage, reduction of traumatic load, reconstruction of the natural ciliary row and prevention of re-damage.

The scientific novelty of this article lies in the generalization of post-service eyelash damage as a complex condition that encompasses aesthetic, dermatological and ophthalmological manifestations, as well as in substantiating the feasibility of using integrated

restoration systems, in particular the LRCA Method, as an applied model for the rehabilitation of natural eyelashes. To achieve the set goal, the methods of analysis, synthesis, systematization, comparison, generalization of scientific sources and a structural-functional approach were used.

Problem Statement. The purpose of the article is to scientifically substantiate rehabilitation strategies for the correction of post-service eyelash damage and to determine the significance of integrated restoration systems in the normalization of the condition of eyelashes, eyelid margins and ocular surface. To achieve the goal, the following tasks will be performed during the study: to characterize the essence and clinical forms of post-service eyelash damage; to systematize the main factors of mechanical, chemical, allergic and infectious effects after cosmetic procedures; to generalize rehabilitation strategies for the restoration of eyelashes and adjacent structures; to analyze the potential of integrated proprietary techniques, in particular the LRCA Method, in preventing re-damage and maintaining the natural resource of eyelashes;

Methods and Materials. The materials of the study were scientific works devoted to ophthalmological complications after eyelash extensions, anatomical and functional features of the ciliary follicle, the effect of cosmetic procedures on the ocular surface, tear film stability disorders, eyelid margin hygiene, infectious and chemical lesions, as well as methods of eyelash restoration in hypotrichosis. The research used methods of analysis and synthesis to process scientific sources, systematization to group types of post-service damage and rehabilitation strategies, comparison to compare different mechanisms of damage and approaches to restoration, generalization to form conclusions regarding the effectiveness of comprehensive rehabilitation approaches, as well as a structural-functional approach that made it possible to consider eyelashes, eyelid margin and ocular surface as interconnected elements of a single protective system.

Results and Discussions. Post-service eyelash damage is a complex and comprehensive concept. In general, it can be defined as a complex of structural and functional changes that occur after cosmetic manipulations with eyelashes and the adjacent eyelid margin. Such damage is not limited to loss or fragility of eyelashes. It can include inflammatory reactions of the eyelids, irritation of the conjunctiva, disruption of tear film stability, damage to the corneal epithelium and changes in the condition of the eyelashes themselves. As noted by Y. Amano, Y. Sugimoto and M. Sugita, after eyelash extensions, patients may experience keratoconjunctivitis, allergic blepharitis, conjunctival erosion, reactions to fixing tapes and subconjunctival hemorrhage [1].

Within the framework of this study, post-service eyelash damage can be defined as a set of pathological changes in the eyelashes, eyelid margin and ocular

surface that are formed after extension procedures, removal, staining or other cosmetic effects on the eyelashes due to mechanical, chemical, allergic or infectious factors. This definition is important because it allows us to analyze the problem not only as an aesthetic defect, but as a condition that requires gradual recovery. The main types of such injuries are summarized in Table 1.

As can be seen from Table 1, post-service eyelash damage has various clinical forms. Some of them manifest themselves mainly aesthetically, in particular, thinning or weakening of the eyelashes. Other forms have ophthalmological significance, as they are associated with damage to the ocular surface, eyelid inflammation, tear film instability or infectious risk. All

these disorders require correction, but the approach to recovery cannot be the same for all cases. For this purpose, various techniques are used, in particular, eliminating the irritating factor, restoring eyelid margin hygiene, stabilizing the tear film, anti-inflammatory support and methods of stimulating the growth of natural eyelashes.

Strategies for resolving post-service eyelash damage should be formed not according to one universal algorithm, but according to the type of damage. This is important because eyelash loss, allergic blepharitis, chemical corneal irritation, and tear film disorders have different natures. Accordingly, they require different restorative actions. As shown by Y. Amano,

Table 1

Types of post-service injuries to eyelashes and related structures

Type of injury	Clinical meaning	Typical manifestations
Allergic-inflammatory injury after the use of adhesives or fixing materials [1; 4; 7]	Occurs as a reaction to components of adhesives, fixing tapes, or other materials that come into contact with the eyelids and the root zone of the eyelashes. In the study by Y. Amano, Y. Sugimoto, and M. Sugita, allergic blepharitis was specifically associated with the action of eyelash extension adhesives [1].	Itching, redness of the eyelid margin, swelling, irritation, burning sensation, discomfort during blinking.
Chemical injury to the ocular surface after exposure to adhesive or remover [1; 8; 7]	Develops when adhesive, solvent, or eyelash removal gel comes into contact with the conjunctiva or cornea. M. Moshirfar, M. Masud, T.J. Shah, and co-authors described a case of chemical conjunctivitis and diffuse lamellar keratitis after improper use of a product for removing eyelash extensions [8].	Sharp burning, lacrimation, photophobia, blurred vision, redness, corneal epithelial defects.
Mechanical injury to natural eyelashes [6]	Associated with the excessive weight of artificial eyelashes, frequent removal, tension, or traumatic detachment of the material. F.K. Idu, A.D. Efosa, and M. Mutali Jr. identify pulling out of lashes, that is, the pulling out or loss of natural eyelashes, among the common side effects after the use of eyelash extensions [6].	Loss of eyelashes, weakening of the root zone, uneven growth, thinning of eyelashes, changes in the growth direction of individual eyelashes.
Disruption of tear film stability and dry eye [5]	Occurs due to the effect of artificial eyelashes on blinking, tear evaporation, eyelid margin hygiene, and meibomian gland function. As shown in the study by J. Han, Z. Xie, X. Zhu, and co-authors, a decrease in tear break-up time was observed after eyelash extension, indicating impaired tear film stability [5].	Dryness sensation, foreign body sensation, unstable vision, irritation, redness, discomfort at the end of the day.
Damage to the conjunctiva and corneal epithelium [9]	May result from contact of adhesive, remover, fixing materials, or rigid elements of eyelash extensions with the ocular surface. In the study by K. Ullrich and N. Saha, bacterial keratitis was described in which the bonding agent of an eyelash extension was in contact with the cornea in the ulcer area [9].	Conjunctival erosion, corneal staining, superficial punctate keratitis, pain, photophobia, risk of infectious complication.
Infectious complication after wearing eyelash extensions [9]	Develops under conditions of insufficient eyelid margin hygiene, accumulation of debris near the eyelash roots, mechanical irritation, or microdamage to the ocular surface. K. Ullrich and N. Saha described a case of bacterial keratitis associated with semipermanent eyelash extensions [9].	Pain, marked redness, purulent or mucous discharge, photophobia, deterioration of vision, localized corneal infiltrate.
Follicular injury and disruption of the eyelash growth cycle [2]	Includes changes in the condition of the hair follicle, in particular disruption of the natural growth cycle, weakening of the eyelashes, or their loss. S. Aumond and E. Bitton emphasize that eyelashes are part of the functional system of the eyelid margin, and therefore their integrity is important for ocular surface stability [2].	Hypotrichosis, madarosis, milphosis, reduced density, length, or thickness of eyelashes, slow recovery after removal of artificial materials.

Source: compiled by the author based on sources [1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10]

Y. Sugimoto, and M. Sugita, most disorders after eyelash extensions were eliminated after adequate local treatment in the form of drops or ointments [1]. However, in more complex cases, in particular after chemical damage, recovery may be long and require a combination of several methods, as demonstrated in the clinical case of M. Moshirfar, M. Masud, T. J. Shah et al. [8]. The general logic of recovery includes several sequential stages. First, it is necessary to eliminate the factor that caused the damage. This may be glue, remover, excessive weight of artificial eyelashes, dye, or residues of cosmetic materials at the roots of the eyelashes. Next, the condition of the eyelids, natural eyelashes, conjunctiva, cornea, and tear film is assessed. After that, the recovery technique is selected. In mild cases, hygiene of the eyelid margin, temporary refusal of re-extension and maintenance of the tear film are sufficient. In more complex cases, anti-inflammatory, antibacterial or regenerative agents are required. If the main problem is thinning of the eyelashes, the strategy shifts towards supporting the follicle and stimulating growth.

The main strategies for solving problems that arise after service procedures with eyelashes are presented in Table 2.

A special place among rehabilitation approaches is occupied by author's comprehensive methods that combine diagnostics, restoration and prevention of repeated damage. Such systems include Inna Bahriantseva's author's methodology LRCA Method, which is focused on the rehabilitation of natural eyelashes after aggressive, excessive or unqualified external influence. Its essence lies not only in the aesthetic correction of eyelashes, but in the restoration of their natural resource. This approach is conceptually consistent with the data of S. Aumond and E. Bitton, who consider eyelashes as a functional element of ocular surface protection, and not only as an aesthetic structure [8].

Within the LRCA Method, restoration occurs through several interconnected levels:

- damage audit and primary diagnosis. At this stage, the condition of natural eyelashes after previous procedures is assessed. The degree of mechanical overload, the presence of adhesions, breaks, thinning,

Table 2

Strategies for solving post-service injuries to the eyelashes and adjacent structures

Strategy	Implementation content	Expected result
Elimination strategy aimed at removing the irritating factor [4]	Involves stopping contact with the material that caused the injury. This may include removing eyelash extensions, avoiding repeated adhesive application, or discontinuing the use of a remover or dye [4].	Reduction of toxic, allergic, or mechanical effects. Conditions are created for the natural recovery of the eyelashes, eyelid margins, and ocular surface.
Anti-inflammatory strategy for blepharitis, irritation, and allergic reactions [1]	Used in cases of redness, itching, swelling, irritation of the eyelid margin, or allergic blepharitis.	Reduction of the inflammatory response, itching, swelling, and redness. Comfort in the eyelid area is restored, and the risk of the process becoming chronic is reduced.
Strategy for restoring eyelid margin hygiene [3]	Involves cleansing the eyelid margin of cosmetic residues, adhesive, meibomian gland secretions, and debris near the eyelash roots.	The bacterial load is reduced, the condition of the eyelid margin improves, and the risk of recurrent irritation and infectious complications decreases.
Strategy for tear film stabilization and dry eye correction [5; 8]	Used when dryness, foreign body sensation, visual instability, or reduced tear break-up time occurs after the procedure.	Improved tear film stability, with reduced dryness, irritation, and superficial corneal staining.
Antibacterial strategy when an infectious complication is suspected [9]	Used in cases of pain, photophobia, discharge, ulceration, or corneal infiltrate.	Prevention of infection progression, preservation of corneal transparency, and reduced risk of visual impairment.
Regenerative strategy for corneal epithelial injury [8]	Appropriate in cases of corneal staining, superficial punctate keratopathy, or epithelial defects.	Gradual epithelial healing, with reduced photophobia, pain, and superficial irritation. In complex cases, the outcome may take a long time to develop.
Strategy for restoring natural eyelashes and supporting the follicle [2; 6; 10]	Used in cases of eyelash loss, milphosis, madarosis, or hypotrichosis.	Gradual improvement in the density, length, and quality of natural eyelashes. Recovery should be monitored, as stimulating agents may cause local adverse reactions.
Preventive and educational strategy for avoiding recurrent injury [6]	Involves informing the client about the risks of repeated eyelash extension, the danger of low-quality adhesives, excessive length or weight of artificial eyelashes, and the importance of eyelid hygiene.	Reduction in the frequency of recurrent injuries. Safer behavior after the procedure is formed, and responsibility increases regarding the choice of materials, technique, and service frequency.

Source: compiled by the author based on sources [2; 4; 5; 6; 8; 9; 10]

signs of cuticle weakening and potential follicular depletion are determined. In fact, the procedure does not begin with modeling a new image, but with an analysis of defects from the previous intervention;

- reconstruction protocol and removal of critical load. The basis of the technique is decompression of natural eyelashes. This means reducing or completely eliminating excess weight that injures the own ciliary row. Then, restorative schemes are applied that allow eyelashes to gradually restore density, growth direction and structural integrity. Such logic corresponds to the clinical observations of C. N. Grupcheva, D. I. Grupchev, N. Usheva and L. O. Grupcheva, where an improvement in the condition of the ocular surface was recorded after removal of eyelash extensions [6];
- safe modeling as a prevention of repeated damage. At the final stage, parameters for further work with eyelashes are selected. This concerns the length, curvature, diameter, weight and density of the artificial material. The choice is not made according to the principle of fashionable form, but taking into account the bearing capacity of the natural eyelash. This approach reduces the risk of traction damage, excessive tension and repeated eyelash loss;
- forming a protective aesthetic framework. In practical terms, the technique is aimed at ensuring that the aesthetic result does not contradict biological restoration. Artificial material, if used, should not destroy the natural row, but create safe conditions for it. This is where the difference between the rehabilitation model and the standard decorative procedure is manifested.

Thus, the LRCA Method can be considered as an example of an integrated author's system in which work with eyelashes moves from a regular service to a controlled recovery process. Its practical value lies in the combination of expert diagnostics, reduction of

traumatic load, reconstruction of the natural ciliary row and prevention of repeated damage. It is these techniques that can be used as an example of the applied implementation of rehabilitation strategies in the field of post-service eyelash restoration.

Conclusions. The study found that post-service eyelash damage should be considered not only as an aesthetic defect, but as a complex of structural and functional changes involving natural eyelashes, eyelid margin, conjunctiva, corneal epithelium and tear film. The main clinical forms of such damage are mechanical loss or weakening of eyelashes, allergic-inflammatory reactions, chemical irritation of the ocular surface, tear film instability, follicular depletion and infectious complications.

Systematization of factors of post-service damage showed that the leading role is played by mechanical overload of natural eyelashes, contact with glues, removers, dyes and fixing materials, insufficient hygiene of the eyelid margin, as well as repeated or unqualified performance of cosmetic procedures. Accordingly, rehabilitation strategies should be approached in a differentiated manner: from eliminating the irritating factor, restoring eyelid hygiene and stabilizing the tear film to anti-inflammatory, antibacterial, regenerative support and stimulating the growth of natural eyelashes.

Integrated restoration systems, in particular the LRCA Method, have an applied value as a comprehensive approach to the rehabilitation of natural eyelashes after aggressive or unqualified service exposure. Their effectiveness lies in the combination of primary diagnostics, reducing traumatic load, reconstruction of the ciliary row, safe modeling and prevention of re-injury, which allows us to consider eyelash restoration as a guided rehabilitation process, and not just as a decorative procedure.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. Amano, Y., Sugimoto, Y., & Sugita, M. (2012). Ocular disorders due to eyelash extensions. *Cornea*, 31(2), 121–125. <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e31821ee10>
2. Aumond, S., & Bitton, E. (2018). The eyelash follicle features and anomalies: A review. *Journal of Optometry*, 11(4), 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2018.05.003>
3. Eom, Y., Na, K. S., Hwang, H. S., Cho, K. J., Chung, T. Y., Jun, R. M., Ko, B. Y., Chun, Y. S., Kim, H. S., & Song, J. S. (2020). Clinical efficacy of eyelid hygiene in blepharitis and meibomian gland dysfunction after cataract surgery: A randomized controlled pilot trial. *Scientific Reports*, 10(1), Article 11796. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67888-5>
4. Grupcheva, C. N., Grupchev, D. I., Usheva, N., & Grupcheva, L. O. (2024). Beauty versus health — How eyelash extensions may affect dry eye disease? *Journal of Clinical Medicine*, 13(11), Article 3101. <https://doi.org/10.3390/jcm13113101>

5. Han, J., Xie, Z., Zhu, X., Ruan, W., Lin, M., Xu, Z., Miao, L., Zhong, J., Lu, F., & Hu, L. (2024). The effects of eyelash extensions on the ocular surface. *Contact Lens and Anterior Eye*, 47(2), Article 102109. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2023.102109>
6. Idu, F.K., Efosa, A.D., & Mutali, M., Jr. (2024). Ocular side effects of eyelash extension use among female students of the University of Benin, Benin City, Edo State, Nigeria. *Cureus*, 16(1), Article e53047. <https://doi.org/10.7759/cureus.53047>
7. Masud, M., Moshirfar, M., Shah, T.J., Gomez, A.T., Avila, M.R., & Ronquillo, Y.C. (2019). Eyelid cosmetic enhancements and their associated ocular adverse effects. *Medical Hypothesis, Discovery & Innovation in Ophthalmology*, 8(2), 96–103.
8. Moshirfar, M., Masud, M., Shah, T.J., Avila, M.R., & Hoopes, P.C., Sr. (2018). Chemical conjunctivitis and diffuse lamellar keratitis after removal of eyelash extensions. *American Journal of Ophthalmology Case Reports*, 12, 21–23. <https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2018.07.007>
9. Ullrich, K., & Saha, N. (2013). Semipermanent eyelash extensions causing bacterial keratitis: A case report. *Canadian Journal of Ophthalmology*, 48(3), e50-e51. <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2012.12.010>
10. Wirta, D., Pariser, D.M., Yoelin, S.G., Arase, S., McMichael, A., Weng, E., Mao, C., Demos, G., & Vandenberg, A. (2015). Bimatoprost 0.03% for the treatment of eyelash hypotrichosis: A pooled safety analysis of six randomized, double-masked clinical trials. *Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 8(7), 17–29. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4509582/>

Khytsiuk Mykyta*Global commercial director**Carolina Logistics INC**(United States, Boiling springs, SC)*

DOI: 10.25313/2520-2057-2026-4-12096

IMPACT OF GLOBAL ECONOMIC AND POLITICAL FACTORS ON LOGISTICS AND TRANSPORTATION

Summary. The article presents an extensive investigation of the influence of contemporary global economic-political factors on the field of logistics and freight transportation. The purpose of the study is to systematize the main challenges – trade wars, pandemic restrictions, international sanctions, and inflationary processes – and to assess their combined impact on the resilience and efficiency of supply chains. The methodological basis of the research comprises a systems analysis of relevant scientific publications for 2021–2025, statistical data, and specialized industry analytical reports. As a result, a multi-level conceptual model of adaptive management of logistics processes is proposed, integrating mechanisms of risk monitoring, scenario planning, and strategic diversification. The obtained data indicate that the proactive implementation of adaptive strategies not only minimizes damage from global shocks but also generates significant competitive advantages. The conclusion emphasizes the need to shift from a reactive to a predictive approach in managing logistics risks. The materials of the article are of interest to researchers in the field of logistics and supply chain management, as well as to executives of transport companies and strategic planning specialists.

Key words: logistics, supply chains, global economic factors, political risks, supply chain resilience, risk management, COVID-19 pandemic, trade wars, transport corridors, adaptive management

Introduction. The modern global economy is characterized by interdependence among regions and escalating instability generated by a combination of large-scale economic and political factors. The logistics sector and freight transportation, acting as the pulse of global commodity circulation, are the first to face external shocks and serve as a channel for their further transmission. In recent years, traditional supply-chain arrangements have demonstrated their vulnerability: the COVID-19 pandemic, which began in 2020 g., caused widespread terminal disruptions, border closures, rolling-stock shortages, and a rapid rise in freight rates that reached record levels by the end of 2021 g. Although by 2023 g. container-shipping tariffs had returned to more familiar levels, new geopolitical risks and escalating tensions once again triggered higher logistics costs and necessitated the restructuring of transport routes [1].

According to the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), after unprecedented growth in the volume of world merchandise trade in 2021 g., a slowdown was observed in 2022 g., and in 2023 g. the overall volume declined by approximately 5%, which inevitably affected the load on transport networks. Forecast estimates for 2025 g. remain

rather restrained, pointing to persistent uncertainty associated with deepening geopolitical fragmentation and the strengthening of protectionist measures by the world's leading economies [2].

The necessity of this research is driven by changes in the logistics operating environment: the era of relative equilibrium has been replaced by a state of constant crisis that requires companies to shift from reactive responses to the development of long-term strategies for enhancing resilience. The scientific literature lacks models capable of comprehensively assessing the aggregate impact of heterogeneous economic and political risks and offering integrated management mechanisms aimed at strengthening supply-chain resilience. Existing studies generally limit themselves to analyzing the consequences of individual events, such as pandemics or trade conflicts, and do not provide universal tools for adaptation to continuously changing conditions.

The purpose of this study is to systematize the main challenges — trade wars, pandemic restrictions, international sanctions, and inflationary processes — and to assess their combined impact on the stability and efficiency of supply chains.

The author's hypothesis is based on the assumption that integrating real-time monitoring mechanisms, scenario planning, and strategic diversification at the operational, tactical, and strategic levels can reduce the adverse effects of global shocks on logistics systems.

The scientific novelty of the research lies in the systematization of the economic and political determinants of the current macro-environment and, on this basis, in the formulation of a multi-level conceptual model for adaptive logistics management under conditions of high uncertainty.

Materials and Methods. Contemporary studies conducted in the field of logistics and transportation rely on macro- and meso-level statistical indicators that make it possible to track market dynamics and assess the influence of external shocks. For example, the World Container Index provides regular data on container freight rates, reflecting fluctuations in supply and demand within the global network of maritime lines [1], while the UNCTAD Review of Maritime Transport 2023 analyses long-term trends in ports, fleets and cargo throughput, combining descriptive statistics with expert forecasts [2]. The WTO Global Trade Outlook and Statistics complements these data with a survey of trade flows and policy barriers in international trade [9], whereas the US Energy Information Administration's Short-Term Energy Outlook links fuel-price fluctuations with carrier costs and resource availability [10].

Among the studies devoted to politico-economic impacts, Salsabila I. N. et al. [5] perform an econometric analysis of the consequences of new US tariff measures on supply chains, paying attention to technological and logistical shifts caused by protectionism. The Interos blog Impact of government sanctions on Russia's supply chain examines the case of sanctions against Russia through the prism of qualitative supply-chain analysis, demonstrating how restrictions create new routes and strengthen regional diversification of suppliers [6].

The body of work on epidemic and pandemic risks focuses on systematising the experience of COVID-19 and developing response models. Chowdhury P. et al. [4] carry out a systematic review of studies devoted to supply disruptions and their consequences, structuring publications into six themes: risk management, chain transparency, return to normality, and so forth. Queiroz M. M. et al. [8] build a road map of research on epidemic disruptions through a structured literature review, highlighting gaps in empirical data and forecasting models. Ivanov D. [3] proposes a conceptual model of a viable supply chain that integrates the perspectives of agility, resilience and sustainability, supported by illustrative examples from the COVID-19 crisis.

In the fields of antifragile design and supply-chain performance assessment, authors employ mathematical modelling and empirical methods. Lotfi R. et al.

[7] develop mixed-integer network-optimisation models that consider requirements for antifragility, risk resilience and environmental impact. Salam M. A., Bajaba S. [12] investigate the mediating role of resilience and absorptive capacity in the marketing–supply-chain-management–firm-performance nexus using a moderation–mediation analysis of an empirical sample. Alora A., Barua M. K. [11] conduct an event study showing how supply-chain disruptions affect the stock value of small and medium-sized enterprises and identify temporal lags for local versus global shocks.

Thus, the literature presents a broad spectrum of approaches — from descriptive statistics and indicator analysis to econometric modelling and computer-based optimisation design, as well as systematic reviews. However, several contradictions can be identified:

1. Level of data aggregation: macro-level sources (UNCTAD, WCI, WTO, EIA) rarely connect their findings with micro- and meso-level models of resilience and antifragility.

2. Many theoretical models require validation on real data and cases, whereas empirical studies are limited by samples and do not derive from a unified conceptual framework.

3. Geographical selectivity: the focus on COVID-19 is not sufficiently related to subsequent geopolitical shocks and energy crises (EIA).

In addition, comprehensive scenarios in which trade wars, sanctions and energy shocks act simultaneously are insufficiently covered in the research — in particular, the mutual influence of political restrictions and fuel-price fluctuations on optimal routes and strategic reserves. Furthermore, there is a lack of studies devoted to digital transformation and IoT technologies for overcoming politico-economic barriers, as well as to the impact of blockchain systems on the transparency and security of global supply chains.

Results and Discussion. A comprehensive analysis of global economic and political trends reveals multi-level direct and mediated influences on transport-logistics systems. The classification of these determinants into two interrelated categories — economic and political — makes it possible to demonstrate how their interaction generates synergistic effects that exert a deeper impact on logistics processes than the isolated manifestation of each individual factor. Table 1 presents the aggregate of factors and their direct impact on the operational aspects of logistics.

Traditional linear supply chain models focused on cost minimisation and the maintenance of low inventories within the Just-in-Time concept have proved ineffective under the new conditions. A transition to more complex, networked and adaptive structures is required, which is clearly illustrated by the diagram in Figure 1.

This transformation encompasses not only the expansion of diversification, but also the formation of a dynamic management system. Within the framework

Table 1

Impact of key global factors on logistics

Factor category	Factor	Description	Primary impact on logistics	Example
Economic	Pandemic shocks	Sudden disruption of production and logistics chains due to quarantines, staff illness, port closures.	Reduced throughput, container shortage, freight-rate increases, delivery delays.	Closure of Shanghai port in 2022, which caused collapse on many trade routes.
Economic	Inflation and fuel price volatility	Increase in consumer prices and cost of energy resources caused by monetary policy and supply-demand imbalance.	Growth of operating costs (fuel, storage, labor), reduced profitability of transportation.	Record rise in diesel prices in 2022, which increased the cost of road transport by 20–30%.
Economic	Trade wars and protectionism	Introduction of import tariffs and non-tariff barriers restricting free movement of goods.	Change in cargo-flow geography, complication of customs procedures, cost growth, need for certification.	US–China trade conflict that shifted part of production to Vietnam and Mexico.
Political	International sanctions	Economic restrictions imposed on countries, companies, or individuals that forbid certain types of transactions and transport.	Blocking of traditional routes, necessity to find bypass routes, increased risk of secondary sanctions, complication of insurance.	Sanctions against the Russian Federation in 2022 that led major ocean carriers (Maersk, MSC) to cease operations with Russian ports.
Political	Regional conflicts and instability	Military actions or high piracy-threat levels in regions critical for shipping.	Longer transit times and higher delivery cost due to the need to use longer routes, rise of insurance premiums.	Attacks on vessels in the Red Sea (2023–2024) that forced carriers to reroute ships around Africa via the Cape of Good Hope

Source: compiled by the author based on [1; 3; 5; 6; 10]

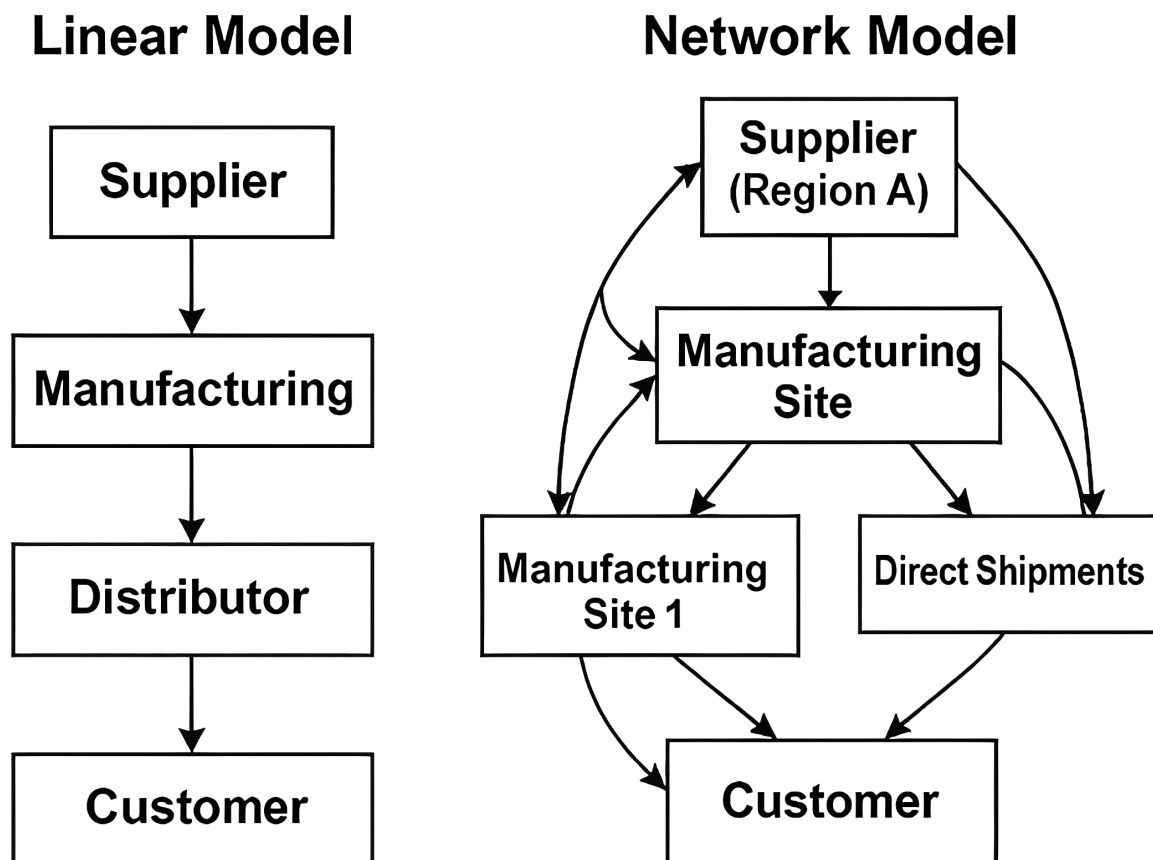


Fig. 1. Transformation of supply chain models

Source: compiled by the author based on [4; 8; 9]

of the study, a conceptual model of adaptive logistics management (Figure 2) is presented, constructed on three levels of response and ensuring the evolution from a reactive to a proactive approach in risk management.

First Level: Continuous data collection and predictive analytics. The foundation of the model is permanent monitoring and prompt processing of information from heterogeneous sources in real time. This encompasses traditional logistics metrics (fleet geolocation, terminal loading level), macroeconomic indicators (inflation dynamics, trade-balance condition) and data from unstructured streams — textual analysis of news feeds and expert reports employing artificial-intelligence methods. The integration of

Internet-of-Things (IoT) solutions and predictive analytics enables the capture of early warning signals: for example, semantic analysis of political publications can identify the risk of sanctions being introduced in advance, while meteorological data can forecast the suspension of port hubs [11].

Second Level: Qualitative assessment and scenario modelling. The accumulated data are used to construct a probability–impact matrix and to conduct stress tests of key chain links. Through digital twins and simulation platforms, organisations model critical events, for example: what are the financial and operational losses if a partner’s main port is blocked for three weeks? or how will the cost of transportation change with a 40-percent rise in fuel prices? This approach

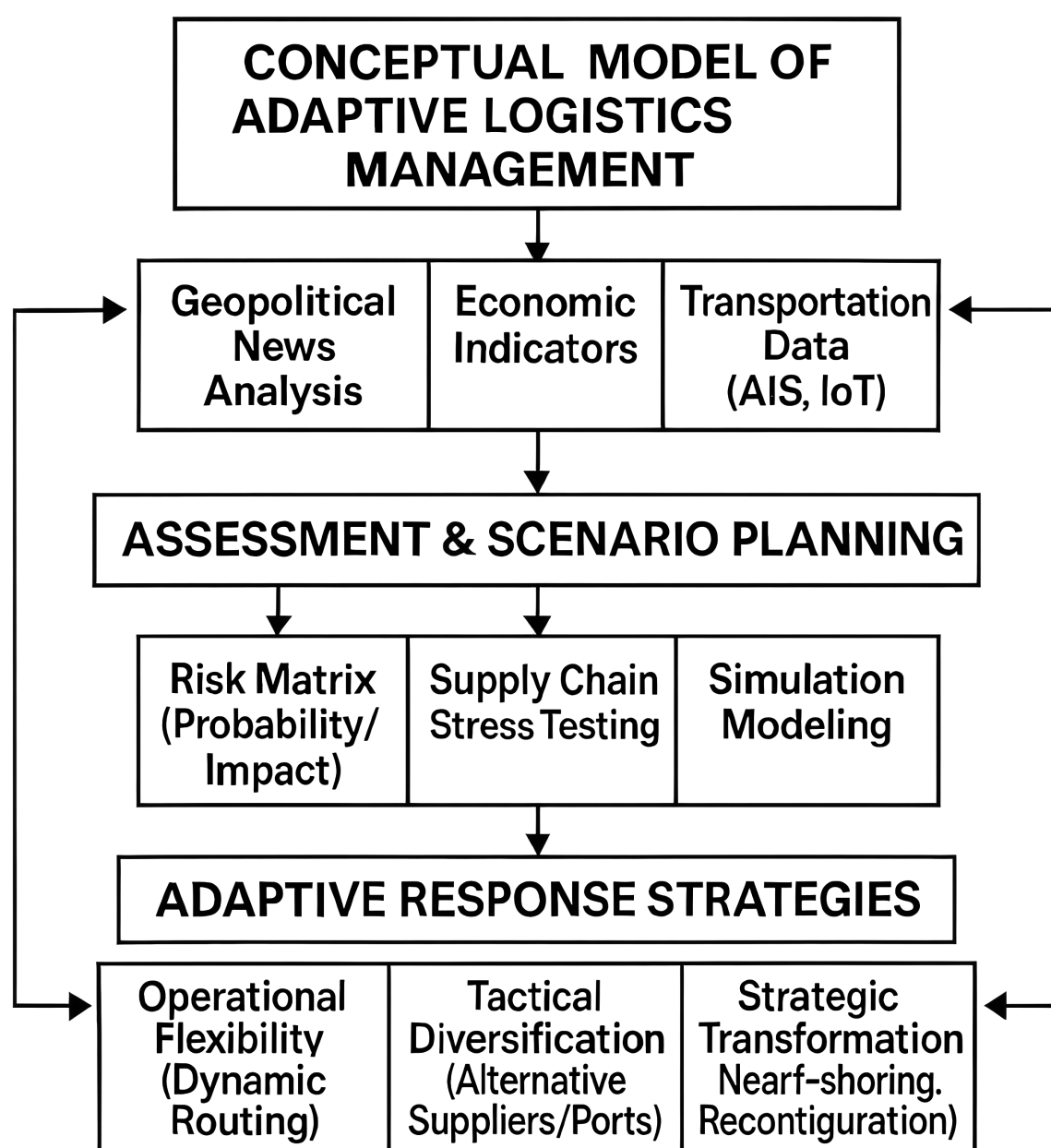


Fig. 2. Conceptual model of adaptive logistics management
 Source: compiled by the author based on [3; 7; 8]

highlights the most vulnerable sections and allows the development of response schemes in advance [7].

Third Level: Multilevel adaptive measures. On the basis of scenario analysis, a set of response strategies in three categories is formed:

- Operational mobility: rapid reassignment of routes, change of transport mode or adjustment of delivery schedules to smooth short-term disruptions (for example, dynamic redirection of containers to less congested ports).
- Tactical diversification: maintenance of a pool of pre-qualified alternative suppliers, carriers and storage facilities ready for activation during medium-duration disruptions, reducing the risk of dependence on a single counterparty or channel.
- Strategic restructuring: justified redistribution of supply-chain elements in the long term — relocation of part of production capacity closer to sales markets (near-shoring), increase in the share of regional partners and investment in creating a distributed warehouse network. Such decisions are taken in response to fundamental shifts in the global landscape [4; 12].

The implementation of the proposed model requires investment in technological platforms and the development of professional competencies, yet it transforms risk management from a cost item into a source of strategic advantage. Companies capable of adapting more rapidly to changing conditions not only minimise losses but also obtain the opportunity to occupy newly available market niches. The analysis conducted demonstrates that the influence of global factors is composite and non-linear, and without the synergy of strategic vision, advanced technologies and operational flexibility, modern logistics management becomes ineffective.

The proposed model lays the foundation for creating integrated systems that transition from reactive responses to proactive forecasting and crisis prevention.

Conclusion. The study provided an in-depth systematization and comprehensive analysis of the impact of key global economic and political factors — ranging from pandemic shocks and inflationary trends to trade conflicts and geopolitical tensions — on the functioning of the logistics and transportation sectors. It was found that the current context of supply-chain operations is characterized by constant fluctuations and a high level of uncertainty, which renders classical models focused solely on cost minimization inefficient and vulnerable.

The study confirmed the hypothesis that it is necessary to shift the emphasis from reactive approaches to proactive and adaptive management methods in order to ensure the resilience of logistics systems. As a solution, a multi-level conceptual model of adaptive management was developed, combining 24/7 risk monitoring and forecasting, digital scenario planning, and a three-tier strategic response system — operational, tactical, and strategic levels.

The proposed model enables companies not only to reduce the damage from inevitable global shocks but also to seize new opportunities, forming competitive advantages through increased flexibility and reliability. The practical significance of the results lies in providing managers of logistics and manufacturing organizations with a conceptual foundation for revising and strengthening supply-chain management strategies. In the future, it is advisable to conduct an empirical validation of the developed model using specific industries and to create quantitative metrics for assessing its level of adaptability and resilience.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References

1. World Container Index. Drewry. Available at: <https://www.drewry.co.uk/supply-chain-advisors/supply-chain-expertise/world-container-index-assessed-by-drewry> (accessed: 28.06.2024).
2. UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. Available at: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023> (accessed: 28.06.2024).
3. Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability perspectives — Lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1411–1431.
4. Chowdhury, P., et al. (2021). COVID-19 pandemic related supply chain studies: A systematic review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148, 102271. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271>
5. Salsabila, I. N., et al. (2025). Revisiting protectionism in the global economy: Economic, supply chain, and technological implications of the 2025 US tariff policies. *Cristal International Journal of Interdisciplinary Research*, 1(1), 34–45.
6. Impact of government sanctions on Russia's supply chain. Interos AI. Available at: <https://www.interos.ai/blog/blog-impact-of-government-sanctions-on-russias-supply-chain/> (accessed: 15.05.2025).

7. Lotfi, R., et al. (2023). Antifragile, sustainable, and agile supply chain network design by considering resiliency, robustness, risk, and environmental requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(48), 106442–106459.
8. Queiroz, M. M., et al. (2022). Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: Mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1159–1196.
9. World Trade Organization (WTO). (2025). *Global Trade Outlook and Statistics*. Available at: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/trade_outlook25_e.htm (accessed: 20.06.2025).
10. U.S. Energy Information Administration (EIA). *Short-Term Energy Outlook*. Available at: <https://www.eia.gov/outlooks/steo/> (accessed: 15.06.2025).
11. Alora, A., & Barua, M. K. (2021). The effect of supply chain disruptions on shareholder wealth in small and mid-cap companies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(2), 212–223.
12. Salam, M. A., & Bajaba, S. (2023). The role of supply chain resilience and absorptive capacity in the relationship between marketing–supply chain management alignment and firm performance: A moderated-mediation analysis. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 38(7), 1545–1561. <https://doi.org/10.1108/JBIM-02-2022-0105>

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА» INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «INTERNAUKA»

Збірник наукових статей

№ 4 (183)

Голова редакційної колегії — д.е.н., професор *Камінська Т.Г.*

Київ 2026

Видано в авторській редакції

Засновник / Видавець ТОВ «Фінансова Рада України»
Адреса: Україна, м. Київ, вул. Павлівська, 22, оф. 12
Контактний телефон: +38 (067) 401-8435
E-mail: editor@inter-nauka.com
www.inter-nauka.com

Підписано до друку 30.04.2026. Формат 60×84/8
Папір офсетний. Гарнітура NewCenturySchoolbook.
Умовно-друкованих аркушів 11,16. Тираж 100.
Замовлення № 404. Ціна договірна.
Надруковано з готового оригінал-макету.

Надруковано у видавництві
«SBA Print»
тел.: +38067-393-33-34
e-mail: 3933334@ukr.net

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 5409 від 02.08.2017 року.