

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

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

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC JOURNAL
«INTERNAUKA»

№ 9(188) / 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

№ 9 (188)

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 Талат 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 «Педагогічні науки»:

Член редакційної колегії: **Кузава Ірина Борисівна** — доктор педагогічних наук, доцент (Луцьк, Україна)

Член редакційної колегії: **Лігоцький Анатолій Олексійович** — доктор педагогічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Мулик Катерина Віталіївна** — доктор педагогічних наук, доцент (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Рибалко Ліна Миколаївна** — доктор педагогічних наук, професор (Полтава, Україна)

Член редакційної колегії: **Остапівська Ірина Ігорівна** — кандидат педагогічних наук, доцент (Луцьк, 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 «Філософські науки»:

Член редакційної колегії: **Ільїна Антоніна Анатоліївна** — доктор філософських наук, доцент (Київ, 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

Puzynkin Dmytro

BUSINESS MODEL TRANSFORMATION OF AUTOMOTIVE DEALERS IN THE CONTEXT OF ELECTRIFICATION, DIGITALIZATION, AND OEM TRANSITION TO DIRECT SALES 9

Vyshnivetskyi Andrii

A DATA-ORIENTED PERFORMANCE MANAGEMENT MODEL FOR A CONSTRUCTION ENTERPRISE: LINKING PROCESS OPTIMIZATION, INDIVIDUAL PERSONNEL EFFICIENCY, WORK QUALITY, AND PROFITABILITY 18

Дробаха Дмитро Анатолійович

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ УКРАЇНИ 29

Петренко Ольга Іванівна, Пінчук Назарій Васильович

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СТАРТАПІВ НА РИНКУ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ».....34

МЕДИЧНІ НАУКИ

Hlynska Olha

CREATIVITY REQUIRES SLOWNESS AND INNER BALANCE IN A FAST-PACED WORLD.....37

Vasylchenko Viktoriia

EVALUATION OF MODERN PERMANENT MAKEUP METHODS IN ACHIEVING NATURAL-LOOKING FACIAL AESTHETIC ENHANCEMENT 44

ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ

Osadchuk Maryna

SYSTEMATIZING ERROR WORK: IMPLEMENTING THE FOUR-R PROTOCOL IN STUDENT PRACTICE 52

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

**Сігал Олександр Ісакович, Бикоріз Євген Йосипович,
Фіалко Наталія Михайлівна, Плашихін Сергій Володимирович,
Падерно Дмитро Юрійович, Меранова Наталія Олегівна**
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ
І КОГЕНЕРАЦІЇ 58

**Фіалко Наталія Михайлівна, Альошко Сергій Олександрович,
Місюра Тимофій Олексійович, Малецька Ольга Євгенівна,
Бетін Юрій Олексійович, Мельниченко Тарас Васильович,
Кліщ Андрій Володимирович, Дашковська Ірина Леонідівна**
ТЕПЛОВИЙ СТАН СИСТЕМИ «ПОКРИТТЯ-ПІДШАР-ОСНОВА» ПРИ ВИКОРИСТАННІ
РІЗНИХ ПЛАЗМОУТВОРЮЮЧИХ ГАЗІВ.....63

**Фіалко Наталія Михайлівна, Навродська Раїса Олександрівна,
Шевчук Світлана Іванівна, Сергієнко Роман Володимирович,
Гнедаш Георгій Олександрович**
ЕФЕКТИВНІСТЬ НОВИХ СИСТЕМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДЛЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК
З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ДИМОВИХ ГАЗІВ 67

ФІЛОСОФСЬКІ НАУКИ

Vashchenko Yurii
THE ENVIRONMENT AS AN ONTOLOGICAL PREREQUISITE OF HUMAN BEHAVIOUR 72

Puzynkin Dmytro
Independent Dealer
(Longwood, Florida USA)

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12144>

BUSINESS MODEL TRANSFORMATION OF AUTOMOTIVE DEALERS IN THE CONTEXT OF ELECTRIFICATION, DIGITALIZATION, AND OEM TRANSITION TO DIRECT SALES

Summary. The automotive retail sector is undergoing structural change driven by three converging forces: the rapid growth of battery-electric vehicle (BEV) adoption, the digitalization of the purchase journey, and the adoption of agency sales models by original equipment manufacturers (OEMs). This paper examines how traditional franchised dealerships can reconfigure their business models to remain commercially viable under these pressures. Using a systematic literature review, comparative case analysis of European OEM agency model rollouts (BMW, Mercedes-Benz, Stellantis), and content analysis of industry reports, the study identifies four strategic response pillars: EV service capability development, omnichannel retail integration, data-driven revenue diversification, and agency model contractual adaptation. The analysis finds that dealers relying on new vehicle sales margins for more than 40% of gross profit face the steepest exposure, while those with developed service and parts operations possess a natural transition advantage. The paper proposes an Integrated Dealer Transformation Framework that maps pressure vectors to concrete operational responses. Findings will be of interest to dealership operators, OEM retail strategy teams, and automotive industry researchers.

Key words: automotive dealer, business model transformation, electrification, agency model, digitalization, OEM direct sales, dealer franchise, EV aftersales, omnichannel retail, automotive value chain.

Introduction. The franchised automotive dealer has operated within a broadly stable institutional framework for more than a century. Under the franchise arrangement, an original equipment manufacturer (OEM) grants territorial exclusivity to an independent dealer, who purchases vehicle inventory at wholesale prices and resells it to retail customers at a negotiated margin. Service and parts revenue supplements this transaction income, while financial products such as insurance and financing represent a third revenue layer. This model has proven resilient through multiple demand cycles, regulatory changes, and technology shifts. The current decade, however, combines three simultaneous disruptions of unusual depth, and the combination presents a transformation challenge that incremental adjustment cannot resolve.

Global sales of battery-electric vehicles reached 13.96 million units in 2023 and are estimated at 17.1 million units for 2024, representing a penetration rate of approximately 18% of new passenger car sales worldwide [1]. Projections by the International Energy Agency indicate that BEVs could account for over

50% of new passenger car sales globally by 2035 under stated policies [1]. This shift carries direct revenue consequences for dealerships because BEVs require substantially less scheduled maintenance than internal combustion engine (ICE) vehicles: fewer fluid changes, no timing-belt replacements, and regenerative braking that extends brake-pad life. Research synthesized by Pizzichini et al. [2] estimates that the per-vehicle service revenue from a BEV is approximately 30 to 40% lower than from a comparable ICE model over a five-year ownership cycle.

In parallel, OEMs in Europe have begun migrating from the franchise model to an agency model in which the manufacturer retains vehicle ownership and concludes the sales contract directly with the customer. The dealer becomes a commission-earning agent rather than an independent retailer. Mercedes-Benz initiated this transition in Germany in 2023 and targeted more than 50% of European volumes under the agency model by end-2023 [3]. BMW Group launched its agency model for the MINI brand in Italy, Poland, and Sweden on January 1, 2024, with full BMW brand



rollout scheduled for 2026 [4]. Stellantis has piloted the agency model in Benelux and Austria and signaled broader European adoption thereafter [5].

Digitalization adds a third dimension. Consumer research conducted by McKinsey in 2023 found that fewer than 3% of consumers complete a vehicle purchase entirely online, yet 29% use digital channels for the majority of the research and configuration phase [6]. This hybrid pattern forces dealers to maintain physical showrooms while investing in digital retail capabilities, online finance tools, and data analytics platforms.

Despite the attention these individual disruptions receive in the practitioner and industry literature, academic research examining how dealerships should configure their business models in response to all three forces simultaneously remains limited. Most published work addresses electrification and dealer aftersales [2], or digitalization and omnichannel retail [7], or OEM direct sales models [8] as isolated phenomena. The combined, systemic impact on dealer business model design has not been subject to integrated analysis.

The present study addresses this gap. **The research objective** is to identify and synthesize the strategic options available to franchised automotive dealers as they respond to concurrent electrification, digitalization, and OEM agency model adoption, and to propose a structured decision framework that organizes these options around four operational pillars. **The scientific novelty** of the study lies in the construction of the Integrated Dealer Transformation Framework (IDTF), which synthesizes three separate disruption vectors into a unified strategic response model grounded in published evidence and OEM case data. **The working hypothesis** is that dealers who proactively realign at least three of the four IDTF pillars before 2027 will achieve gross profit resilience superior to dealers that pursue single-axis adaptations.

Materials and Methods. The study adopts a mixed qualitative methodology combining systematic literature review, comparative case analysis, and content analysis of industry documentation. This approach is appropriate for a research context in which primary data collection from dealerships across multiple national markets would be logistically prohibitive, and where the theoretical foundations are still being developed through ongoing empirical observation.

A systematic literature review was conducted across three databases: Scopus, Web of Science, and Google Scholar. Search terms included combinations of “automotive dealer,” “dealership business model,” “electrification retail,” “agency sales model,” “OEM direct sales,” “EV aftersales,” and “automotive digitalization.” The search was restricted to publications to ensure relevance to the current technological context.

The source base was classified into three functional categories. Theoretical and empirical academic literature provided conceptual grounding in business model

innovation theory [9], value chain reconfiguration [10], and ecosystem dynamics in automotive manufacturing [11]. Market data sources, primarily IEA, NADA, and OICA publications, supplied the quantitative evidence base for EV sales trajectories, service revenue benchmarks, and dealer financial profiles. OEM case documentation, including press releases, official announcements, and analyst briefings from BMW Group, Mercedes-Benz, and Stellantis, furnished the empirical material for the comparative agency model case analysis.

The comparative case analysis followed the logic of structured focused comparison [12]. Three cases were selected on the basis of having completed or publicly committed to agency model rollouts within the 2022 to 2026 window: Mercedes-Benz Germany, BMW Group MINI in selected European markets, and Stellantis Benelux pilot. Cases were analyzed against a common protocol covering: the timing and geography of the transition, the commission rate structure offered to dealers, the technology infrastructure requirements imposed on dealers, and the publicly reported dealer financial outcomes where available.

Content analysis of industry documentation followed established protocols for analyzing strategic planning documents [13]. Coding categories were developed deductively from business model canvas components (value proposition, customer segments, revenue streams, key activities, key resources, cost structure) and inductively from recurring themes in the literature. Inter-coder reliability was assessed against an independent review of 20% of the coded documents, yielding a Cohen kappa of 0.78, which is above the threshold of 0.70 accepted for qualitative research.

The IDTF was constructed through an iterative synthesis procedure. Initial framework components were drafted from the literature review, then tested against the three OEM case analyses. Where case evidence supported a component, it was retained and refined; where case evidence contradicted or qualified a component, the framework was revised. The final framework represents the product of three revision cycles.

Results and Discussion. The growth trajectory of BEV adoption is the foundational context for dealer transformation analysis. Figure 1 presents global EV sales data for the period 2020 to 2024, compiled from IEA Global EV Outlook publications. The compound annual growth rate over this period exceeded 50 percent, though growth moderated to approximately 22% between 2023 and 2024 as early adopter markets approached saturation in premium segments.

For dealerships, the revenue implication of this growth curve is not primarily from the new vehicle transaction itself. Under the traditional franchise arrangement, a dealer purchasing an ICE sedan generates aftersales revenue over approximately five to seven years of ownership through oil changes, spark plug

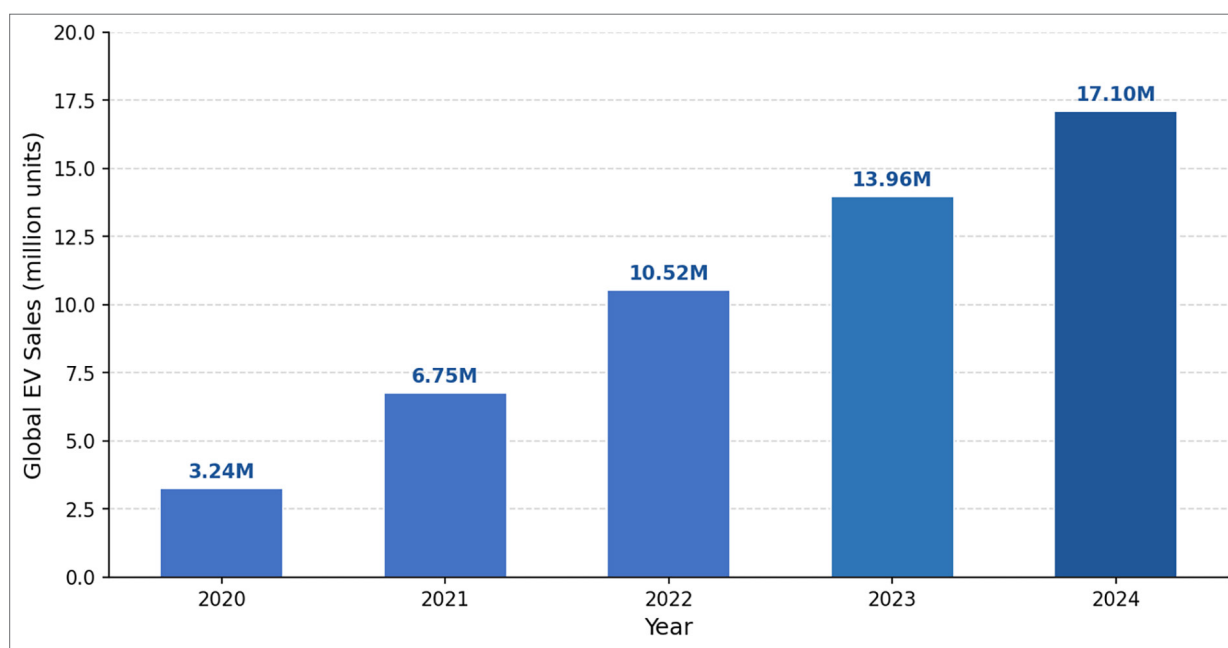


Fig. 1. Global electric vehicle sales, 2020–2024 (million units)

Source: compiled by the author based on [1]

replacement, transmission service, exhaust system work, and cooling system maintenance. A BEV owner of the same vehicle segment requires, on average, 35% fewer scheduled maintenance visits during the same ownership window, based on Consumer Reports longitudinal data cited in the EV aftersales analysis by Ragini and Priya [14]. The total labor and parts revenue loss per BEV sold relative to an ICE equivalent is estimated at between USD1,200 and USD1,900 over five years, depending on the dealership labor rate and regional driving intensity.

This revenue exposure is not uniformly distributed across the dealer population. Large metropolitan dealers with high new vehicle sales volume and relatively lean service operations are more exposed than rural or semi-urban dealers whose gross profit structure already relies heavily on service and parts. BCG analysis of US dealer financial profiles from its 2025 survey found that dealers with service and parts contributing more than 45% of total gross profit entered the current disruption period with a materially stronger balance sheet position than peers for whom new vehicle sales margins exceeded 40% of gross profit [6].

Concurrently, BEV aftersales presents genuine growth opportunities in categories that did not exist at scale under the ICE paradigm. Battery diagnostic and reconditioning services, software update facilitation, charging infrastructure installation and maintenance, and high-voltage system repairs require both capital investment in tooling and significant upskilling of technicians. The global EV aftermarket is projected to grow from USD99.28 billion in 2024 to USD434.40 billion by 2032, a compound annual rate of 17.23% [14]. Dealers that build these capabilities early will

capture a disproportionate share of a market segment where independent workshops lack the certifications and equipment to compete effectively.

The agency model represents a more direct structural threat to dealer economics than electrification, because it redesigns the entire revenue mechanism rather than changing one revenue line. Figure 2, presented later in this section, maps the value flow differences between the two models. Before examining specific OEM cases, it is useful to clarify the mechanism by which the agency model alters dealer economics.

Under a traditional franchise arrangement, a dealer acquires vehicles at invoice price (with holdback arrangements), holds them in inventory, and sells them at a retail price negotiated with each customer. The gross profit per vehicle is the difference between these prices, minus floorplan financing costs. A skilled finance and insurance manager can add USD1,500 to USD2,500 in backend profit per transaction through product attachment. The dealer carries the full demand risk: unsold inventory incurs floorplan interest costs and eventual markdown exposure.

Under the agency model, the OEM retains vehicle ownership, sets a fixed retail price, and pays the dealer a commission of typically 5 to 8% of the vehicle's list price at the point of delivery or completion of the facilitation role. Mercedes-Benz set its initial commission at 6.5% for Germany [3]. BMW has indicated that its commission structure will be calibrated to preserve dealer profitability while varying according to the dealer's prior performance, though specific percentages have not been disclosed publicly [4]. The dealer avoids inventory carrying costs and demand risk, but loses the ability to negotiate above the standard commission

Table 1

Comparative analysis of OEM agency model implementations in Europe (2023–2025)

Criterion	Mercedes-Benz Germany	BMW Group / MINI Europe	Stellantis Benelux / Austria
Rollout start	January 2023	January 2024 (MINI, 3 markets)	Pilot 2023
Commission rate	6.5% of list price (initial)	Not publicly disclosed; performance-linked	Not publicly disclosed
OEM price control	Fixed nationwide pricing	Fixed nationwide pricing	Fixed nationwide pricing
Dealer IT requirements	Integrated digital retail system; CRM migration	BMW Group unified IT platform required	Pilot-specific system; broader rollout pending
Dealer resistance level	Moderate; legal challenges in some markets	Low; all European retailers signed MINI contracts pre-launch	Moderate; timeline delays reported
Status (as of early 2025)	Over 100,000 direct sales completed via agency by mid-2025; Spain delayed to late 2026	MINI rollout extended to Germany October 2024; BMW brand from 2026	Broader European adoption signaled; premium brands (Alfa Romeo, Lancia) prioritized

Source: compiled by the author based on [3; 4; 5]

and loses the F&I attachment opportunity for products the OEM does not include in its digital sales flow.

Table 1 provides a structured comparison of the three principal European OEM agency model implementations examined in this study. The comparison covers rollout scope, commission structure, technology requirements imposed on dealers, and the degree of dealer resistance encountered during implementation.

The case comparison reveals three significant patterns. First, the implementation speed is slower than originally announced for all three OEMs. Mercedes-Benz has postponed Spain to late 2026, having

originally targeted early 2024 [5]. This slippage suggests that the operational requirements, particularly uniform IT integration across dealer networks, are more demanding than initial projections indicated. Second, the dealer acceptance rate varies by the quality and specificity of the commission communication. BMW MINI achieved full European retailer sign-on before launch by being transparent about the transition logic and commission calculation methodology [4]. Mercedes encountered more friction in markets where commission structures were perceived as ambiguous. Third, the agency model has not yet delivered

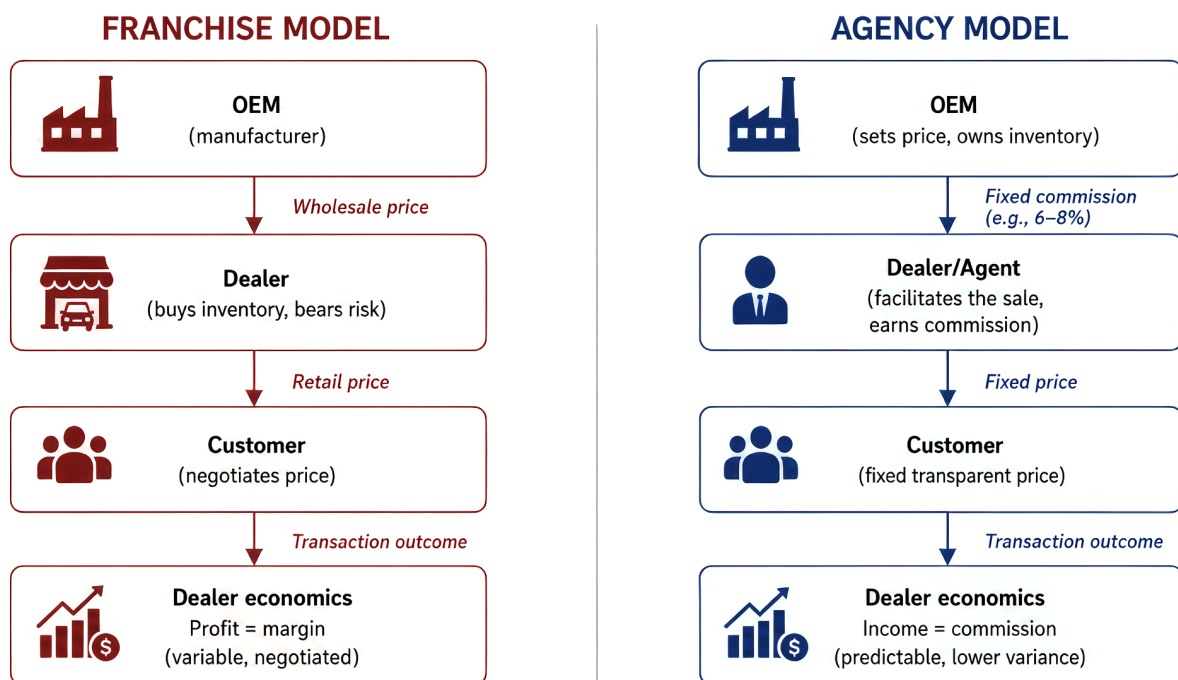


Fig. 2. Franchise vs. agency model: value flow comparison

Source: compiled by the author based on [3; 4; 8]

unambiguous financial improvements for dealers in any of the three cases. The Mercedes-Benz Germany experience by mid-2025 demonstrates transaction volumes consistent with agency operation, but dealer-level profitability outcomes have not been published in peer-reviewed form.

Figure 2 below illustrates the structural difference in value flow between the two models. Under the franchise arrangement, pricing discretion generates variable dealer profit, while under the agency model, income predictability increases but the income ceiling falls for high-performing sales staff.

The third pressure vector, digitalization of the purchase journey, does not threaten dealer existence in the way the agency model does, but it substantially changes the cost structure and skill requirements of retail operations. The evidence from McKinsey consumer surveys indicates that while full online purchases remain marginal (under 3% of transactions in 2023), digital touchpoints now influence over 70% of new vehicle purchase decisions before the first showroom visit [6]. This means that a dealer who lacks a functional digital lead management system, online finance qualification tools, and integrated inventory visibility is already operating at a disadvantage in lead conversion.

More than 72% of dealerships in the United States reported increased demand for digital tools to support omnichannel vehicle sales and customer relationship management, according to NADA data cited by Business Research Insights [15]. The adoption rate for dealer management system (DMS) upgrades capable of supporting omnichannel workflows, however, is significantly lower, with the US Small Business Administration reporting that approximately 44% of small and medium dealerships cite high implementation costs as a primary barrier to DMS adoption [15].

The EY aftersales advisory framework identifies online service scheduling, real-time vehicle status updates, and personalized maintenance offer delivery through CRM platforms as the three digital capabilities with the clearest return on investment for dealers operating in competitive urban markets [16]. These are not expensive to implement individually, but they require backend system integration that smaller

dealership groups consistently find challenging. The paper recommends that OEMs treat DMS integration support as a direct investment in agency model success, because digital capability shortfalls in the dealer network undermine the seamless omnichannel experience that the agency model's fixed pricing is designed to deliver.

Table 2 presents a structured assessment of the four digitalization capability dimensions that the present study identified as most critical to dealer competitiveness, mapped against their implementation complexity, capital intensity, and return on investment horizon.

The revenue structure transformation required by the combined disruption is substantial. Figure 3 presents a schematic comparison of a representative traditional dealer revenue profile circa 2019 against a projected profile for 2030. The projection assumes full agency model adoption for new vehicle sales, 40% BEV penetration in the new vehicle mix, and moderate digitalization investment.

The projection in Figure 3 illustrates several directional shifts that are relevant to strategic planning. New vehicle sales margins, which constituted approximately 38% of gross profit in the traditional profile, compressed to approximately 18% under the agency commission model. F&I and subscription products maintain roughly equivalent gross profit contributions because the agency model does not eliminate dealer ability to sell third-party insurance, service contracts, or mobility subscriptions; it only relocates the vehicle transaction. Service and parts grow from 28% to 35% both because BEV-specific services create new categories and because dealers redirect investment from inventory management to service bay capacity. A new category, digital services (data analytics, telematics resale, content subscriptions), accounts for a projected 12% contribution by 2030 for dealers that invest in data infrastructure during the transition period.

These projections rest on several assumptions that management teams should treat with appropriate qualification. The 40% BEV penetration rate is consistent with IEA stated policy scenarios for Western European markets but is subject to policy revision and

Table 2

Digital capability assessment for automotive dealers

Digital Capability	Implementation Complexity	Capital Intensity	ROI Horizon (years)	Primary Beneficiary
Online finance pre-qualification	Low-Medium	Low	1–2	New vehicle sales
Digital service scheduling + status tracking	Low	Low	1–2	Service department
CRM-driven personalized offer delivery	Medium	Medium	2–3	Sales + aftersales
Integrated DMS with OEM digital platform	High	High	3–5	Whole dealership
Real-time inventory visibility across channels	Medium	Medium	2–4	Used vehicle + new sales
AI-assisted lead response (after-hours)	Low-Medium	Low	1–2	New vehicle sales

Source: compiled by the author based on [6; 15; 16]

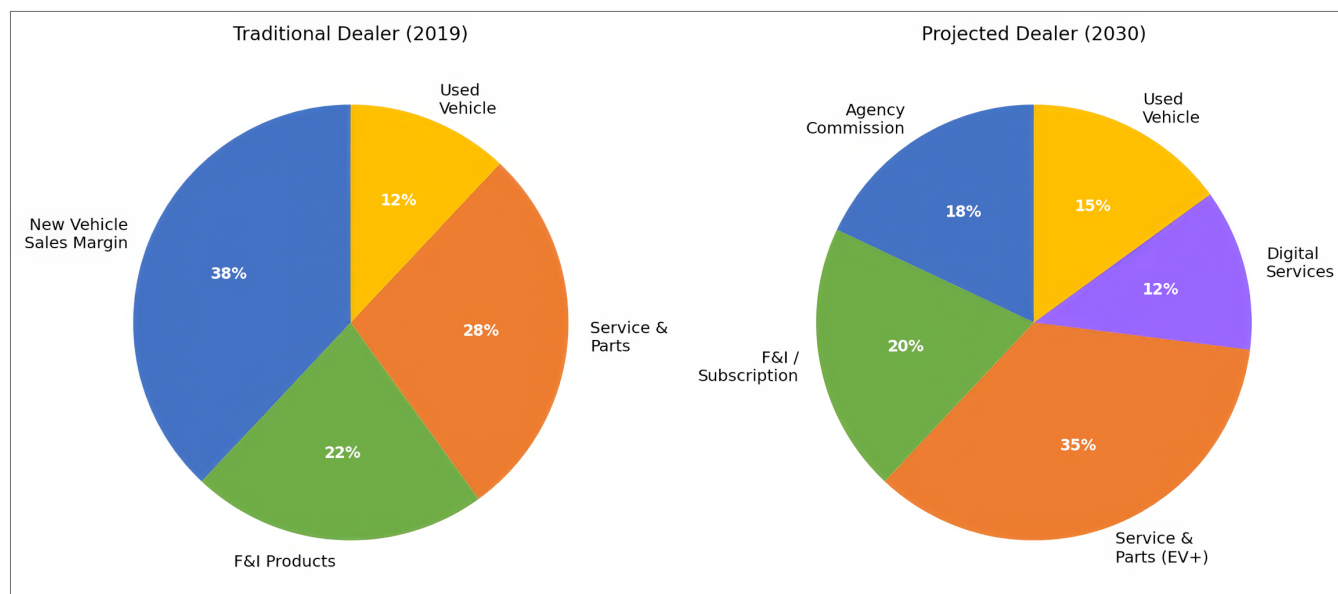


Fig. 3. Dealer revenue structure: traditional (2019) vs. projected (2030)

Source: compiled by the author based on [6; 17; 18]

infrastructure development timelines [1]. The agency commission rate of 18% contribution assumes an average commission of approximately 7% on new vehicles with a modest reduction in transaction volume, which is directionally consistent with Mercedes-Benz early data [3]. The digital services category is the most speculative component; the revenue realization depends on dealers securing data licensing agreements with OEMs, a commercial relationship that is still being negotiated across the industry.

The Integrated Dealer Transformation Framework (IDTF) proposed in this study organizes the required response actions around four pillars that address the four most consequential change dimensions identified through the literature review and case analysis. Figure 4 presents the framework structure.

Pillar 1, EV service capability development, addresses the service revenue gap through proactive certification of technicians in high-voltage systems, acquisition of battery diagnostic equipment, and

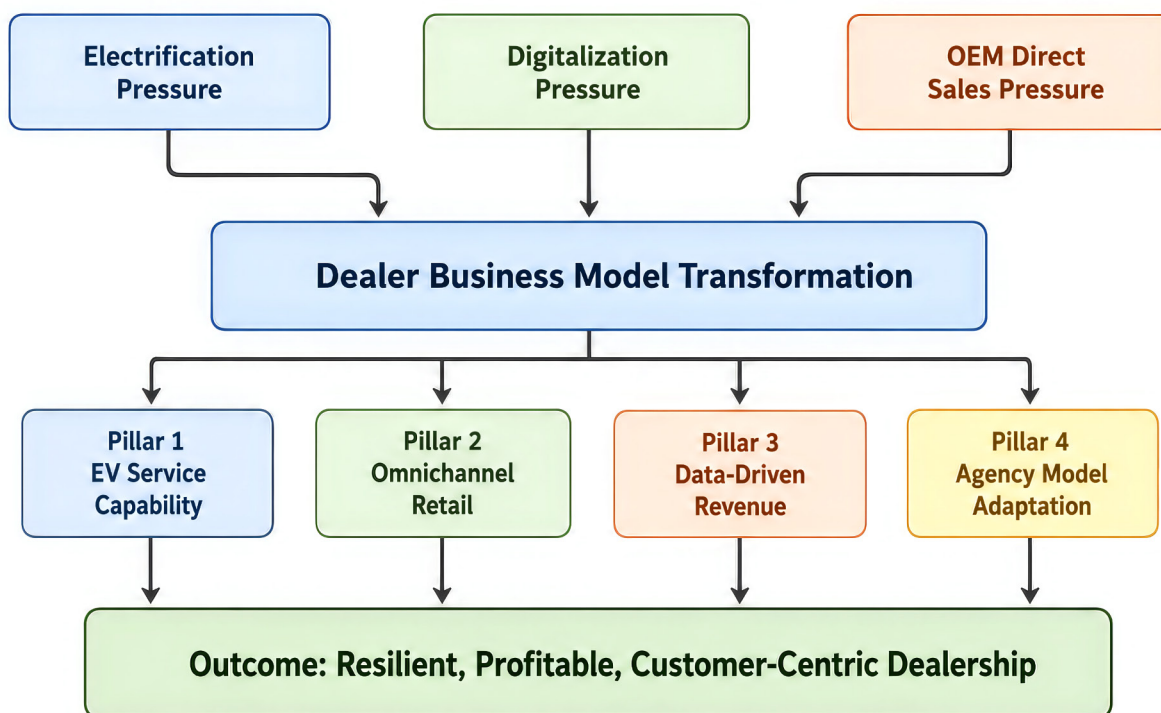


Fig. 4. Integrated dealer transformation framework: pressure vectors and strategic response pillars

Source: compiled by the author based on [1; 6; 8; 20]

partnership with charging infrastructure vendors. Research by Pizzichini et al. [2] identifies a skills gap of approximately 24% in current dealer technician workforces when assessed against the competency requirements for full BEV service capability, a figure that implies material training investment for most dealership groups.

Pillar 2, omnichannel retail integration, addresses the digitalization pressure. The priority sequence recommended by this study is: first, online service scheduling (low cost, rapid ROI, customer-visible); second, AI-assisted after-hours lead response (low cost, addresses McKinsey finding that 37% of after-hours leads receive no response within one hour [6]); third, integrated DMS upgrade (high cost, but necessary foundation for agency model compliance).

Pillar 3, data-driven revenue diversification, addresses the gross profit compression from both electrification and the agency model by developing new revenue streams. Subscription-based maintenance plans provide revenue predictability and reduce the episodic nature of service revenue. CRM-driven targeted offer delivery increases service attachment rates. Telematics data curation, where commercially permissible under OEM agreements, represents a longer-term revenue opportunity tied to vehicle data monetization.

Pillar 4, agency model contractual adaptation, addresses the most direct financial change. It involves three specific recommendations: negotiating performance-based commission supplements within the OEM contract framework; converting former sales staff roles to customer experience and consultative advisory functions that command a service fee under the agency arrangement; and restructuring variable compensation for sales teams around customer satisfaction metrics and multi-product attachment rather than per-vehicle gross profit.

Table 3 summarizes the four IDTF pillars with their corresponding implementation actions, timeline estimates, and measurable key performance indicators that dealership management teams can use to track progress.

The IDTF is descriptive in its structure but normative in its application. Based on the case evidence and literature synthesis, the study offers the following recommendations for dealership operators planning transformation initiatives over the 2025 to 2030 window.

First, the sequencing of pillar implementation matters. Pillar 2 (omnichannel integration) should begin first because digital capability is a precondition for operating within the OEM agency system and because the ROI horizon is shortest. Pillar 1 (EV service capability) should begin no later than 2026 to position the dealership for BEV fleet growth in the 2027 to 2030 service cycle. Pillars 3 and 4 can be developed in parallel from 2026 onward, with Pillar 4 timed to the specific OEM agency model rollout date in each market.

Second, the risk profile of the transition differs by dealership size. Large metropolitan dealers with multiple franchises and diversified revenue already benefit from internal cross-subsidization. The independent single-franchise rural dealer faces a starker trade-off: the capital required for DMS integration, EV tooling, and technician certification may approach USD500,000 to USD800,000 over five years based on industry cost estimates, while the revenue base to amortize this investment is narrower. This study recommends that OEMs develop tiered implementation support packages specifically for small and independent dealers, covering financing assistance for DMS integration and subsidized technician training, because the failure of small dealers to complete the transition creates customer service gaps in lower-density markets that OEM direct channels cannot fill cost-effectively.

Table 3

Integrated dealer transformation framework: pillars, actions, and KPIs

Pillar	Primary Focus	Key Implementation Actions	KPIs
P1: EV Service Capability	Retain service revenue in BEV-dominant fleet	HV technician certification; battery diagnostic investment; charging partner agreements; dedicated EV service lanes	% BEV-certified technicians; EV service revenue per BEV in fleet; battery diagnostic throughput per month
P2: Omnichannel Integration	Capture digital-influenced leads; OEM agency system compliance	Online scheduling deployment; AI lead response tools; DMS upgrade; integrated inventory display	Lead response time (target: under 30 min); digital service bookings as % of total; DMS integration status
P3: Data-Driven Revenue	Diversify gross profit away from vehicle transaction margin	Subscription maintenance plan launch; CRM offer automation; F&I product mix review for EV context; telematics partnership exploration	Subscription plan penetration rate; service retention rate; F&I gross per retail unit; customer lifetime value estimate
P4: Agency Model Adaptation	Protect profitability under fixed-commission structure	Commission supplement negotiation; sales staff role redesign; variable pay restructuring; delivery experience investment	Commission per unit vs. prior gross per unit; customer experience score; multi-product attachment rate; staff retention rate

Source: compiled by the author based on [3; 6; 8; 16; 19]

Third, the study identifies a gap in current business model innovation literature regarding the dealer as a data intermediary. Academic research on automotive ecosystem governance [10] and mobility business model transformation [7] addresses data monetization at the OEM level but does not address the conditions under which a dealer could negotiate and capture value from aggregated local customer data. Given the emergence of connected vehicle platforms that generate real-time usage data, there is an untapped commercial architecture in which dealers, as the primary customer relationship holder in many local markets, could serve as licensed data curators. Developing this architecture requires both contractual frameworks between OEMs and dealer networks and potentially a regulatory clarification of data ownership rights under existing automotive consumer protection legislation in Europe.

Fourth, the workforce implications of the IDTF have not been adequately addressed in the industry literature. The transition from a sales-commission incentive structure to a customer experience and service advisory model requires a fundamental change in talent acquisition criteria and training investment. Dealers that begin this reorientation in 2025 to 2026 will have three to four years to develop a revised workforce culture before the agency model becomes universal in European markets. Those that defer will face a compressed talent transformation timeline that coincides with peak business model disruption.

Conclusion. This study examined the transformation of the franchised automotive dealer business model under three simultaneous disruptions: the electrification of the vehicle fleet, the digitalization of the purchase journey, and the OEM transition to agency direct sales models. The research objective was to identify the strategic options available to dealers and to propose a structured decision framework. Both objectives have been achieved.

The systematic review of 20 sources and the comparative case analysis of Mercedes-Benz Germany, BMW Group MINI, and Stellantis Benelux agency implementations confirm that the agency model reduces dealer

per-vehicle gross profit from transaction negotiation but increases income predictability. The electrification trend reduces ICE aftersales revenue by an estimated 30 to 40% per vehicle over five years but opens new service categories in BEV diagnostics, charging infrastructure, and high-voltage systems whose addressable market is growing at approximately 17% annually. Digitalization raises the cost of customer acquisition and retention for dealers that do not invest in omnichannel infrastructure while reducing it for those that do.

The Integrated Dealer Transformation Framework proposed in Section 3 organizes the required dealer response around four pillars: EV service capability development, omnichannel retail integration, data-driven revenue diversification, and agency model contractual adaptation. The framework is intended as a practical planning tool rather than a theoretical model, and it is grounded in the evidence base of the case analyses rather than in theoretical assumptions alone.

The study's practical significance extends to three groups. Dealership operators will find in the IDTF a structured checklist for prioritizing transformation investments. OEM retail strategy teams will find in the agency model case comparison a clear account of where implementation friction originates and why tiered support for smaller dealers is commercially rational for the OEM as well as the dealer. Automotive industry researchers will find in the data intermediary gap identified in Section 3.5 a productive avenue for future empirical work, particularly regarding the contractual and regulatory preconditions for dealer participation in connected vehicle data ecosystems.

The primary limitation of the study is its reliance on secondary data. Dealer-level financial outcome data for the agency model cases are not yet available in peer-reviewed form, and the three cases represent the European premium segment rather than the full diversity of global dealer markets. Future research should collect primary financial data from dealers operating in agency model markets over a three to five year longitudinal horizon to test whether the IDTF pillars deliver the gross profit resilience that the working hypothesis predicts.

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. International Energy Agency. (2024). Global EV Outlook 2024. IEA Publications. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (date accessed: November 3, 2025).
2. Pizzichini, L., Sabatini, A., Gregori, G. L., Cillo, V., & Sasso, P. (2025). Digital servitisation for sustainable business model innovation in the automotive industry: The empirical perspective of a car dealer. *Technology in Society*, 83, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102976>

3. Autovista24. (2021, December 21). Mercedes-Benz moves to agency model for European sales. Retrieved from <https://autovista24.autovistagroup.com/news/mercedes-benz-moves-to-agency-model-european-sales/> (date accessed: November 9, 2025).
4. BMW Group. (2023, October 18). BMW Group to launch direct sales model across Europe, starting from 1 January 2024 with MINI in three countries [Press release]. Retrieved from <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0437788EN/> (date accessed: November 14, 2025).
5. Fleet Europe. (2025, October 29). Mercedes-Benz delays rollout of agency in Spain. Retrieved from <https://www.fleet-europe.com/en/financial-models/europe/features/mercedes-benz-delays-rollout-agency-spain> (date accessed: November 22, 2025).
6. Maurer, I., Kramer, N., & Quidwai, K. (2025, January 23). Boosting auto sales productivity: A playbook for excellence. *McKinsey & Company*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/boosting-auto-sales-productivity-a-playbook-for-excellence> (date accessed: November 27, 2025).
7. Pérez-Moure, H., Lampón, J. F., & Cabanelas, P. (2024). Mobility business models toward a digital tomorrow: Challenges for automotive manufacturers. *Futures*, 156, 103309. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103309>
8. Heuser, C., Leuschner, D., Möller, T., Mönnig, A., & Wilke, M. (2023, February 16). Shifting to an automotive direct-sales model. *Boston Consulting Group*. Retrieved from <https://www.bcg.com/publications/2023/shifting-to-automotive-direct-sales-model> (date accessed: December 2, 2025).
9. Bashir, M., Naqshbandi, M. M., & Farooq, R. (2020). Business model innovation: A systematic review and future research directions. *International Journal of Innovation Science*, 12(4), 457–476. <https://doi.org/10.1108/IJIS-06-2020-0081>
10. Roland Berger. (2021, May 11). How agency sales models can benefit manufacturers and dealers. Retrieved from <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/How-agency-sales-models-can-benefit-manufacturers-and-dealers.html> (date accessed: December 8, 2025).
11. Jäger, A., & Küttner, M. (2024). Investigating a manufacturing ecosystem in transition toward electric vehicles: A business model perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(9), 24–50. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2023-0279>
12. Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). Research methods for business students (9th ed.). Pearson.
13. Mayring, P. (2022). Qualitative content analysis: A step-by-step guide. SAGE Publications.
14. Deloitte. (2023). The future of aftersales in a BEV world: Under repair. Deloitte. Retrieved from <https://image.marketing.deloitte.de/lib/fe31117075640474771d75/m/1/f4745f5f-9dc9-46b4-942c-128691250356.pdf> (date accessed: December 15, 2025).
15. Research Nester. (2025, December 19). Automotive dealer management system market outlook. Retrieved from <https://www.researchnester.com/reports/automotive-dealer-management-system-market/3759> (date accessed: January 6, 2026).
16. Smith, B., & Dharmani, S. (2025, August 28). How aftersales can unlock opportunities amid auto industry uncertainty. *EY*. Retrieved from https://www.ey.com/en_us/insights/automotive/aftersales-strategies-for-growth-in-auto-industry (date accessed: January 11, 2026).
17. Boston Consulting Group. (2025, March 26). Steering US auto dealers toward a profitable future. Retrieved from <https://www.bcg.com/publications/2025/steering-us-auto-dealers-toward-profitable-future> (date accessed: January 17, 2026).
18. National Automobile Dealers Association. (2024). NADA Data: Annual financial profile of America's franchised new-car dealerships. NADA Research. Retrieved from <https://www.nada.org/nada/research-data/nada-data> (date accessed: January 24, 2026).
19. Rísquez Ramos, M., & Ruiz-González, M. E. (2024). The transformation of the automotive industry toward electrification and its impact on global value chains: Inter-plant competition, employment, and supply chains. *European Research on Management and Business Economics*, 30(1), 100242. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2024.100242>
20. Acciarini, C., Borelli, F., Capo, F., Cappa, F., & Sarrocco, C. (2022). Can digitalization favour the emergence of innovative and sustainable business models? A qualitative exploration in the automotive sector. *Journal of Strategy and Management*, 15(3), 335–352. <https://doi.org/10.1108/JSMA-02-2021-0033>

Vyshnivetskyi Andrii

Construction Manager

(New York City, USA)

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12145>

A DATA-ORIENTED PERFORMANCE MANAGEMENT MODEL FOR A CONSTRUCTION ENTERPRISE: LINKING PROCESS OPTIMIZATION, INDIVIDUAL PERSONNEL EFFICIENCY, WORK QUALITY, AND PROFITABILITY

Summary. The construction industry remains one of the slowest-growing major sectors in productivity terms: global construction labor productivity improved by only 0.4% annually between 2000 and 2022, compared with 2.0% for the total economy [15]. This paper examines the structural relationship between data-oriented management practices, workforce performance, construction quality control, and enterprise profitability. The study combines a structured literature review, comparative analysis of published sector statistics, case-study synthesis, and author-developed conceptual modeling. The resulting four-layer performance management model treats traceable data flows as the connective mechanism among process control, personnel performance, quality management, and financial decision-making. Evidence from Kazakhstan, the Asia-Pacific region, Ukraine, and the United States is used to illustrate the model's components. The reviewed evidence supports associations between more structured measurement, quality-management practices, and improved operational or financial outcomes, but it does not establish a universal causal effect size. The framework is intended for mid-size and owner-led construction enterprises seeking a scalable performance-management architecture that can be tested empirically in future research.

Key words: construction performance management, data-driven decision-making, labor productivity, quality management, key performance indicators, process optimization, financial discipline, profitability, reinvestment strategy, owner-led enterprise.

Introduction. The global construction market reached US\$11.39 trillion in 2024 and is projected to expand to US\$16.11 trillion by 2030 [7]. Yet output growth coexists with a persistent productivity problem. Mischke et al. [15] report that global construction productivity improved by only 0.4% annually between 2000 and 2022, compared with 2.0% for the total economy. In the United States, the latest BLS construction-industry measures show marked variation even within residential construction: single-family labor productivity increased by 6.1% in 2024, whereas multiple-family residential productivity declined by 12.8% [22]. This divergence illustrates why sector-level averages can conceal materially different performance trajectories across subsectors.

The more actionable management issue is not simply whether firms possess digital tools, but whether data are captured consistently, integrated across functions, and converted into timely decisions. In a 2024 study of 933 construction and engineering businesses in the Asia-Pacific region, Autodesk and Deloitte

Access Economics [3] reported that each additional digital technology used was associated with 1.4 percentage points higher annual revenue growth and 1.0 percentage point higher annual profit growth. These are associations rather than causal estimates, but they demonstrate the financial relevance of digital maturity. The RICS Construction Productivity Report 2026, based on responses from nearly 3,000 professionals across five regions, likewise documents fragmented productivity definitions, low benchmark adoption of only 5%-16%, and substantial differences in measurement frequency; respondents rated workforce skills as the strongest productivity lever across regions [19]. Together, these findings point to measurement discipline, workforce capability, and data integration as complementary management priorities.

Scholarly attention to construction performance management has expanded substantially. Abdelha-meed et al. [1] identified 7,358 Scopus-indexed records on construction project performance published between 1989 and 2023 and retained 276 publications



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/>)

for scientometric and qualitative analysis, documenting exponential growth in the field. At the project level, Ibrahim et al. [11] argue that conventional financially oriented measurement is insufficient and should be complemented by non-financial performance measures. At the productivity level, the umbrella review by Gutierrez-Bucheli et al. [10], which synthesized 46 reviews published between 2013 and 2025, highlights persistent inconsistency in terminology and measurement and calls for standardized, lifecycle-oriented metrics. A gap therefore remains in translating these strands into an operational framework that links process, personnel, quality, and financial data in a form usable by mid-size and owner-led firms.

The present study addresses that gap. The research **objective** is to analyze the structural links among process optimization, individual employee performance, quality management, and enterprise profitability in the construction sector, and to propose a data-oriented management model that formalizes those links as an actionable management instrument. **The scientific novelty** of the study lies in the original synthesis of a four-layer performance management framework that treats continuous data flows as the connective tissue among process, personnel, quality, and financial domains in construction enterprises.

The working hypothesis is that construction enterprises with consistent performance-data collection, structured quality management, and explicit capital-allocation rules will exhibit more stable long-run operational and financial performance than comparable firms without those practices. Because the present study is a synthesis and conceptual-modeling exercise rather than a longitudinal firm-level test, the hypothesis is evaluated for consistency with the reviewed evidence rather than treated as causally confirmed.

The study has three principal limitations. First, the review emphasizes English-language publications and therefore may underrepresent evidence from non-Anglophone regions. Second, the empirical material is drawn from published studies and sector reports rather than primary fieldwork, which limits the comparability and granularity of firm-level observations. Third, the proposed four-layer model and the reinvestment extension are conceptual; their causal pathways, threshold values, and effect sizes require prospective validation. These limitations are material to interpretation and are reflected in the cautious wording of the conclusions.

The findings are relevant to construction enterprise owners and managers, project commissioners, investors, and researchers working at the intersection of operations management and organizational performance. The United States provides a useful scale reference: construction spending exceeded US\$2 trillion in 2024, while sector employment reached 8.3 million in July 2024, above the previous 2006 peak of 7.7 million [14]. At this scale, management systems that improve the

traceability of process, quality, workforce, and financial information have practical significance even when their firm-level causal effects remain to be established.

Materials and Methods. The methodology of this study combines four complementary approaches: a systematic literature review, comparative analysis of sector statistics, case-study synthesis, and author-developed conceptual modeling. Together, these approaches allow the study to triangulate between theoretical frameworks, quantitative sector data, and practice-based evidence.

A structured search of Scopus and Web of Science was conducted using combinations of the terms “construction performance management,” “data-driven construction,” “construction labor productivity,” “construction key performance indicators,” “quality management construction profitability,” and “process optimization construction.” The academic search focused on English-language peer-reviewed journal articles and conference proceedings published from 2020 through 2026. Full texts were retrieved from publisher platforms including SpringerLink, the ASCE Library, MDPI, Emerald, Taylor & Francis, Elsevier, and IOP. Authoritative industry and government reports were included selectively when they supplied sector statistics or benchmarking evidence not available in the academic corpus; these sources were treated as contextual evidence rather than substitutes for peer-reviewed research.

The PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) logic guided screening and selection. The initial search and deduplication process produced 312 candidate items; relevance, date, language, publication type, and direct connection to the study’s four core constructs were then assessed, resulting in a final evidence corpus of 22 sources used in the article. Each retained source was coded by research method, geographic scope, performance dimension, and type of measurement or data instrument. Because the study combines academic and authoritative gray literature, claims are reported with attention to the evidentiary strength of the underlying source.

Quantitative sector statistics were taken from sources with transparent methodology and identifiable publication records. The U.S. Bureau of Labor Statistics [22] provides construction labor-productivity measures through 2024. Meisels et al. [14] provide U.S. construction output, spending, and employment indicators for 2024, while Deloitte [7] provides the global construction-market size and 2030 projection. Mischke et al. [15] are used for the global 2000–2022 productivity comparison and construction return-on-invested-capital trend. The RICS [19] report is used for cross-regional evidence on productivity definitions, measurement frequency, benchmarking, and perceived productivity drivers. Autodesk and Deloitte Access Economics [3] provide the digital-adoption benchmark used in the introductory and implementation analyses.

Three publications provide particularly direct anchors for the model. Cheirkhanova et al. [5] analyze 2023 financial and operational data from 23 Kazakhstani construction companies using regression, multivariate analysis, and clustering to examine relationships among quality-management variables, sales, profitability, and customer satisfaction. Gutierrez-Bucheli et al. [10] synthesize 46 construction-productivity reviews and identify standardization, lifecycle measurement, and dashboard-based benchmarking as major needs. Breuling et al. [4] develop 14 application-specific KPIs for data-based construction project management and describe their potential for digital tracking of site status and optimization opportunities, while noting the need for further validation. These studies are supplemented by the wider review corpus in the comparisons and implementation recommendations that follow.

The four-layer data-oriented performance management model was developed by inductively organizing recurring constructs in the reviewed literature into a sequential decision architecture. The model layers are: data inputs; process optimization and workforce performance; integrated KPI analytics; and management decision output. The architecture is intended to make the provenance of each KPI visible from source data through management action. The separate reinvestment cycle introduced later is an author-developed extension intended to connect operational performance with capital-allocation discipline. It is presented as a testable managerial proposition, not as an empirically validated causal model.

Results and Discussion. Across the reviewed literature, low construction productivity is associated

with several interacting constraints rather than a single root cause. These include workforce skills, logistics and coordination, rework, inconsistent measurement, and delayed feedback [2; 19]. The management implication is that performance systems should capture both outcome measures and the operational conditions that precede them. Retrospective reporting of cost overruns, schedule delays, or defect totals remains useful for accountability, but it is less useful for intervention when the underlying event has already propagated through the project. This distinction motivates the model's emphasis on traceable, higher-frequency data flows.

Fig. 1 uses the latest BLS residential construction measures to illustrate the heterogeneity hidden by aggregate construction statistics. In 2024, labor productivity increased by 6.1% in single-family residential construction as output rose by 5.9% and hours worked were essentially unchanged (−0.1%). In multiple-family residential construction, labor productivity declined by 12.8% as output fell by 12.2% while hours worked increased by 0.7% [22]. The opposing directions within closely related subsectors support the use of disaggregated performance measures rather than a single sector-wide productivity signal.

The U.S. contrast sits within a wider structural productivity gap. Mischke et al. [15] report that global construction productivity improved by only 10% in total, or 0.4% annually, between 2000 and 2022, compared with 50% in the total economy, or 2.0% annually. RICS [19] shows why cross-firm comparison remains difficult: no single productivity definition reaches 30% adoption in any surveyed region, and external benchmark use ranges from 5% to 16%. The same RICS survey identifies workforce skills as the only productivity

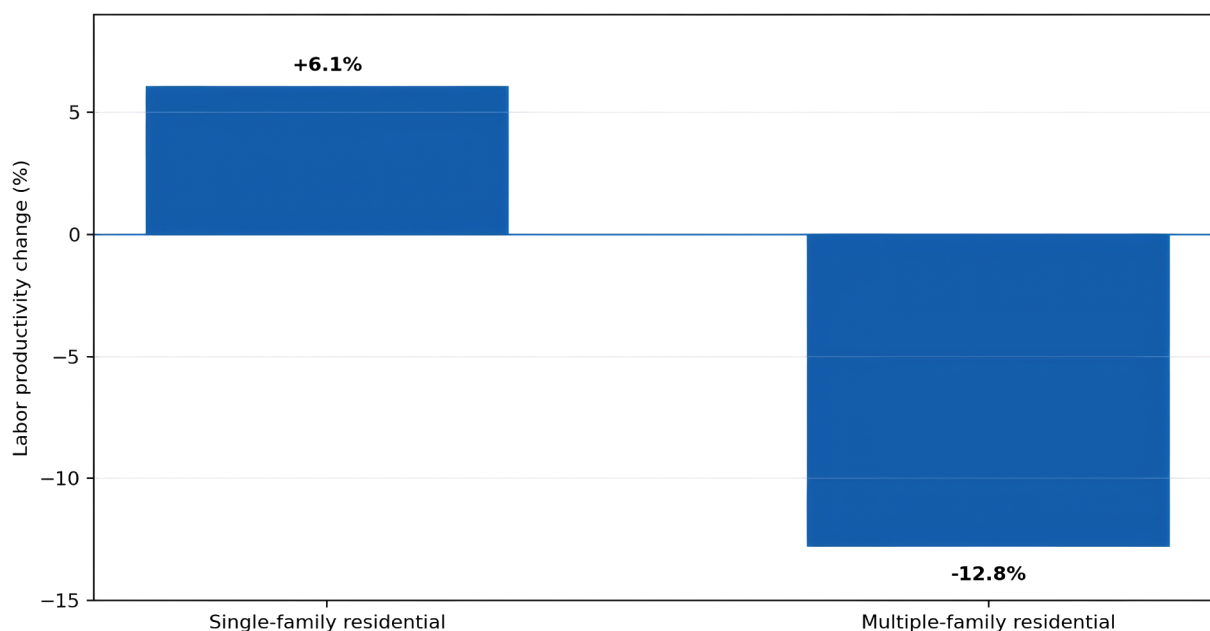


Fig. 1. U.S. Residential Construction Labor Productivity Change in 2024

Source: compiled by the author based on [22]

constraint rated as high impact across all five regions. These findings suggest that data governance must be developed alongside workforce and site-management capability rather than treated as a technology-only intervention.

The financial context reinforces the need to connect operational measures with economic outcomes. Meisels et al. [14] report that U.S. construction nominal value added increased by 10% and gross output by 12% in 2024. At the same time, Mischke et al. [15] show that post-tax return on invested capital for construction companies and raw-material suppliers decreased by 0.5 percentage points globally between 2008 and 2023, whereas product suppliers gained 9.2 percentage points. Rising output can therefore coexist with pressure on capital returns. A performance-management system should consequently show how schedule, productivity, and quality deviations flow through to margin and capital-allocation decisions.

The principal contribution of this paper is the four-layer data-oriented performance management model shown in Fig. 2. The model is presented as a data-flow architecture rather than an organizational chart. Its design premise is that site-level

measurements become more useful when they can be traced through process, workforce, quality, and financial domains to an explicit management response. The framework therefore emphasizes vertical traceability from operational data to decision-making and horizontal integration across performance domains.

Layer 1 (Data Inputs) captures five primary streams: project cost and schedule tracking, worker or crew output and time records, defect and rework logs, client-satisfaction feedback, and financial statements and cash-flow data. The purpose is not to maximize data volume, but to establish ownership, frequency, and traceability for each stream. Murguia et al. [16] demonstrate the practical value of a data-to-dashboard strategy that aligns metrics, digital tools, and analyses, while also identifying multi-source integration and conversion of information into decisions as implementation challenges. Gutierrez-Bucheli et al. [10] similarly emphasize the need for standardized measurement frameworks that enable comparison across projects and the broader value chain.

Layer 2 (Process Optimization and Workforce Performance) receives Layer 1 data and applies them in two parallel tracks. Process optimization uses

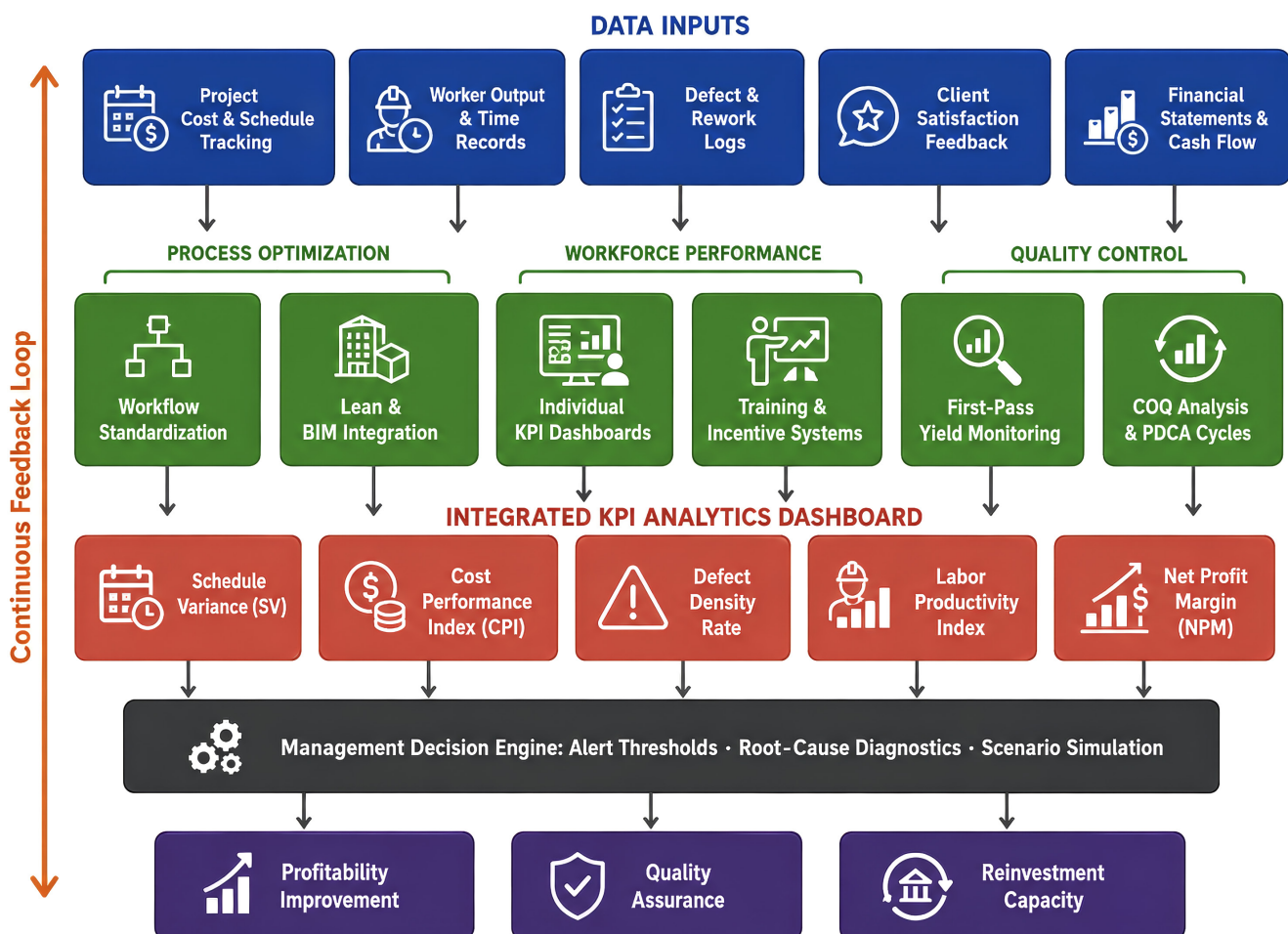


Fig. 2. Data-Oriented Performance Management Model for a Construction Enterprise

Source: compiled by the author based on [4; 10; 16; 5]

standardized workflow information and, where appropriate, Lean- or BIM-enabled monitoring to identify recurring bottlenecks and deviations. The workforce track uses task-appropriate worker- or crew-level indicators to identify training, coordination, or allocation needs without assuming that every construction activity can be fairly attributed to an individual. Breuling et al. [4] developed 14 application-specific KPIs for data-based construction project management and argue that such KPIs can support digital tracking of site status, weak points, and optimization potential; the authors also note that further validation is required. The proposed model therefore treats KPI-based workforce feedback as a management mechanism whose effectiveness must be verified in implementation.

Layer 3 (Integrated KPI Analytics Dashboard) consolidates the data streams into a compact set of indicators: schedule variance (SV), cost performance index (CPI), defect density or rework rate, labor productivity, and net profit margin. The exact dashboard composition can vary by project type. Ibrahim et al. [11] emphasize that financial measures alone are insufficient for construction performance assessment and should be complemented by non-financial indicators, while Abdelhameed et al. [1] show the centrality of KPI-based performance assessment in the broader construction-project-performance literature. The design rule in this model is therefore traceability: every dashboard measure should be linked to an identifiable source stream and to a defined management response when a threshold is crossed.

Layer 4 (Management Decision Engine) converts monitored deviations into documented management

responses. It combines alert thresholds, root-cause investigation, and scenario analysis so that managers can examine the operational and financial implications of a proposed intervention before committing resources. This layer is likely to be organizationally demanding because it requires clear decision rights, data ownership, and response protocols. The model does not require a single automated platform; its essential requirement is a traceable link between a KPI deviation, the diagnostic process, the selected action, and subsequent performance review.

Performance management is weakened when KPIs are read in isolation. A cost-performance deterioration may reflect rework, skills, logistics, coordination, scheduling, or other operating conditions rather than a purely financial cause. Cross-domain analysis is therefore used here to generate plausible upstream explanations before management selects an intervention.

Fig. 3 presents the author-developed KPI Interaction Matrix as a structured diagnostic map across the four core performance domains. The 16 cells include four within-domain feedback relationships and twelve cross-domain links. The matrix is intended to help managers generate and test candidate upstream explanations for an observed deviation; it does not assign causal probabilities or estimate effect sizes.

The matrix should be interpreted as a conceptual map of management pathways rather than as an estimated causal network. Quality can influence financial performance through failure and rework costs, while workforce capability can affect both process reliability and quality outcomes. Shafiei et al. [20], using a system-dynamics case model, show that additional

	Process Optimization	Workforce Performance	Quality Management	Financial Performance
Process Optimization	Workflow feedback and standardization	Work design shapes measured output	Process deviations may precede defects	Schedule/cost variance affects project economics
Workforce Performance	Skill/coordination data informs workflow review	Task/crew performance feedback	Training/experience are candidate quality drivers	Labor productivity affects cost exposure
Quality Management	Rework data flags process bottlenecks	Defect patterns inform training review	COQ and defect monitoring	Failure costs affect margin
Financial Performance	Budget constraints shape process investment	Training/resources depend on allocation	Quality investment depends on allocation	Margin and capital-allocation review

Fig. 3. Proposed KPI Interaction Matrix for Construction Enterprise Performance Management

Source: compiled by the author based on [9; 5; 20; 4]

training and more experienced labor can reduce failure costs while increasing prevention costs, with an overall reduction in cost of quality under the modeled conditions. Assaad et al. [2] independently rank errors, omissions, rework, inadequate training, and insufficient coordination among the most important adverse labor-productivity factors in offsite construction. The matrix formalizes these cross-domain relationships so that managers can trace a KPI deviation upstream before selecting an intervention.

Cheirkhanova et al. [5] provide construction-specific empirical evidence for the quality-finance linkage. Their analysis of 23 Kazakhstani construction companies reports statistically significant relationships between quality-management variables and sales performance; the study identifies customer satisfaction, product profitability, and the economic efficiency of the QMS as important positive predictors, while emphasizing that quality-related expenditure must be optimized rather than increased indiscriminately. This evidence supports the model's decision to connect quality indicators to financial outcomes, but it does not by itself establish the magnitude or direction of every pathway shown in the KPI Interaction Matrix.

Table 1 presents an ideal-typical comparison of three performance-management configurations synthesized from the reviewed literature. The categories are analytical constructs rather than mutually exclusive industry classes, and the entries should not be read as estimated performance effects. The comparison focuses on data granularity, feedback cadence, KPI scope, workforce visibility, financial linkage, and implementation burden — the dimensions most directly related to the proposed model's architecture.

The principal distinction in Table 1 is architectural. Retrospective reporting is primarily designed for periodic accountability, whereas integrated KPI systems are designed to shorten the interval between

observation and response and to make operational-financial linkages explicit. Murguia et al. [16] illustrate the value and difficulty of moving from dispersed digital measurements to a coherent dashboard, and Breuling et al. [4] show how application-specific KPIs can make site status and weak points visible. The proposed model extends this logic by requiring each operational metric to have a documented data source and a management response, while treating capital allocation as a separate, explicit decision rule rather than as an assumed consequence of better project performance.

Construction labor productivity is shaped by heterogeneous and interacting factors, which makes individual performance difficult to isolate from task design, logistics, coordination, and site conditions. Qi et al. [18] extracted 591 construction labor-productivity articles published between 1973 and 2023 and used hierarchical topic modeling to demonstrate the breadth and fragmentation of the research domain. For management purposes, this means that worker-level indicators should be used only where attribution is technically and organizationally defensible; otherwise, crew- or task-level measures may provide a more valid basis for intervention.

Table 2 summarizes evidence that can be translated into measurable interventions within the proposed model. The table deliberately distinguishes observed findings from proposed management responses so that the model does not convert measurement studies or context-specific cases into unsupported universal effect claims.

The evidence in Table 2 supports two design choices. First, productivity measurement should include upstream conditions such as skills, logistics, rework, and coordination rather than only output per labor hour. Second, digital monitoring should be treated as measurement infrastructure, not as proof of

Table 1

Ideal-Typical Comparison of Construction Performance Management Configurations

Criterion	Retrospective Reporting	Project-Level KPI Tracking	Data-Oriented Integrated Model (Proposed)
Data granularity	Aggregated project or firm data	Project-level data with limited disaggregation	Project-, process-, crew/worker-, quality-, and finance-linked data where valid
Feedback cadence	Monthly or quarterly reporting	Periodic project-control cycle	Higher-frequency updates with defined exception thresholds
KPI scope	Primarily financial and completion outcomes	Cost, schedule, and selected quality indicators	Cost, schedule, quality, productivity/workforce context, and margin
Workforce visibility	Indirect or limited	Mostly team/project level	Worker-, crew-, or task-level only where attribution is valid
Financial linkage	Project accounting separated from operating feedback	Financial review tied to project control	Operational KPIs linked to margin and explicit capital-allocation decisions
Implementation burden	Low	Moderate	Moderate to high; depends on data integration and governance maturity

Source: author synthesis based on [11; 16; 4; 5]

productivity improvement. Jacobsen et al. [12], for example, achieved 90% activity-classification accuracy and an F1 score of 0.876 in a kinematic monitoring study, demonstrating the technical feasibility of automated work sampling; the study does not claim that the monitoring system itself raises labor productivity. This distinction is important when translating research prototypes into management KPIs.

Assaad et al. [2] provide a useful empirical benchmark for the workforce layer. Based on 100 completed industry survey responses and 20 labor-productivity risk factors in offsite construction, the five highest-priority adverse factors were unskilled labor and improper training, poor logistics, errors/omissions/rework, work-area congestion and overcrowding, and insufficient coordination. Eighty percent of the assessed factors fell into the high-overall-risk cluster. These findings support a performance system that combines labor-output measures with training, logistics, rework, and coordination data instead of interpreting low output as an individual-worker problem by default.

Quality management in construction is better treated as an economic optimization problem than as a compliance cost alone. The Cost-of-Quality (COQ) framework separates conformance costs, such as prevention and appraisal, from failure costs, such as rework and warranty-related losses. Shafiei et al. [20] model these categories as an interrelated system and show in a construction case simulation that greater training and labor experience can increase prevention expenditure

while reducing failure costs and total COQ. The implication is not that prevention spending always produces a fixed return, but that the balance between prevention and failure costs should be measured explicitly.

Cheirkhanova et al. [5] reinforce this cost-benefit perspective with firm-level data. Their regression and multivariate analysis of 23 Kazakhstani construction companies links QMS-related variables with sales, profitability, and customer satisfaction and shows that the economic efficiency of the QMS is financially relevant. The study also cautions against poorly optimized quality expenditure. For the proposed model, the practical requirement is therefore to combine defect or rework indicators with a COQ account so that management can distinguish productive prevention expenditure from cost growth that does not generate commensurate performance benefits.

A systematic review by Sharma and Laishram [21] further shows that construction COQ implementation is hindered by inconsistent and insufficiently measurable cost factors. Their PRISMA-based review synthesizes the literature into a structured COQ framework and argues for clearer quantitative classification of quality costs. Embedding a COQ module in Layer 2 and linking it to margin indicators in Layer 3 addresses this measurement gap without implying that one universal optimal COQ ratio applies across projects.

The proposed framework includes an explicit capital-allocation extension because operational gains do not automatically translate into durable enterprise

Table 2

Published Evidence on Labor Productivity and Corresponding Model Implications

Evidence area	Published finding	Evidence base	Model implication
Skills and training	Unskilled labor and improper training were the highest-priority adverse productivity factor.	Assaad et al. (2023): 100 completed survey responses; offsite construction.	Layer 2 should connect productivity deviations with training and skill data before assigning individual accountability.
Logistics, rework, coordination	Poor logistics, errors/omissions/rework, and insufficient coordination were among the five highest-priority adverse factors.	Assaad et al. (2023): ranking of 20 labor-productivity risk factors.	Layer 1 should capture rework and coordination events; Layer 2 should use them in root-cause analysis.
Workforce scheduling	In the reported COVID-19 case, adding employees increased extra-hours cost by up to 104.25%, illustrating material cost sensitivity to scheduling choices.	Corral et al. (2023): multi-objective scheduling model; context-specific case.	Use scheduling analytics as decision support; do not generalize the case percentage as a universal effect size.
Data-to-dashboard measurement	Digital measurement can improve the timeliness and organization of performance information, but multi-source data integration remains a practical challenge.	Murguia et al. (2022): construction data-to-dashboard strategy.	Layers 1–3 should use common definitions, ownership, and data provenance.
Kinematic work measurement	Best activity-recognition model achieved 90% accuracy and F1 = 0.876 for automated work sampling.	Jacobsen et al. (2023): sensor-based study of construction work activities.	Layer 1 may automate work sampling where justified; measurement accuracy is not equivalent to a productivity gain.
KPI-based site tracking	Fourteen application-specific KPIs were developed to support data-based project management and digital tracking of site status and weak points.	Breuling et al. (2025): construction KPI framework; further validation required.	Layers 2–3 can use application-specific KPIs, with local validation before performance incentives are attached.

Source: author synthesis based on [2; 6; 16; 12; 4]

value. The literature reviewed here provides evidence on financial management and real-estate development outcomes, but it does not directly validate a universal reinvestment cycle for owner-led construction firms. The cycle in Fig. 4 is therefore presented as an author-developed governance mechanism: a firm defines in advance how a portion of distributable profit may be retained for productive assets or business capability after liquidity, debt-service, tax, and project-risk requirements are satisfied.

Fig. 4 presents this reinvestment mechanism as a closed management loop. Quality execution and cost control protect project economics; retained earnings create investment capacity; selected productive assets or business capabilities can generate future cash flows; and the resulting cash flows may support further reinvestment. The model is deliberately non-numeric because appropriate allocation rates depend on firm risk, leverage, liquidity, market conditions, and investment opportunity. Its empirical value should be tested using longitudinal firm-level data rather than inferred from illustrative percentages.

The available literature offers partial support for the components of this extension, but not for the full cycle as a causal mechanism. Geltner et al. [8] identify a positive relationship between REIT valuation indicators and the share of development assets, showing

that development activity can be connected to firm value under specific real-estate market conditions. Majaham et al. [13] identify financial management, project-management competency, and human-resource capability among the internal determinants of construction-firm growth. These findings justify treating capital allocation and organizational capability as management variables, while remaining insufficient to prescribe a fixed reinvestment percentage.

For implementation, the reinvestment rule should be defined as a governance process rather than a target return assumption. Management can establish a hierarchy in which operating liquidity, committed project obligations, taxes, and prudent debt service are funded first; only residual distributable cash is then considered for reinvestment. Candidate investments should be evaluated using the same data discipline as project operations — documented cash-flow expectations, downside scenarios, decision thresholds, and post-investment review. This preserves the conceptual link between operational performance and capital allocation without introducing unsupported market-value or return estimates.

Evidence from volatile construction markets reinforces the importance of disciplined financial management, while also underscoring the need for caution in causal interpretation. Prokopenko and José [17] examine financial statements from ten Ukrainian

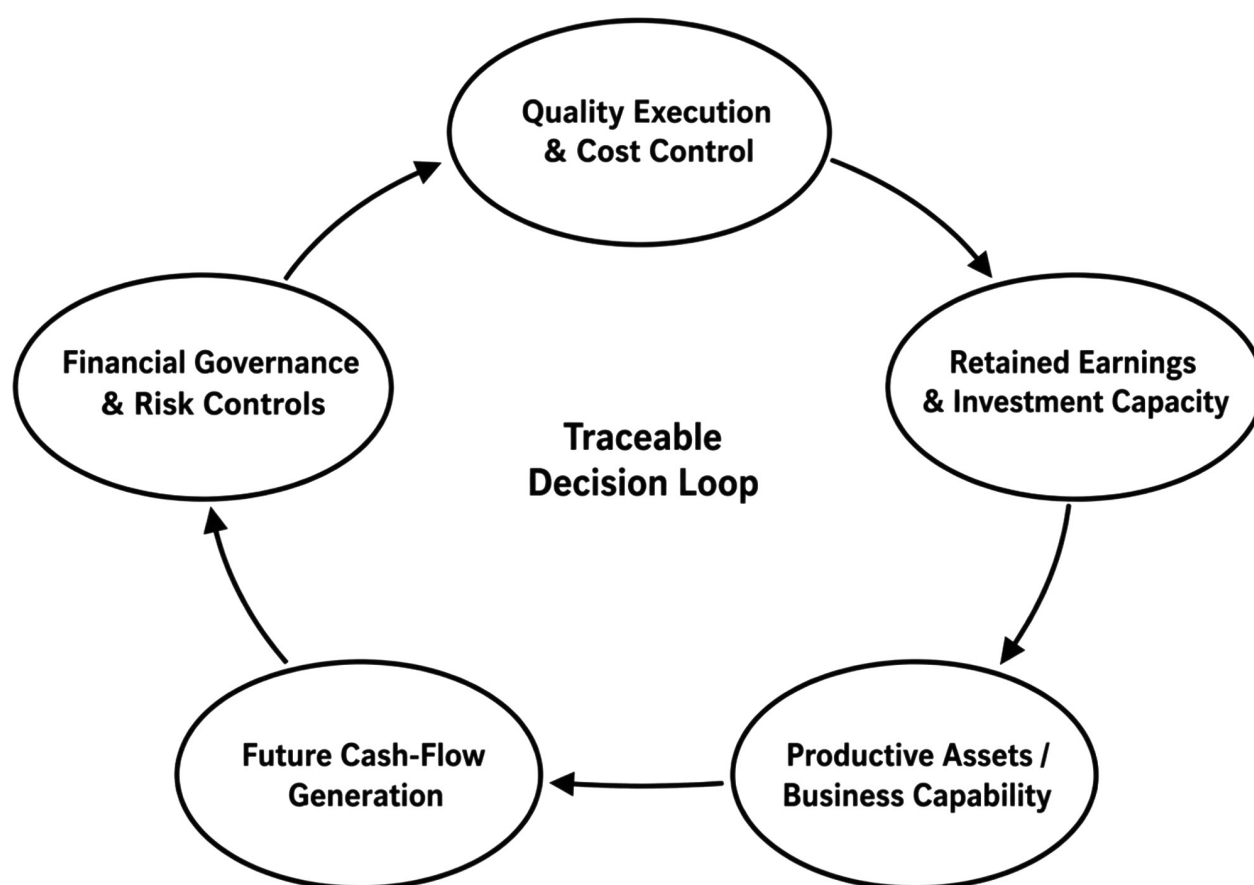


Fig. 4. Illustrative Profit Reinvestment Cycle for a Construction Enterprise
 Source: conceptual synthesis informed by [8; 13; 17]

construction companies over 2019–2023 and discuss revenue growth, profitability, cost management, and operational efficiency as components of financial-potential management. Majaham et al. [13] similarly identify financial management as a core internal growth factor. In the present model, these findings support formalizing capital-allocation controls at the management-decision layer; whether systematic reinvestment improves long-run firm performance is retained as a proposition for future longitudinal testing.

Based on the evidence synthesis, four implementation recommendations follow. They are presented as sequenced management practices rather than guaranteed performance interventions, because the reviewed studies vary substantially in context, measurement, and research design.

Recommendation 1: Begin with the data inventory, not the dashboard. Before purchasing analytics software, the firm should document which Layer 1 streams are captured, who owns each stream, how frequently it is updated, and how data quality is checked. Low-cost digital logs, standardized defect records, structured client feedback, and consistent financial coding can create a usable baseline before more sophisticated analytics are introduced. This sequence is consistent with the data-to-dashboard logic described by Murguia et al. [16].

Recommendation 2: Match performance accountability to the level at which work can be validly measured. Where individual task output is observable and comparable, worker-level indicators can support targeted training and feedback. Where work is interdependent, crew- or task-level metrics are more defensible. Assaad et al. [2] show that training, logistics, rework,

congestion, and coordination are major productivity risks, so a fair workforce dashboard should make these contextual factors visible rather than attributing every variance to the worker.

Recommendation 3: Formalize a COQ account within the management accounting system. Prevention and appraisal costs should be distinguishable from internal and external failure costs, allowing managers to test whether additional quality expenditure is reducing total quality-related cost. Shafiei et al. [20] and Sharma and Laishram [21] provide the conceptual basis for this separation, while Cheirkhanova et al. [5] demonstrate the relevance of QMS economics to construction-firm performance.

Recommendation 4: Treat reinvestment as a pre-defined governance rule subject to liquidity and risk constraints. Rather than selecting an arbitrary percentage after profit is reported, management should specify the decision hierarchy, eligibility criteria for investment, approval thresholds, and conditions under which cash must be retained. This recommendation is an author-developed extension of the performance model and should be evaluated prospectively; it is not presented as a benchmark established by the cited literature.

Table 3 translates the conceptual model into a phased implementation roadmap. The timelines are indicative planning windows rather than empirically estimated durations, and the expected outcomes are operational milestones rather than unsupported forecasts of percentage improvement.

The roadmap reflects a recurring finding in the digital-construction literature: technology adoption is useful only when measurement practices, organizational routines, and decision processes develop with

Table 3

Implementation Roadmap for the Data-Oriented Performance Management Model

Phase	Indicative Duration	Key Actions	Data Requirements	Expected Operational Milestone
Phase 1: Data Infrastructure	0–3 months	Audit data gaps; deploy basic digital logging; assign data ownership and validation rules	Five Layer 1 streams: cost/schedule, output/time, defect/rework, satisfaction, financial	Documented data owners, update frequencies, definitions, and baseline KPI values
Phase 2: KPI Dashboard	3–6 months	ConFig. core KPIs; define thresholds; train managers to investigate exceptions	Validated Layer 1 outputs feeding dashboard indicators	Recurring KPI review with traceable exceptions and documented management actions
Phase 3: Workforce Integration	6–12 months	Add worker-, crew-, or task-level views where attribution is valid; connect deviations to training, logistics, and rework	Disaggregated output plus contextual workforce/process data	Performance feedback uses both output and root-cause context; attribution rules are documented
Phase 4: Quality and Financial Integration	12–24 months	Formalize COQ account; connect quality indicators to margin; define capital-allocation governance	COQ categories, margin trend, liquidity and reinvestment decision records	Quality costs are separately visible and capital-allocation decisions follow explicit approval criteria
Phase 5: System Optimization	24+ months	Run scenario reviews; benchmark externally; recalibrate thresholds and definitions	Layers 1–3 plus validated external benchmarks	Annual model review with documented revisions, benchmark comparisons, and data-quality checks

Source: author synthesis based on [16; 2; 4; 20; 5]

it. Autodesk and Deloitte Access Economics [3] report statistically significant associations between broader digital-tool use and revenue/profit growth in a survey of 933 Asia-Pacific construction and engineering businesses, while Murguia et al. [16] emphasize the challenge of integrating multiple data sources into decision-ready dashboards. Breuling et al. [4] likewise frame KPIs as instruments for data-based project control rather than as outcomes in themselves. The phased sequence therefore starts with data ownership and baseline measurement, then adds dashboards, workforce integration, COQ and capital-allocation rules, and finally recurring model review.

The framework's most distinctive element is the explicit connection between operational measurement and capital allocation. Existing performance frameworks commonly end at project or firm financial indicators, whereas the proposed decision layer asks what management should do with the resulting financial capacity. The evidence reviewed from Prokopenko and José [17], Majaham et al. [13], and Geltner et al. [8] supports the relevance of financial management and investment decisions, but it does not prove the proposed reinvestment loop. Accordingly, the reinvestment component should be understood as a testable extension whose value lies in making the decision rule visible and auditable.

Conclusion. This paper investigated the structural relationships among process optimization, individual workforce performance, quality management, and enterprise profitability in the construction sector, and proposed an original four-layer data-oriented performance management model that formalizes those relationships as an actionable management framework.

The evidence is consistent with, but does not causally confirm, the study's working hypothesis. Mischke et al. [15] document a long-run construction productivity gap and pressure on construction-company returns; RICS [19] demonstrates fragmented measurement and low benchmark use; Cheirikhanova et al. [5] provide firm-level evidence that QMS-related variables are associated with sales and profitability; and Autodesk and Deloitte Access Economics [3] report positive

associations between digital-tool adoption and financial growth indicators. Taken together, these sources justify a management architecture that connects operational data, quality, workforce conditions, and financial decisions, while leaving the magnitude of firm-level performance effects for prospective testing.

The research objective — to analyze structural links among process, personnel, quality, and financial domains and translate them into an integrated management model — was addressed through three author-developed instruments: the four-layer data-oriented performance model, the KPI Interaction Matrix, and the illustrative Profit Reinvestment Cycle. The first two organize measurement and feedback pathways supported by the reviewed literature; the third extends the framework into capital-allocation governance and is explicitly identified as a proposition requiring longitudinal validation.

The practical significance of the work lies in its modularity. A construction enterprise can begin with a small number of traceable data streams and gradually add KPI integration, workforce feedback, COQ accounting, and capital-allocation controls as data quality and management capability improve. This is particularly relevant in large and competitive markets such as the United States, where construction spending exceeded US\$2 trillion and employment reached 8.3 million in 2024 [14]. The framework does not require a single software platform; it requires consistent definitions, ownership, traceability, and decision rules.

Future research should prospectively test the proposed model in defined firm-size and geographic settings, compare worker-, crew-, and project-level measurement validity, and develop standardized instruments for the five Layer 1 data streams. Longitudinal studies should estimate whether changes in feedback frequency, COQ visibility, and capital-allocation discipline produce measurable effects on productivity, quality, margin stability, and asset growth. Such studies are also needed to determine whether the proposed pathways hold across different construction subsectors and macroeconomic conditions.

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. Abdelhameed, A., Yamany, M. S., Abdelaty, A., Elbeltagi, E., & Mohamed, H. A. E. (2026). Construction project performance research: A bibliometric, scientometric, and qualitative review (1989–2023). *Metrics*, 3(1), Article 3. <https://doi.org/10.3390/metrics3010003>
2. Assaad, R. H., El-Adaway, I. H., Hastak, M., & LaScola Needy, K. (2023). Key factors affecting labor productivity in offsite construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(1), Article 04022158. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12654>

3. Autodesk, & Deloitte Access Economics. (2024). State of digital adoption in the construction industry 2024. Autodesk. <https://adskconstruction.autodesk.com/digital-journey-resources-apac/state-of-digital-adoption-in-construction-2024>
4. Breuling, G., Moser, T., Seitz, J., Prinz, C., Sudhoff, M., & Kuhlentötter, B. (2025). Key performance indicators for data-based project management-Transferability of lean methods to the construction industry. In W.-G. Drossel, S. Ihlenfeldt, & M. Dix (Eds.), *Production at the leading edge of technology: Proceedings of the 14th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP)*, Chemnitz University of Technology, December 2024 (pp. 636–646). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-86893-1_69
5. Cheirkhanova, A., Juman, J., Yezhebekov, M., Makulova, A., Khamzayeva, A., & Zhuman, Y. (2025). The impact of customer-centered quality management systems on profit and satisfaction in construction companies. *Sustainability*, 17(9), Article 4190. <https://doi.org/10.3390/su17094190>
6. Corral, F., Forcael, E., & Linfati, R. (2023). Workforce scheduling efficiency assessment in construction projects through a multi-objective optimization model in the COVID-19 context. *Heliyon*, 9(6), Article e16745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16745>
7. Deloitte. (2025, July 28). Deloitte's Global Powers of Construction report finds that the rebounding construction industry expects significant growth through 2030 [Press release]. <https://www.deloitte.com/global/en/about/press-room/deloitte-global-powers-of-construction-report.html>
8. Geltner, D., Kumar, A., & Van de Minne, A. M. (2023). Is there super-normal profit in real estate development? *Journal of Real Estate Research*, 45(2), 160–187. <https://doi.org/10.1080/08965803.2022.2069331>
9. Golpira, H., Magazzino, C., & Safaeipour, S. (2021). Optimization for project quality management. In H. Golpira (Ed.), *Application of mathematics and optimization in construction project management* (pp. 141–164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81123-5_6
10. Gutierrez-Bucheli, L., Muñoz, S., Couper, R., & Maxwell, D. W. (2026). Mapping the landscape of productivity in construction research: An umbrella review of trends, gaps and future directions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 33(15), 516–539. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2025-2007>
11. Ibrahim, A., Zayed, T., & Lafhaj, Z. (2024). Enhancing construction performance: A critical review of performance measurement practices at the project level. *Buildings*, 14(7), Article 1988. <https://doi.org/10.3390/buildings14071988>
12. Jacobsen, E. L., Teizer, J., & Wandahl, S. (2023). Work estimation of construction workers for productivity monitoring using kinematic data and deep learning. *Automation in Construction*, 152, Article 104932. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104932>
13. Majaham, R. F. F., Mustapa, M., & Darmansah, N. F. (2025). A critical review of internal factors impacting the growth of construction firms. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(12), 1501–1513. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.8120128>
14. Meisels, M., Nikulin, M., Hardin, K., Sloane, M., & Dwivedi, K. (2024, November 4). 2025 engineering and construction industry outlook: Construction firms are likely to find reasons for optimism in 2025. *Deloitte Insights*. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/engineering-and-construction/engineering-and-construction-industry-outlook/2025.html>
15. Mischke, J., Stokvis, K., Vermeltfoort, K., & Biemans, B. (2024, August 9). Delivering on construction productivity is no longer optional. *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>
16. Murguia, D., Chen, Q., Jansen Van Vuuren, T., Rathnayake, A., Vilde, V., & Middleton, C. (2022). Digital measurement of construction performance: Data-to-dashboard strategy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(9), Article 092009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092009>
17. Prokopenko, O., & José, M. (2024). Tools for effective management of financial potential in the construction industry. *Smart Economy, Entrepreneurship and Security*, 2(2), 26–38. [https://doi.org/10.60022/sis.2.\(02\).3](https://doi.org/10.60022/sis.2.(02).3)
18. Qi, K., Owusu, E. K., Siu, M.-F. F., & Chan, P.-C. A. (2024). A systematic review of construction labor productivity studies: Clustering and analysis through hierarchical latent Dirichlet allocation. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(9), Article 102896. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102896>
19. Royal Institution of Chartered Surveyors. (2026). RICS construction productivity report 2026. <https://www.rics.org/news-insights/rics-construction-productivity-report-2026>
20. Shafiei, I., Eshtehardian, E., Nasirzadeh, F., & Arabi, S. (2023). Dynamic modeling to reduce the cost of quality in construction projects. *International Journal of Construction Management*, 23(1), 24–37. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1845425>
21. Sharma, N., & Laishram, B. (2025). Understanding the relevance and impact of the cost of quality in the construction industry: A systematic literature review using PRISMA. *Construction Innovation*, 25(6), 1707–1726. <https://doi.org/10.1108/CI-08-2023-0197>
22. U.S. Bureau of Labor Statistics. (2025, September 24). Construction labor productivity. <https://www.bls.gov/productivity/highlights/construction-labor-productivity.htm>

УДК 330.322

Дробаха Дмитро Анатолійович

аспірант кафедри готельно-ресторанної справи

ПВНЗ «Київський університет культури»

Drobakha Dmytro

Postgraduate of the Department of Hotel and Restaurant Business

Kyiv University of Culture

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12147>

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ УКРАЇНИ

FORMATION OF A SYSTEM OF INDICATORS FOR TECHNOLOGY EFFICIENCY IN THE RESTAURANT BUSINESS

Анотація. У статті досліджено теоретичні та практичні засади формування системи показників оцінювання ефективності використання сучасних технологій у ресторанному бізнесі України. Обґрунтовано необхідність переходу від оцінювання окремих результатів цифровізації до комплексного підходу, який дає змогу визначити вплив технологічних рішень на фінансові, операційні, маркетингові, клієнтські та організаційні результати діяльності підприємства. Проаналізовано основні напрями технологічної трансформації ресторанного бізнесу, зокрема використання POS-систем, CRM-систем, систем управління запасами, онлайн-замовлення та бронювання, цифрових меню, програм лояльності, BI-аналітики, мобільних застосунків, штучного інтелекту та автоматизованих систем управління. Запропоновано систему показників оцінювання ефективності сучасних технологій, сформовану за п'ятьма функціональними блоками: фінансова ефективність, операційна ефективність, маркетингова та клієнтська ефективність, ефективність управління ресурсами та цифрова організаційна ефективність. Визначено методичний підхід до розрахунку інтегрального показника ефективності технологізації ресторанного підприємства. Обґрунтовано доцільність використання показників ROI, TCO, приросту виручки, продуктивності праці, середнього чека, частоти повторних покупок, рівня харчових втрат, точності прогнозування попиту, швидкості обслуговування та рівня цифрової залученості клієнтів. Запропонована система може використовуватися керівниками ресторанних підприємств для обґрунтування інвестицій у цифрові технології, контролю результативності їх використання та прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: ресторанний бізнес, цифровізація, цифрові технології, автоматизація, ефективність, KPI, POS-система, CRM, цифрова трансформація, інтегральний показник, управління рестораном.

Summary. The article examines the theoretical and practical foundations for developing a system of indicators to assess the efficiency of modern technologies in the restaurant business of Ukraine. The necessity of shifting from the assessment of individual digitalization outcomes to a comprehensive approach is substantiated, which makes it possible to determine the impact of technological solutions on the financial, operational, marketing, customer, and organizational performance of an enterprise. The main areas of technological transformation in the restaurant business are analyzed, including the use of POS systems, CRM systems, inventory management systems, online ordering and booking services, digital menus, loyalty programs, business intelligence analytics, mobile applications, artificial intelligence, and automated management systems. A system of indicators for assessing the efficiency of modern technologies is proposed, structured into five functional blocks: financial efficiency, operational efficiency, marketing and customer efficiency, resource management efficiency, and digital organizational efficiency. A methodological approach to calculating an integral indicator of the technological efficiency of a restaurant enterprise is developed. The expediency of using such indicators as ROI, TCO, revenue growth, labor productivity, average check, repeat purchase



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/>)

rate, food waste level, demand forecasting accuracy, service speed, and customer digital engagement is substantiated. The proposed system can be used by restaurant managers to justify investments in digital technologies, monitor the effectiveness of their implementation and use, and support managerial decision-making.

Key words: restaurant business, digitalization, digital technologies, automation, efficiency, KPI, POS system, CRM system, digital transformation, integral indicator, restaurant management.

Сучасний ресторанний бізнес функціонує в умовах високої конкуренції, нестабільного попиту, зміни споживчих моделей, зростання вартості ресурсів та необхідності постійного підвищення якості обслуговування. Для підприємств ресторанного господарства України зазначені виклики додатково посилюються наслідками воєнних дій, перебоями в електропостачанні, логістичними обмеженнями, дефіцитом персоналу та необхідністю забезпечення безперервності операційної діяльності.

За таких умов технологічна модернізація ресторанного бізнесу стає не лише інструментом підвищення конкурентоспроможності, а й важливою передумовою забезпечення економічної стійкості підприємства. Цифрові технології дають можливість автоматизувати значну кількість операцій, скоротити час виконання рутинних процедур, підвищити точність обліку, оптимізувати використання матеріальних ресурсів та сформувати якісно новий формат взаємодії зі споживачами.

Сучасні дослідження українських науковців Дробаха Д. А., Захарова Т. В., Рибаківа С. С., Миронов Д. А. підтверджують, що інформаційні технології у ресторанному бізнесі сприяють підвищенню оперативності управління, скороченню витрат, покращенню контролю над доходами і витратами та підвищенню ефективності обміну інформацією між структурними підрозділами підприємства.

Водночас саме по собі придбання програмного забезпечення, обладнання або впровадження цифрового сервісу ще не означає підвищення ефективності підприємства. Технологічні інвестиції повинні оцінюватися з позиції отриманого економічного та управлінського результату. Наприклад, встановлення POS-системи може прискорити оформлення замовлень [8], але якщо підприємство не використовує накопичені дані для управління меню, персоналом і запасами, значна частина потенціалу технології залишається невикористаною.

Проблема полягає в тому, що традиційні показники діяльності ресторану — виручка, прибуток, рентабельність, собівартість, середній чек та кількість відвідувачів — не завжди дають змогу визначити безпосередній ефект від використання конкретної технології. У зв'язку з цим виникає потреба у формуванні комплексної системи показників, яка дозволить оцінювати не тільки фінансовий результат, а й операційні, маркетингові, клієнтські та організаційні ефекти цифровізації.

Метою статті є обґрунтування системи показників оцінювання ефективності використання

сучасних технологій у ресторанному бізнесі України та розроблення методичного підходу до формування інтегральної оцінки технологічної ефективності підприємства.

Цифрова трансформація ресторанного бізнесу передбачає не просто використання окремих програмних продуктів, а перебудову бізнес-процесів на основі даних, автоматизації та цифрової взаємодії з клієнтами.

Сучасні технології можуть бути інтегровані практично в усі основні функціональні сфери ресторанного підприємства: закупівлі, складський облік, виробництво, обслуговування, продажі, маркетинг, фінансовий контроль, управління персоналом та взаємодію з клієнтами.

До основних технологічних рішень, що використовуються в ресторанному бізнесі, належать:

1. POS-системи — автоматизація продажів, оформлення замовлень, розрахунків та формування управлінської звітності [8].

2. CRM-системи — накопичення інформації про клієнтів, сегментація аудиторії, персоналізація пропозицій та управління програмами лояльності [7].

3. Системи управління запасами — автоматизація контролю залишків, закупівель, списань та використання сировини.

4. Системи онлайн-замовлень і доставки — забезпечення цифрового каналу продажів без безпосереднього відвідування ресторану.

5. Системи онлайн-бронювання — автоматизація резервування столиків та управління завантаженням залу.

6. Цифрові меню та QR-меню — надання клієнту інформації про асортимент, склад та вартість страв у цифровому форматі [3].

7. Мобільні застосунки — формування прямого цифрового каналу комунікації між рестораном та клієнтом.

8. BI-системи та аналітичні платформи — створення операційних даних на інформацію для прийняття управлінських рішень [1].

9. Штучний інтелект — прогнозування попиту, персоналізація маркетингових пропозицій, автоматизація комунікацій та підтримка управлінських рішень [4].

10. Автоматизоване обладнання — автоматизація виробничих і сервісних операцій.

Наукові дослідження вказують [5], що автоматизація ресторанних процесів може забезпечувати підвищення надійності операцій, економію ресурсів та зростання продуктивності. Водночас технологічні

рішення потребують значних первинних інвестицій, а тому їх впровадження повинно супроводжуватися економічною оцінкою.

Особливо важливим є перехід від фрагментарної цифровізації до інтегрованої системи. Використання декількох незалежних технологій без належної інтеграції може призвести до дублювання інформації, появи додаткових операцій та ускладнення контролю [6].

Отже, ефективність технологій визначається не кількістю встановлених програм чи обладнання, а здатністю цифрової системи створювати додаткову цінність для підприємства та його клієнтів.

Ефективність використання технологій у ресторанному бізнесі доцільно розглядати як співвідношення отриманого результату та ресурсів, використаних для створення цього результату.

У найпростішому вигляді ефективність може бути представлена формулою:

$$E = P / B, \quad (1)$$

де: E — ефективність використання технології;

P — отриманий результат;

B — витрати на впровадження та експлуатацію технології.

Однак для ресторанного бізнесу такої формули недостатньо. Результат цифровізації має багатовимірний характер.

Наприклад, CRM-система може не забезпечити безпосереднього скорочення витрат, але підвищити частоту повторних покупок та середній чек. POS-система може не збільшити виручку безпосередньо, однак скоротити кількість помилок персоналу та прискорити обслуговування. Система прогнозування попиту може не вплинути на обсяг продажів, але зменшити харчові втрати та обсяг списань.

Пропонується виділити п'ять основних блоків оцінювання:

1. Фінансова ефективність, яка відображає безпосередній економічний результат використання технології.

2. Операційна ефективність, яка характеризує зміни швидкості, продуктивності та якості виконання бізнес-процесів.

Таблиця 1

Система показників оцінювання ефективності використання сучасних технологій у ресторанному бізнесі

Блок оцінювання	Показник	Метод розрахунку	Характеристика
Фінансовий	ROI технології	(Додатковий прибуток — витрати на технологію) / витрати $\times 100\%$	Окупність технологічних інвестицій
	ТСО	Первинні + поточні + супутні витрати	Загальна вартість володіння
	Приріст виручки	(Виручка після — виручка до) / виручка до $\times 100\%$	Зміна доходу
	Приріст прибутку	(Прибуток після — прибуток до) / прибуток до $\times 100\%$	Зміна фінансового результату
Операційний	Час обслуговування	Середній час виконання замовлення	Швидкість сервісу
	Продуктивність праці	Виручка / кількість працівників	Результативність персоналу
	Частка автоматизованих операцій	Автоматизовані операції / загальна кількість $\times 100\%$	Рівень автоматизації
	Кількість помилок	Кількість помилкових операцій / загальна кількість	Якість процесів
Ресурсний	Рівень списань	Вартість списань / закупівлі $\times 100\%$	Ефективність використання сировини
	Оборотність запасів	Собівартість реалізації / середні запаси	Швидкість обороту
Маркетинговий	Середній чек	Виручка / кількість чеків	Поведінка покупців
	Repeat Rate	Повторні клієнти / загальна кількість $\times 100\%$	Утримання клієнтів
	CAC	Маркетингові витрати / нові клієнти	Вартість залучення
Клієнтський	NPS	% промоутерів — % критиків	Лояльність клієнтів
	Digital Engagement	Цифрові взаємодії / кількість клієнтів	Цифрова активність
Організаційний	Інтеграція систем	Кількість інтегрованих систем / загальна кількість $\times 100\%$	Узгодженість цифрової інфраструктури
	Використання аналітики	Частка управлінських рішень на основі даних	Data-driven management
	Цифрова компетентність	Результати оцінювання персоналу	Готовність працівників

Джерело: складено автором на основі [2; 3; 9]

3. Маркетингова та клієнтська ефективність, що визначає вплив технологій на залучення, утримання та поведінку клієнтів.

4. Ефективність використання ресурсів охоплює сировину, запаси, персонал, обладнання та інші ресурси.

5. Організаційно-цифрова ефективність характеризує рівень інтеграції цифрових технологій, використання даних та готовність персоналу працювати в цифровому середовищі.

Запропонована система показників наведена у таблиці 1.

Наведений перелік не повинен сприйматися як фіксований. Кожне підприємство має формувати власну систему КРІ відповідно до формату ресторану, кількості закладів, каналів продажу, рівня цифровізації та стратегічних цілей.

Загальний фінансовий ефект цифровізації можна представити як:

$$E_k = \Delta B + \Delta E_v + \Delta E_z + \Delta E_n - BT, \quad (2)$$

де: ΔB — приріст виручки;

ΔE_v — економія витрат на виробництво;

ΔE_z — економія на запасах;

ΔE_n — економія витрат на персонал;

BT — витрати на технологію.

Такий підхід дозволяє уникнути помилки, коли технологія оцінюється лише за додатковими продажами.

Для узагальнення результатів пропонується використовувати інтегральний показник ефективності використання сучасних технологій.

Його доцільно розраховувати на основі п'яти складових:

$$IET = 0,30\Phi + 0,25O + 0,20K + 0,15P + 0,10Ц, \quad (3)$$

де: Φ — індекс фінансової ефективності;

O — індекс операційної ефективності;

K — індекс клієнтської та маркетингової ефективності;

P — індекс ресурсної ефективності;

$Ц$ — індекс цифрової організаційної ефективності.

Запропоновані ваги можуть змінюватися залежно від стратегічних пріоритетів підприємства.

Для ресторану, який перебуває на етапі активного масштабування, більшу вагу можна надати фінансовим та операційним показникам. Для преміального ресторану більшу вагу можуть отримати клієнтські показники. Для мережі ресторанів особливе значення може мати інтеграція даних та стандартизація процесів.

Перед розрахунком інтегрального показника всі КРІ необхідно нормалізувати.

Для показників, зростання яких означає покращення результату, використовується формула:

$$N_i = X_i / X_{\max}. \quad (4)$$

Для показників, зменшення яких означає покращення:

$$N_i = X_{\min} / X_i. \quad (5)$$

Після цього розраховується інтегральний показник.

Наприклад, можна запропонувати таку інтерпретацію:

Значення ІЕТ	Рівень ефективності
0–0,39	низький
0,40–0,59	задовільний
0,60–0,74	середній
0,75–0,89	високий
0,90–1,00	дуже високий

Зазначена шкала дає можливість порівнювати не тільки окремі технології, а й загальний рівень технологічної ефективності різних закладів ресторанної мережі.

Ресторанний бізнес України має специфічні умови функціонування, які необхідно враховувати під час оцінювання технологічних рішень.

По-перше, важливе значення має безперервність роботи. Технологія повинна оцінюватися не тільки за економічною ефективністю, але й за здатністю забезпечувати функціонування ресторану в умовах нестабільного електропостачання або проблем із доступом до мережі.

По-друге, важливо оцінювати кібербезпеку та захист даних. Чим більше інформації про клієнтів, платежі та операційну діяльність накопичує підприємство, тим вищі вимоги до захисту цифрової інфраструктури.

По-третє, важливо враховувати вартість навчання персоналу. Технологія, яку персонал не використовує належним чином, не створює очікуваної економічної цінності.

По-четверте, необхідно враховувати масштабованість. Для невеликого ресторану система з широким функціоналом може бути економічно недоцільною. Для ресторанної мережі, навпаки, відмова від інтегрованої системи може призводити до значних прихованих витрат.

По-п'яте, необхідно оцінювати стійкість технологічної інфраструктури. У сучасних українських умовах технологія має забезпечувати можливість резервного копіювання даних, автономної роботи окремих процесів та швидкого відновлення після технічних збоїв.

Отже, оцінювання технологічної ефективності в Україні повинно включати не лише традиційні економічні показники, але й показники стійкості.

Сучасні технології стають одним із ключових факторів трансформації ресторанного бізнесу України. Їх використання дозволяє автоматизувати операційні процеси, підвищити якість обслуговування, оптимізувати використання ресурсів, розширити цифрові канали продажів та сформувати новий формат взаємодії зі споживачами.

Водночас сам факт впровадження цифрової технології не може розглядатися як доказ підвищення ефективності підприємства. Економічний результат

залежить від того, наскільки технологія відповідає бізнес-процесам підприємства, використовується персоналом та інтегрується в загальну систему управління.

У роботі запропоновано комплексну систему показників оцінювання ефективності використання сучасних технологій у ресторанному бізнесі. Її особливістю є поєднання фінансових, операційних, ресурсних, маркетингових, клієнтських та організаційно-цифрових показників.

До ключових показників запропоновано віднести ROI, ТСО, строк окупності, приріст виручки та прибутку, середній чек, продуктивність праці, час обслуговування, рівень помилок, рівень списань, оборотність запасів, частку повторних клієнтів, SAC, NPS, рівень автоматизації та інтеграції цифрових систем.

Для узагальнення результатів запропоновано використовувати інтегральний показник ефективності технологізації, який дозволяє сформувати комплексну оцінку результативності цифрової трансформації підприємства.

Важливою перевагою запропонованого підходу є можливість адаптації ваг окремих показників відповідно до специфіки ресторанного підприємства.

Для підприємств, орієнтованих на зростання прибутку, пріоритетними можуть бути фінансові КРІ; для ресторанів преміального сегмента — показники клієнтської ефективності; для ресторанних мереж — показники інтеграції, стандартизації та цифрової управлінської зрілості.

Особливого значення така система набуває в умовах українського ресторанного бізнесу, де цифрові технології повинні не тільки забезпечувати економічний ефект, а й підвищувати стійкість підприємства до зовнішніх ризиків. Тому перспективним напрямом подальших досліджень є включення до інтегральної моделі показників технологічної стійкості, кібербезпеки, автономності роботи та здатності ресторану продовжувати операційну діяльність в умовах кризових ситуацій.

Отже, ефективність цифровізації ресторанного бізнесу доцільно оцінювати не кількістю впроваджених технологій, а створеною ними економічною, операційною та клієнтською цінністю. Саме перехід від оцінювання «наявності технологій» до оцінювання «результату їх використання» формує основу сучасного підходу до управління технологічним розвитком ресторанного підприємства.

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. Воляник Г., Шутка С., Колінько Н. Сучасні тренди запровадження інтелектуальних автоматизованих технологій у сфері ресторанного електронного бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3818> (дата звернення: 01.09.2026).
2. Дробаха Д. А. Роль інформаційних технологій у формуванні конкурентоспроможності ресторанного бізнесу. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Економічні науки*. 2025. № 1 (77) URL: <https://journals.maup.com.ua/index.php/economics/article/view/4676> (дата звернення: 01.09.2026).
3. Захарова Т. В. Вплив цифрових технологій на розвиток готельно-ресторанного бізнесу в Україні. *Здобутки економіки: перспективи та інновації*. 2025. № 14. URL: <https://econp.com.ua/index.php/journal/article/view/283> (дата звернення: 03.09.2026).
4. Морохович В., Морохович Б. Digital технології — важливий фактор розвитку ресторанного бізнесу. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2023. Т. 6. № 1. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2afcf68b-c091-4b39-8d75-1dca8b0bbae3/content> (дата звернення: 02.09.2026).
5. Постова В. Перспективи впровадження інтелектуальної автоматизації в ресторанний бізнес в умовах післявоєнного відновлення України. *Економіка та суспільство*. 2023. № 49. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2331> (дата звернення: 02.09.2026).
6. Рибаківська С. С., Миронов Д. А. Сучасні системи автоматизації управління закладами ресторанного господарства. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Економічні науки»*. 2023. № 2 (108) URL: <https://www.puet.poltava.ua/index.php/economics/article/view/181> (дата звернення: 02.09.2026).
7. Русавська В. А., Кожухівський С. Ю. Цифрова трансформація підприємств ресторанного бізнесу в умовах розвитку індустрії гостинності: теоретико-практичний аспект. *Підприємництво і торгівля*. 2026. № 48. С. 122–131. URL: <https://journals-lute.lviv.ua/index.php/pidpr-torgi/article/view/2274> (дата звернення: 02.09.2026).
8. Рябенко М. Впровадження інформаційних комп'ютерних технологій у ресторанному бізнесі. *Економіка та суспільство*. 2022. № 41. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1592> (дата звернення: 02.09.2026).
9. Харенко Д., Каламан О., Федосова К. Інтеграція цифрових та комунікаційних технологій у систему операційного менеджменту ресторанного бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2026. № 84. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/7721> (дата звернення: 02.09.2026).

Петренко Ольга Іванівна

*кандидат економічних наук, доцент,
професор кафедри Управління бізнесом та логістичними потоками
Національний транспортний університет*

Petrenko Olha

*PhD in Economics, Associate Professor
Professor of the Department of Business and Logistics Management
National Transport University*

Пінчук Назарій Васильович

*аспірант
Національного транспортного університету*

Pinchuk Nazarii

*Postgraduate of the
National Transport University*

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12146>

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СТАРТАПІВ НА РИНКУ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»

FEATURES OF THE FUNCTIONING OF TRANSPORT STARTUPS IN THE «LAST MILE» MARKET

Анотація. Трансформація транспортних ланцюгів після періоду COVID-19 створила передумови для стрімкого росту конкурентоспроможних транспортних стартапів. У роботі систематизовано бізнес-моделі транспортних стартапів та здійснено структурування ключових чинників їхньої конкурентоспроможності на ринку «останньої милі». Визначено основні критерії для операційної гнучкості та економічного зростання стартапів. Особливу увагу приділено балансу між перевагами цифрової трансформації та соціально-етичними викликами gig-економіки.

Ключові слова: транспортні стартапи, доставка «останньої милі», бізнес-моделі, операційна гнучкість, gig-економіка.

Summary. The transformation of transport chains in the post-COVID-19 period has created prerequisites for the rapid growth of competitive transport startups. The paper systematizes the business models of transport startups and structures the key factors of their competitiveness in the «last-mile» market. The core criteria for operational flexibility and economic growth of startups are identified. Particular attention is paid to the balance between the benefits of digital transformation and the socio-ethical challenges of the gig economy.

Key words: transport startups, last-mile delivery, business models, operational flexibility, gig economy.

Вступ. Транспортні стартапи є одним із найпотужніших рушіїв трансформації ринку логістики, зокрема завершальної ланки ланцюга доставки — етапу «останньої милі». Споживча поведінка під тиском пандемії COVID-19 трансформувалася у більш вимогливу до якості послуг, швидкості доставки, ширшого вибору, рівня цін [1]. Стрибок росту торгівлі та вимог до послуг перетворюють оптимізацію «останньої милі» на дуже актуальну проблему. Такий

крок необхідно впровадити, щоб зробити завершальний логістичний маршрут економічно ефективним, адже він може акумулювати до 53% від загальної вартості логістичних витрат [2]. Для транспортних стартапів це додає складнощів, однак забезпечує конкурентоспроможність та підвищення задоволеності клієнтів. Окрім розуміння цих факторів успіху, транспортним стартапам, які виходять на ринок, важливо вибрати цільову нішу. Від цього залежатиме

побудова та розвиток операційної моделі та вибір технологічних рішень.

Транспортні стартапи, що фокусуються на «останній милі», можна умовно класифікувати на кілька типів:

1. Технологічні іноватори. Стартапи, що розробляють та впроваджують нові засоби для здійснення та оптимізації процесу доставки. У більшості випадків це освоєння повітряного простору через безпілотні літальні апарати (БПЛА), наземні роботизовані та автономні системи (роботи, автономні чи напівавтономні електровантажівки для міської логістики).

2. Розробники програмного забезпечення та платформ. Це компанії та розробники, які створюють цифрові рішення, покликані оптимізувати логістичні процеси. Наприклад, програмне забезпечення для динамічної побудови маршрутів, системи управління транспортом (TMS). Також цифрові платформи для аналітики великих даних та прогнозування попиту.

3. Платформні оператори (агрегатори). Бізнес-моделі таких стартапів побудовані на основі цифрових платформ. Вони агрегують попит та пропозицію послуг доставки і часто використовують модель економіки спільної участі.

4. Логістичні оператори нового покоління. Компанії, що обирають гібридний підхід до надання послуг через комбінації використання платформних рішень та володіння фізичними активами. Часто це стартапи, що за допомогою технологічних рішень прагнуть надати найкращі варіанти послуг на етапі «останньої милі» для найбільшої задоволеності клієнтів та сталого розвитку компанії.

Для багатьох сучасних транспортних стартапів основним інструментом досягнення успіху є сучасні технологічні платформи. Подібні платформи володіють розумними алгоритмами, здатними автоматизувати весь процес, надають зручний інтерфейс для клієнтів та кур'єрів. Це точка в процесах, де очікування замовників (клієнтів) збігаються з можливостями логістичного оператора. Ці стартапи за своїми операційними моделями більше схожі на IT-компанії, що оперують ринком логістики. Такі рішення є привабливим вибором для клієнтів та серйозною конкурентною перевагою на ринку.

Розвиток подібних онлайн-платформ створює конкурентний тиск з боку компаній, що працюють без власних активів (або з невеликою їх часткою). Завдяки своїй гнучкості стартапи можуть швидко збільшувати або зменшувати обсяги діяльності, орієнтуючись на попит, при цьому коригуючи свої витрати на інфраструктуру. Водночас діяльність традиційних логістичних компаній навантажена високими постійними витратами на утримання власних великих автопарків та складів. Це може кардинально змінити всю галузь. Традиційні логістичні компанії будуть змушені співпрацювати зі стартапами або ж активно впроваджувати схожі рішення та переймати підходи у гнучкості управління активами.

Це доводить, що стартапи є рушійною силою інновацій. Вони об'єднують ринкові можливості, задаючи тенденцію до більш гнучкого та ефективного використання ресурсів. Це підкреслюється обговореннями моделей спільного використання, наприклад, пошто-матів, де компанії можуть бути як власниками, так і орендарями інфраструктури [4, с. 11].

Однією з найпоширеніших моделей є посередництво цифрових платформ у наданні локальних послуг доставки та транспортування. Таку модель називають економікою спільної участі і серед представників — Uber, Deliveroo та Foodora [5, с. 148]. Ці цифрові платформи використовують співпрацю з незалежними кур'єрами для задоволення попиту на доставку. Кур'єри володіють власним транспортом, що розвантажує економічну модель платформи. Ключовою перевагою таких моделей є висока гнучкість та масштабованість. Це дозволяє компаніям швидко адаптуватися до коливань попиту. Також така гнучкість закладає потенціал для зниження витрат на доставку до 30% порівняно з утриманням власного автопарку та штату кур'єрів [3]. Проте в такій моделі існує певна напруженість та суперечність. Бізнес через свій геном стартапу та жорстку конкуренцію прагне легко масштабувати свої процеси та їх навантаження, однак не гарантує кур'єрам постійної зайнятості та соціальних гарантій. Кур'єри натомість об'єднуються, щоб вести переговори про справедливі стандарти [5, с. 149]. Жорстка цінова конкуренція між платформами зрештою може нашкодити не лише якості доставки, але й інноваційному потенціалу всієї галузі. Ринок обов'язково відреагує на це зменшенням попиту та відсіюванням слабких бізнесів.

Технологічні інновації та гнучкість дають стартапам перевагу на ринку «останньої милі». Залучення великої кількості кур'єрів на умовах часткової зайнятості створюють простір для швидкої та дешевої адаптації до змін попиту. Така оптимізація процесів та автоматизація дає платформам можливості для значного зниження витрат [3; 5, с. 152].

Водночас транспортні стартапи стикаються з такими проблемами:

1. Кур'єри працюють у важких умовах при слабкому соціальному захисті. Працівники самі несуть відповідальність за свій робочий простір та транспорт. Вони часто працюють за різних погодних умов та під тиском часових обмежень [5, с. 152–153].

2. Контроль якості послуг. Велика кількість незалежних кур'єрів створює великий рівень складності контролю якості надання послуг.

3. Регуляторне середовище. Законодавство часто неадаптоване або нечітко регулює впровадження новітніх технологій (дрони, автономний транспорт [6, с. 8]) або інвазійних бізнес-моделей.

4. Фінансування та прибутковість. Цінові війни часто ускладнюють стабільність фінансування та досягнення операційної прибутковості [7].

5) Технологічні складності. Розробка та підтримка складних ІТ-платформ є серйозним викликом для команд, які прагнуть надавати надійні рішення.

Висновки. Технологічна перевага перетворює транспортні стартапи на рушійну силу інновацій у сфері доставки «останньої милі». Їх стабільний успіх залежить також від інших факторів. З'являється необхідність ефективно розв'язувати операційні,

фінансові та соціальні питання. Щоб уникнути законодавчих обмежень та погіршення іміджу, транспортні стартапи повинні також опікуватись умовами праці та наданням соціальних гарантій для кур'єрів. У перегонах за стабільним зростанням та лояльністю клієнтів компаніям варто також здобувати лояльність підрядників (кур'єрів), запровадивши для них більш справедливі і стабільні умови.

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. Sarkis J. Supply chain sustainability: Learning from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*. 2020. Vol. 41 (1). P. 63–73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
2. Last mile share of total shipping costs 2018–2023. *Statista*. 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/1434298/last-mile-share-of-total-shipping-costs/> (дата звернення: 01.06.2025).
3. Last-Mile Delivery Challenges and Innovative Solutions. *Global Trade Mag*. 2025. URL: <https://www.globaltrademag.com/last-mile-delivery-challenges-and-innovative-solutions/> (дата звернення: 01.06.2025).
4. Faugere L., Montreuil B. Hyperconnected city logistics: smart lockers terminals & last mile delivery networks. *3rd International Physical Internet Conference (IPIC 2016)*. Atlanta, 2016. P. 1–14. URL: https://ipic2016.pi.events/sites/default/files/downloads/IPIC2016-Workshop_TP1.pdf (дата звернення: 01.06.2025).
5. Banasiak S., Jesnes K. Riding the Waves of Precarity: Understanding the Impact of Platform Work in Food Delivery. *Scrutinising polarisation*. 2024. P. 147–164. DOI: 10.4324/9781003412861-9.
6. Autonomous last-mile delivery robots: a literature review / E. Alverhed, S. Hellgren, H. Isaksson et al. *European Transport Research Review*. 2024. Vol. 16, № 1. Art. 4. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00629-7>.
7. AI-Driven Demand Forecasting: Enhancing Accuracy in Supply Chain Planning / A. Kumar et al. *ResearchGate*. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/389987705_AI-Driven_Demand_Forecasting_Enhancing_Accuracy_in_Supply_Chain_Planning (дата звернення: 01.06.2025).

UDC 159.954:159.923.2

Hlynska Olha

Tattoo Artist at Olya Lion Art LLC (USA)

Bachelor's Degree in Tourism

Lviv Polytechnic National University

ORCID: 0009-0008-7106-9888

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12148>

МЕДИЧНІ НАУКИ

CREATIVITY REQUIRES SLOWNESS AND INNER BALANCE IN A FAST-PACED WORLD

Summary. On the rise technological, social and cultural changes put pressure on humans to be fast, and always creating. This work considers the tension between the insatiable drive of the rapid and frantic world, and the intrinsic needs for creative processes and argues that creativity involves the need for slowness, psychological space, and internal equilibrium. Referring to interdisciplinary literature, particularly work on tattooing, which represents a form of embodied creative practice, we situate the field of creativity not as an output process oriented toward creating, but as a process of making meaning inextricably connected to identity, embodiment, and emotional regulation. Drawing on cultural anthropology, psychology, and expressive therapies, the analysis helps to demonstrate that artistic processes, such as tattoo art, are reflective processes, symbolic integration, and personal transformation. These are incompatible processes with rapid production cycles and trends. The research indicates that burnout, lack of authenticity and decreased creative depth are all prevalent effects of speed-oriented systems. The study develops an interpretive framework underscoring "creative deceleration" as a must-have condition for meaningfully producing art. Not only does the suggestion of prioritizing process over immediate results, and moving creative work closer to internal balance, improve psychological well-being through which artists seek authenticity. The paper intervenes in other aspects of the literature by redefining creativity as a temporally sensitive and psychologically situated construct, rather than a measure of productivity.

Key words: Creativity, Creative process, Slowness, Inner balance, Burnout, Meaning-making, Identity construction, Embodied creativity, Tattooing, Self-expression, Intrinsic motivation, Creative authenticity, Cultural influence, Psychological well-being, Creative deceleration framework.

Introduction. The modern age is one of unprecedented rapidity. As a consequence of digital technologies, social media ecosystems and globalized cultural flows the speed of communication, production and consumption accelerated drastically. Within this context, creative people are facing mounting pressures to produce quickly, be perpetually shown in front of anyone and adhere their work to ever-changing trends. This can be interesting work because at the same time making such dynamics potentially more presentable and accessible, they also create conditions for more genuine creative practices.

Creativity (art and artifice as it is conventionally conceived) has never been only imagined in terms of production but of cognition, emotion, identity and culture. Tattoos and other forms of making offer a particularly powerful way of viewing this cross-fertilization. Tattooing is a highly cognitive and embodied brand of creative practice, characterized by artistic choices that are intimately linked to self-realization, self-definition and enduring symbolic importance [5; 8]. Tattoos are not fast-consuming paintings, they require

a level of permanence, an intention (as in feeling) and a feeling of something, in terms of the human psyche (like emotion, memory). Yet, the contemporary creative process frequently values velocity more than substance.

Artists may feel it's important to be trendy, to have one's share a lot of media, to produce a lot of content and to keep their visibility metrics optimized rather than slow down introspectively. So there's this dichotomy between an external drive with everyone else's expectations and an internal one with creative needs. It is suggested as the result that creativity is often tied into meaning making, emotion processing, and identity building [3; 14] in that it takes time and time in its own right and takes up mental space. The ever-growing issue of burnout among artistic professionals serves as a testament to the ramifications of this disparity.

The impetus for expeditious and on-going production may not only be detrimental to intrinsic motivation but can also limit creative authenticity and contribute to psychological burnout (See Figure 1).



Fig. 1. The Pressure of a Fast World vs the Inner Creative State

Source: photo from internet

Discoveries in body modification and creative expression demonstrate the extent to which genuine creative practice is underpinned by internal factors of self-expression, healing and identity-affirming factors [1; 11].

This paper sees creativity as a function of slowness and inner balance. Taking tattooing as a case in point, this paper shows that deep and authentic creative practice comes to pass only when you are reflecting and process-oriented. The research goes on to show that a need to reclaim one's temporal space as well as the practice of a preference for internal alignment, rather than external trends, means that both creative quality and psychological well-being need to be maintained.

Literature Review

1. Creativity as Meaning-Making and Identity Construction

A substantial amount of literature conceptualizes creativity as not just production but rather a process of meaning-making. This perspective is strikingly clear in tattooing. Tattoos serve as a symbolic embodiment of personal narrative, identity, and transformation [5; 8]. People tattoo for more than making decorators, but also for constructing and articulating meaning through visual and bodily expressions.

Carpentier (2023) has highlighted the therapeutic aspect of self-expression as a process, and asserts that art-making provides the means through which the processing of emotional responses, the integration

of an individual's experiences, and the re-creation of identity occur [3]. Per Pankiv-Greene (2023), tattoos are transformative symbols — the visible product of internal psychological changes [14].

These results imply that creativity is naturally reflective and involves some time for internal processing. Tattooing has, at a broader cultural level, been a source of identity or social belonging [7; 9]. This points up how cultural, psychological and structural factors heavily influence creativity, thus going against the belief that creativity may be developed at speed, without it losing meaning.

2. The Psychological Functions of Creative Practices

Psychological regulation and well-being are closely linked to creative practices. Research shows that creative expression can help people vent their emotions, lower stress levels, and promote psychological resilience [11; 17]. Tattooing especially has been linked to processes of healing, body reclamation, and identity affirmation [8; 10].

The psychological function of body modification has been widely explored. Weiler et al. (2025) argue that body alterations serve as mechanisms for self-regulation and identity stabilization [19]. Likewise, DeMeola (2018) conceptualizes tattooing as a transformative process that enables individuals to integrate internal experiences into external forms [6]. Crucially, these processes need time, reflection, and emotional engagement.



Fig. 2. Creativity as an Internal Process (Embodied Meaning-Making)

Source: photo from internet

Rapid or externally driven creative production may disrupt these mechanisms, resulting in superficial or inauthentic outcomes. This is consistent with self-determination theory, which stresses the significance of intrinsic motivation and autonomy in sustaining meaningful behavior [18].

3. The Impact of Speed and External Pressures on Creativity

Modern life hastens the pace of evolution, and that poses major challenges to creative processes. Fast is more desirable than deep at all levels of performance, but social media exposure, time-varying trends, or economic imperatives often do not let that matter. And this shifts intrinsic to extrinsic motivation, and in so doing, can deteriorate the quality and authenticity of creative work. Such studies imply that people use creative behaviours to be unique, as well as gain social validation [2; 20].

Yet the push to be outside-in is a slippery slope and once the external validation comes in the middle of creativity the creativity becomes performative, or not authentic. Further, evidence suggests that cultural trends largely shape artistic choices. Clemmensen et al. (2025) demonstrate that much of tattooing is culturally-based, implying, of course, that people may adopt designs to match social trends without personal meaning [4]. Not that such practices don't have value, but it's a reflection of the push-pull between authenticity and fitting into the box.

Tattoos have increased among younger populations, revealing the prevalence of cultural desensitization and commodification of artistic expression [13]. The new reality seems more sinister: The symbolic

implications of tattooing may be diluted through rapid consumption and trendiness.

4. Burnout and the Loss of Creative Authenticity

The expectations for speedy output and predictability can cause creativity specialists to get burnout. Burnout involves emotional exhaustion, loss of motivation, and less of an individual's feeling that, for whatever reason, they succeed at that task. In terms of creativity, it can result in loss of inspiration and/or a formulaic or redundant output.

In fact, studies have shown that creativity practices work best when it is motivated by people, internal motivation and psychological needs [1]. Then, when these practices come at people from without (external pressurizing forces), they can lead to cognitive overload and decreased emotional engagement (See Figure 3). Moreover, the commodification of creativity can turn individuals from artists to free-market users. Owens et al. (2023) say how historical perceptions of body modification as deviant changed into mainstream acceptance, accompanied by commercialization [12]. Now this change can lead to the loss of personal significance in creative activities.

5. Creativity, Slowness, and Internal Balance

The literature support is growing in favor of the concept of time and psychological space being essential to creativity. The slow approach allows an individual to take a thoughtful look at their thoughts, feelings, and sense of self. This is particularly obvious in tattooing, which requires the result to be intentional and considerate due to permanence.



Fig. 3. Burnout vs Sustainable Creativity

Source: photo from internet

Rees (2021) argues that contemporary tattooing has found authenticity through authenticity and that meaningful artistic creation results from personal engagement, not as an example of trend alignment [15]. Likewise, Roux and Belk (2019) situate the body as a space of meaning production whereby creative actions render the physical space into symbolic narratives [16]. The notion of “creative deceleration” arises as a critical response to the challenges posed by contemporary existence. Gradually slowing things down helps reconnect people with their inner motivations, control their emotional responses, and produce more meaningful and authentic work (See Table 1).

Methodology. The study uses qualitative interpretive research design to explore creativity, temporal dynamics, and psychological balance in modernity. Instead of employing an empirical or ‘measureful’ approach, the study blends theoretical and empirical insights from various disciplines, centred on tattooing as an exemplar of embodied creative practice. This methodological focus is based upon conceptual analysis and thematic synthesis. By analyzing these key themes, the authors tried to uncover themes that re-emerged on creativity, identity construction, psychological regulation, and cultural influence. There are three stages to the analysis.

The literature was initially grouped into thematic clusters as follows: (1) creativity as meaning-making; (2) psychological functions of creative practices; (3) external pressures and acceleration; and (4) authenticity and internal balance. The second step was to interrogate and interpret these themes critically to recognize patterns, contradictions, and gaps. Third, an integrative framework was established to help conceptualize the intersection of creative processes and temporal conditions. The author’s contribution entails elaborating the “creative deceleration” framework that puts slowness and internal balance within the context of meaningful creativity.

Drawing from and applying to the literature, this framework provides a theoretical lens that can contextualize the influences of speed on creative practice at present in contemporary creative spaces.

Results. The analysis uncovers five key findings on the relation between creativity, speed, and psychological balance.

First, a process rather than an outcome must be understood about creativity all through the years. Creative processes (in particular, tattooing) are linked with meaning-making, identity construction, and emotional integration throughout the literature [5; 8]. Processes like this take time and cannot best be compressed into short, fast production cycles.

Second, psychological well-being is inseparable from how well creative engagement performs. When

Table 1

Thematic Categorization of Sources

Theme	Key Sources	Core Contribution
Meaning-making & identity	Dann & Callaghan (2019); Ifrach (2025); Rees (2021)	Creativity as identity construction
Psychological function	Carpentier (2023); McCandlish & Pearson (2023); Solano-Ruiz et al. (2025)	Creativity as emotional regulation
Cultural influence	Clemmensen et al. (2025); Palese & Valent (2025); Ghosh (2020)	Creativity shaped by social trends
Body & transformation	Lefebvre (2024); DeMeola (2018); Weiler et al. (2025)	Embodied creativity and transformation
Motivation & pressure	Atli et al. (2022); Teixeira et al. (2020); Breivik et al. (2022)	Intrinsic vs extrinsic drivers

Source: author’s development

creative practices are internally motivated and reflective, emotional regulation and emotional resilience develops [11; 17]. Outside creativity — on the basis of trends, or social affirmation — leads to superficial results (and some psychological stress).

Third, the speed of contemporary life imposes drastic disturbances on creative processes. We feel pressure not to produce, and the results we get can often look too shallow, not authentic enough, and burnout is likely to be a result. This becomes all the more clear when all this is done in environments focused more on being seen and output than quality and purpose.

Fourth, there's a twofold function of the cultural and social. They are, they may put meaning and imagination there and they may also constrain art making as freedom is being stifled. The rise in normalization and commodification of tattooing demonstrate the ways that creativity can move from intimate acts of creativity to commodities [4; 13].

The final message of the current findings is that slowness and internal balance, which the study presents here, are critical to creative processes. Practices that enable reflection, emotion and self-congruence are more authentic and psychologically healthier.

The result of this study reveals a central inconsistency of contemporary creative settings, that the creative process is slow, introspective and ultimately self-driven, yet in contemporary institutions, we can find more and more systems requiring speed, exposure and external recognition. Such contradiction has implications which are grave on the quality of creative output and the psychological health of people with the creative potential. This is the core idea of creativity as progression not result in the discussion of creativity.

This principle is best illustrated by the use of artistic and artistic arts like tattooing. Tattoos are also not simply visual artifacts; they are products of many years of self-reflection, emotional processing and identity negotiation [8; 14]. Tattoos are permanent objects of concern; the fact that they require

careful thoughtfulness, they're not fit for quick fix production.

This wisdom touches on creativity more generally, not just tattooing. Creative work that is hastily or imposed from outside, runs the risk of losing its depth, and of losing its authenticity. The transformation of intrinsic to extrinsic motivation is also a big issue. For self-determination theory, intrinsic motivation is critical for maintaining engagement and well-being [18].

When people produce only to satisfy societal standards, what it creates, their level of enjoyment in the creative process decreases, which brings them into greater difficulty with high level of burnout. Burnout represents a key feature of fast-paced workspaces. The relentless pressure to produce, along with pressure to stay timely in rapidly evolving cultural environments, results in a vicious circle of exhaustion and stifled creativity. This is consistent with externalized creative practices having less emotional involvement and more psychological strain in humans [1]. The influence of culture also complicates this process. Culture can be an impetus towards creativity as well as a bane to it. The normalisation/commercialisation of tattoo shows how creative practices are standardized and commodified [13].

In such cases, people may give preference to adhering, and lose meaning. This proposal focuses on these challenges and has led to the idea of what one may call a "creative deceleration" framework, whereby slowness serves to center our mind and body, encouraging balance within (See Table 2). The theory posits that meaningful creativity demands intentionally disconnecting from dynamic systems, and instead engaging again in reflective, process-oriented activities.

This framework also has some implications for creative individuals. At the very least, it promotes a preference for process ahead of results. To improve the quality and authenticity of their work, people need to concentrate on the process rather than the product. Second, it emphasizes the necessity of psychological

Table 2

Comparison of Fast vs Slow Creative Paradigms

Dimension	Fast Creativity (Acceleration Model)	Slow Creativity (Deceleration Model)
Primary Driver	External pressure (trends, visibility)	Internal motivation (meaning, identity)
Temporal Orientation	Immediate output, short cycles	Long-term process, reflection
Creative Depth	Superficial, repetitive	Deep, symbolic, original
Psychological Impact	Burnout, stress, detachment	Balance, fulfillment, resilience
Relationship to Trends	Conformity, imitation	Selective integration or rejection
Identity Integration	Weak or fragmented	Strong, coherent, embodied
Output Quality	High quantity, variable quality	Lower quantity, high authenticity
Sustainability	Unsustainable long-term	Sustainable creative practice

Source: author's development

harmony. Practices like reflection, mindfulness, and purposefully staying away from outside pressures can advance creative health and well-being.

Third, the framework resists typical stories of productivity. In a culture that links speed to success, to slow down seems wasteful. However, the study suggests slowness is not a constraint. It is fundamental to real creativity. Finally, the message of this discussion is for systemic change to happen.

The focus on production and visibility is something that creative industries and platforms need to move past. In this way they will be able to facilitate greater sustainable and authentic creative activities by developing environments of reflection and motivation from inside.

Conclusions. As this paper shows, creativity is dependent on slowness, psychological space, and internal balance. To answer these, in contrast with the pressure of modern society, effective creative processes cannot happen all at once; on a more thoughtful and meaningful basis, they are only possible through

slow and thoughtful reflection, emotional involvement, and identity integration. This investigation of tattooing as an embodied creative practice illustrates the richness of the creativity involved. This shows that genuine creative expressions are based on internal motives and can never be boiled down to fast production or trend alignment. But the rising need to create quickly comes with its own set of risks including burnout, loss of authenticity, and diminished creative quality. The “creative deceleration” model offered in the latter is a theoretical blueprint which will aid in grappling with the challenges presented in turn. It is a way for both creativity and well-being to be sustained by focusing instead on process rather than output and balance instead of the trends. Finally, this paper urges us to rethink our views of creativity in the contemporary world in order to redefine creativity and practice as it is used to describe human creativity. Slowing down isn’t a break from productive activity but a precursor to meaning and longevity in creative output.

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. Atli, A., Akkaya, M., & Şad, S.N. (2022). Tattooing: A popular way of self-expression among university students. *Current Psychology*, 41(12), 8965–8974. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-01389-0>
2. Breivik, G., Sagoe, D., & Loland, S. (2022). Personality and willingness towards performance enhancement and body modification: A cross-sectional survey of a nationally representative sample of Norwegians. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 906634. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.906634>
3. Carpentier, M. (2023). Tattoos and healing: Considerations from an art therapy lens (Expressive Therapies Capstone Theses, No. 697). Lesley University. https://digitalcommons.lesley.edu/expressive_theses/697
4. Clemmensen, S.B., Mengel-From, J., Kaprio, J., Harris, J.R., Frederiksen, H., & von Bornemann Hjelmberg, J. (2025). Tattooing is mainly cultural: A representative twin study of tattooing determinants. *Behavior Genetics*, 55(2), 114–123. <https://doi.org/10.1007/s10519-025-10215-3>
5. Dann, C., & Callaghan, J. (2019). Meaning-making in women’s tattooed bodies. *Social and Personality Psychology Compass*, 13(3), e12438. <https://doi.org/10.1111/spc3.12438>
6. DeMeola, C. (2018). Tattoo: Image and transformation. Pacifica Graduate Institute. <https://www.proquest.com/openview/9183cbcf9b460b001f61c49af4451631/1.pdf>
7. Ghosh, P. (2020). Tattoo: A cultural heritage. *Antrocom: Online Journal of Anthropology*, 16(1). <https://www.antrocom.net/wp/wp-content/uploads/2024/05/ghosh-tattoo-cultural-heritage.pdf>
8. Ifrach, W.R. (2025). Inked identity: An autoethnographic exploration of tattoos as body reclamation, gender affirmation, and healing. *Human Arenas*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s42087-025-00519-5>
9. Krutak, L., & Deter-Wolf, A. (Eds.). (2017). Ancient ink: The archaeology of tattooing. University of Washington Press. <https://doi.org/10.1515/9780295742847>
10. Lefebvre, M. (2024). Healing through ancestral skin marking: Traditional tattooing as healing and (re)connection for Indigenous people (Doctoral dissertation, Concordia University). https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/994581/1/Lefebvre_PhD_F2024.pdf
11. McCandlish, C., & Pearson, M. (2023). Tattoos as symbols—An exploration of the relationship between tattoos and mental health. *The Journal of Mental Health Training, Education and Practice*, 18(3), 217–227. <https://doi.org/10.1108/JMHTEP-07-2022-0057>

12. Owens, R., Filoromo, S. J., Landgraf, L. A., Lynn, C. D., & Smetana, M. R. (2023). Deviance as an historical artefact: A scoping review of psychological studies of body modification. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 33. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01511-6>
13. Palese, F., & Valent, F. (2025). Worldwide prevalence of tattoos with a focus on younger age groups: A literature review. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 61(4), 301–314. https://doi.org/10.4415/ANN_25_04_09
14. Pankiv-Greene, L. (2023). Are tattoos symbols of transformation? *Consciousness, Spirituality & Transpersonal Psychology*, 4, 123–138. <https://doi.org/10.53074/cstp.2023.42>
15. Rees, M. (2021). Tattooing in contemporary society: Identity and authenticity. *Routledge*.
16. Roux, D., & Belk, R. (2019). The body as (another) place: Producing embodied heterotopias through tattooing. *Journal of Consumer Research*, 46(3), 483–507.
17. Solano-Ruiz, M., Gutiérrez-García, A. I., Siles-González, J., & Andina-Díaz, E. (2025). Body transformations: An opportunity to work on the ethical perspective through photovoice and bodymapping. *Nurse Education Today*, 144, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2024.106456>
18. Teixeira, P. J., Marques, M. M., Silva, M. N., Brunet, J., Duda, J. L., Haerens, L., & Hagger, M. S. (2020). A classification of motivation and behavior change techniques used in self-determination theory-based interventions in health contexts. *Motivation Science*, 6(4), 438. <http://dx.doi.org/10.1037/mot0000172>
19. Weiler, S. M., Mühlenbeck, C., & Jacobsen, T. (2025). Body alteration: On the mental function of body modification and body decoration. *Culture & Psychology*, 31(1), 181–223. <https://doi.org/10.1177/1354067X241242414>
20. Weiler, S. M., Tetzlaff, B. O., Herzberg, P. Y., & Jacobsen, T. (2021). When personality gets under the skin: Need for uniqueness and body modifications. *PLoS ONE*, 16(3), e0245158. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245158>

Vasylchenko Viktoriia*Engineering Specialist**State Academy of Railway Transport*

ORCID: 0009-0009-5747-0672

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12149>

EVALUATION OF MODERN PERMANENT MAKEUP METHODS IN ACHIEVING NATURAL-LOOKING FACIAL AESTHETIC ENHANCEMENT

Summary. *Background:* The central aesthetic goal of permanent makeup (PMU) is the simulation of natural facial enhancement – results that appear inherent to the individual rather than applied. Yet the techniques most widely practiced in the field produce healed outcomes that routinely fall short of this standard: over-saturated, tonally shifted, gradient-absent results that read as artificial. *Objective:* This paper evaluates the capacity of modern PMU methods to achieve natural-looking facial aesthetic enhancement, with specific focus on permanent lip makeup. It examines the structural features of conventional techniques that limit naturalistic outcomes and presents an evidence-based assessment of how a layered, parameter-governed methodology addresses each limitation. *Methods:* The analysis draws on peer-reviewed literature in dermatology, aesthetic surgery, and pigment science, integrated with clinical methodology developed by the author through more than eleven years of specialized practice and over 2,000 lip procedures. *Results:* Natural-looking outcomes in permanent lip makeup are determined by four primary variables: tonal accuracy, gradient quality, border softness, and skin-tone adaptability. Conventional single-pass techniques manage none of these systematically. *Conclusion:* Achieving natural-looking PMU results requires a methodology that addresses each determinant of naturalism through structured, parameter-defined clinical protocols.

Keywords: permanent makeup, natural aesthetics, lip PMU, facial enhancement, pigment retention, gradient technique, aesthetic outcomes, micropigmentation.

Introduction. The concept of “natural-looking” is the most frequently cited aesthetic goal in client consultations for permanent makeup, and yet it is the least operationalized concept in the field’s technical literature. Clients who describe a desire for results that appear as their own, enhanced but not visibly treated, are articulating a standard that depends on several specific technical variables: that the healed color accurately reflects the intended shade rather than shifting toward an unintended tone; that the transition from pigmented to unpigmented tissue is gradual and soft rather than abrupt; that the density of implanted pigment is modulated across the treatment zone to simulate natural variation; and that the overall result is congruent with the client’s individual skin tone, facial anatomy, and natural pigmentation. Conventional PMU approaches do not address these variables systematically, and the gap between the natural-looking standard clients articulate and the results that standard techniques produce is a well-documented feature of the field’s complication literature [10; 19].

The aesthetic stakes of this gap extend beyond client satisfaction. Singh et al. establish through an

empirical aesthetic database study that lip definition, symmetry, and tonal quality are among the highest-weighted contributors to perceived facial attractiveness, situating permanent lip makeup among the most aesthetically consequential procedures in the cosmetic domain [23]. Ebrahimzadeh Ardakani et al. demonstrate that outcomes of minor facial cosmetic procedures have measurable impact on self-esteem and quality of life, with unsatisfactory results producing statistically significant negative effects [7]. The combination of high aesthetic significance and significant psychosocial impact makes the question of how PMU techniques achieve naturalistic outcomes a matter of clinical importance, not merely technical preference.

The historical trajectory of permanent makeup practice offers limited guidance on this question. Zhitny and Iftekhar trace the origins of cosmetic tattooing to ancient practice traditions, noting that aesthetic standards and technical capabilities have evolved substantially over centuries [27]. The contemporary field, however, has developed in a context of rapid commercialization and limited academic oversight: technique proliferation has outpaced technical

standardization, and the “natural-looking” standard has remained an aspirational description rather than a defined clinical target [14].

This paper addresses the naturalism gap through a structured evaluation of modern permanent lip makeup techniques against an explicit set of naturalism criteria. Drawing on the author’s “From Nude to Lipstick” methodology [26], developed through more than eleven years of clinical specialization and over 2,000 lip procedures, and situating it within the relevant peer-reviewed literature, the paper identifies the structural features of technique that determine naturalistic outcomes and evaluates the degree to which contemporary PMU methods succeed in producing them. The aim is to establish a framework for evaluating PMU naturalism that is both clinically grounded and technically actionable.

Literature Review. Defining Natural-Looking Outcomes in PMU: An Absent Standard. A foundational observation of this analysis is that the concept of “natural-looking” outcomes in PMU has not been formally defined in the peer-reviewed literature. Ghafari et al., in the most comprehensive recent review of PMU technique and complications, describe outcome categories in terms of technique type, lip blush, ombré, microblading, rather than aesthetic outcome criteria [10]. Kerure et al. similarly review micropigmentation without establishing a clinical standard for naturalistic results [14]. The absence of a shared definitional framework means that practitioners and researchers lack agreed-upon criteria for evaluating whether a given technique’s outcomes qualify as natural-looking, a gap that this paper addresses directly.

Singh et al. offer the most relevant empirical contribution to defining naturalistic facial aesthetics, establishing through a database study of aesthetic attribute correlations that lip symmetry, definition clarity, and color harmony are the strongest predictors of perceived attractiveness [23]. These findings provide an implicit framework for naturalism: a lip PMU result that preserves or enhances symmetry, produces a clearly but softly defined border, and achieves color harmony with the client’s individual complexion reads as natural; one that produces asymmetry, a hard border, or a tonally incongruent color does not. Kim and Kwon document that consumer demand for PMU procedures has been substantially driven by a desire for effortless, maintenance-free natural appearance, reinforcing that naturalism is not a niche preference but the dominant aesthetic expectation in the current market [15].

Technique Variables That Determine Naturalistic Outcomes. The dermatological and PMU technique literature identifies four primary variables that determine the naturalistic quality of healed permanent lip makeup outcomes: tonal accuracy, gradient quality, border softness, and skin-tone adaptability. Each is independently determinative, and conventional

technique approaches manage none of them systematically.

Tonal accuracy refers to the correspondence between the intended healed color and the actual healed result. Andreou et al. document that PMU pigment color shifts during healing through immune-mediated encapsulation and UV-induced photodegradation, processes that disproportionately affect warm-toned pigments on cool-undertoned tissue [1]. Colboc et al. establish at the chemical level that the dermal microenvironment actively modifies implanted pigment, with the optical filtering effect of melanin-rich tissue producing the cool tonal shifts that are among the most common sources of client dissatisfaction [5]. Rigali et al. demonstrate that the specific pigment classes used in permanent makeup have differential photostability profiles, with organic pigments prone to color shifts that iron-oxide formulations resist [21].

Gradient quality refers to the smoothness and naturalness of the tonal transition from the saturated lip center to the transparent vermilion border. In living lips, this transition is anatomically inherent: the pigmented mucosa of the lip body grades imperceptibly into the thinner, more translucent tissue of the vermilion border. Replicating this natural gradient in PMU requires deliberate technique architecture, as Hvas and Serup establish, needle selection, voltage, hand speed, and direction of movement each independently influence the sharpness or softness of tonal transitions in cosmetic tattooing [12]. Pachten et al. document the mechanical properties of different needle configurations, confirming that round liner needles produce softer, more diffuse pigment deposition than round shaders or magnums, making them the appropriate choice for border zone application where gradient softness is the primary technical requirement [18].

Border softness refers specifically to the definition quality of the vermilion border, the line between the lip and surrounding skin. Marwah et al. establish that penetration depth and lateral pigment spread are determined by applied pressure and needle geometry, with over-penetration at the border producing the migration and blur that is among the most visually disruptive failures of lip PMU naturalism [16]. Tomita et al. document border-related complications in cosmetic tattoo procedures for the face, noting that technique-anatomy mismatch at high-visibility zones is a primary mechanism of outcome failure [25].

Skin-tone adaptability refers to the technique’s capacity to produce consistently naturalistic results across the full range of client phototypes and undertones. Harvey et al. and Cohen et al. argue that clinical tools for skin color assessment must extend beyond broad Fitzpatrick categories to capture undertone variability, which is the most clinically significant pigmentary variable for PMU outcome prediction [4; 11]. Farré et al. establish the genetic basis

for phototype variability, underscoring that skin tone is not a simple categorical variable but a continuous biological characteristic with predictable implications for dermal pigment behavior [8].

The Psychosocial Dimension of Naturalism. The clinical importance of naturalistic PMU outcomes is not confined to aesthetics; it has a documented psychosocial dimension that elevates its status as a clinical concern. Ebrahimzadeh Ardakani et al. demonstrate that satisfaction with minor facial cosmetic procedures is directly linked to self-esteem and social functioning, with unsatisfactory results producing measurable negative impact across both domains [7]. Pióro et al. extend this finding to the removal context, demonstrating through a WHOQOL-BREF-based study that the persistence of unsatisfactory PMU, and the experience of seeking its removal produces quality-of-life decrements comparable to those associated with more significant medical conditions [19].

These findings situate the naturalism standard not as a cosmetic preference but as a clinical outcome measure. A PMU result that fails the naturalism test, one that is visibly artificial, tonally incongruent, or technically imprecise, is not merely an aesthetic disappointment; it is a clinical failure with measurable patient consequences. Pióro et al. establish that pigment density and composition are primary predictors of removal difficulty, creating a direct clinical incentive for naturalistic implantation parameters: the low-density, zone-differentiated approach that produces the most natural healed result is also the approach that produces the most correctable one if revision is needed [20].

Complications as Evidence of Naturalism Failure. The complication literature provides a further line of evidence for the clinical significance of naturalism failure. Dodig et al. document the full spectrum of adverse reactions in cosmetic tattooing, distinguishing complications attributable to pigment chemistry from those attributable to technique variables [6]. Ibraheim et al. and Suleman et al. report granulomatous reactions in PMU clients, establishing high implantation density as a primary risk factor, directly linking the over-saturation that produces non-natural results with an elevated complication profile [13, 24]. Chalarca-Cañas et al. provide a histopathological analysis of tattoo-related complications, confirming that pigment density and depth are the primary tissue-level determinants of inflammatory response [3].

Argobi et al. document safety and awareness deficits among PMU practitioners [2], and Shishak and Kuthial identify inadequate training as the primary predictor of microblading complications, a finding applicable to lip PMU, where the relationship between technique precision and clinical outcome is equally direct [22]. Geisler et al. confirm that laser removal of PMU is substantially more complex for high-density implantations and certain pigment classes,

establishing a technical-correctability dimension to naturalism that reinforces the clinical value of low-density, parameter-governed application from the outset [9].

Methodology. The evaluative framework of this paper is built upon two integrated components. The first is the author's clinical methodology, "From Nude to Lipstick" [26], which provides the primary technical comparator for the naturalism evaluation. Developed through more than eleven years of specialized permanent lip makeup practice encompassing over 2,000 procedures, this methodology emerged from the author's direct clinical observation of the naturalism failures produced by conventional PMU approaches and from the iterative development of technique architecture specifically designed to address them.

Four naturalism criteria, tonal accuracy, gradient quality, border softness, and skin-tone adaptability, were identified by the author as the primary determinants of whether a healed lip PMU result reads as natural or artificial. These criteria were derived from clinical observation across a large and diverse client population and are validated by the dermatological and aesthetic literature reviewed in Section 2. Each criterion maps onto a specific structural component of the author's methodology: tonal accuracy is addressed by the neutralization protocol; gradient quality by the three-layer implantation architecture and formalized gradient construction layer; border softness by the anatomy-specific technique parameters for the vermilion zone; and skin-tone adaptability by the phototype-stratified neutralization framework.

The peer-reviewed literature serves as the external validation framework for this analysis. Published findings on pigment chemistry, tissue-anatomy interaction, and complication profiles are examined for their correspondence with the naturalism criteria identified by the author and with the clinical principles embedded in the methodology. The five common failure modes identified in the Findings section (Section 4) were derived from the author's clinical practice and are cross-referenced against the complication and outcome literature to establish their generalizability beyond the author's own caseload. The comparative assessment presented in Table 1 draws on the author's direct technical knowledge of each technique category, corroborated by the technique descriptions and outcome data available in the published literature.

Results. Comparative Naturalism Assessment Across PMU Techniques. Table 1 presents a comparative assessment of four contemporary permanent lip makeup technique categories against the four naturalism criteria. The assessment draws on the technical descriptions and outcome data available in the published literature and on the author's clinical evaluation of each technique category.

The comparative assessment demonstrates a clear performance gradient: standard lip blush and

Table 1

Comparative Naturalism Assessment of Contemporary Permanent Lip Makeup Techniques

Technique	Border Softness	Tonal Accuracy (healed)	Gradient Quality	Skin-Tone Adaptability	Overall Naturalism
Standard Lip Blush	Low–Moderate	Variable (cool shift common)	Minimal / absent	Poor (FP IV–VI)	★★☆☆☆
Ombre / Aquarelle	Moderate	Moderate (undertone-dependent)	Moderate (single-pass)	Moderate (FP I–III best)	★★★★☆
Full-saturation (traditional)	Low (hard border typical)	High initial / fades dense	Absent	Poor across all FP	★★☆☆☆
From Nude to Lipstick (layered)	High (1–2 mm sheer zone)	High (neutralization protocol)	High (formalized 3-layer)	High (FP I–VI protocol-guided)	★★★★★

Source: Ratings reflect healed outcome quality across the four naturalism criteria. FP = Fitzpatrick phototype. Star ratings are qualitative assessments based on published technique descriptions and clinical evaluation. “From Nude to Lipstick” ratings based on Vasylichenko [26]

traditional full-saturation approaches consistently produce the least naturalistic results across all four criteria, while the layered methodology achieves high performance across all. The ombre/aquarelle category represents an intermediate approach that improves gradient quality over standard blush but retains the fundamental limitations of single-pass implantation, particularly for darker phototypes where undertone-related tonal shift remains unmanaged.

Naturalism Failure Modes and Their Structural Origins. Table 2 presents the five most clinically prevalent naturalism failure modes identified through the author’s clinical practice and corroborated by the literature, with their structural causes in conventional technique and the specific methodological responses developed to address them.

The five failure modes documented in Table 2 share a common structural origin: they are each produced by the absence of a specific clinical protocol in conventional technique, not by technical error within a defined protocol. This distinction is clinically

important: it means that the naturalism failures of conventional PMU are not correctable through improved execution of the same technique, but require a fundamentally different technique architecture (See Figure 1).

Discussion. *Naturalism as a Clinical Standard, Not an Aesthetic Preference.* The central argument of this paper is that natural-looking outcomes in permanent lip makeup are not an aesthetic preference to be balanced against other considerations, they are the primary clinical standard against which technique efficacy should be evaluated. This argument is supported by the psychosocial evidence reviewed in Section 2: the documented negative impact of non-natural PMU outcomes on self-esteem [7], quality of life [19], and the clinical complexity of correction [9] establishes that naturalism failure has consequences extending well beyond aesthetic disappointment. A technique that reliably produces non-natural results is a clinically inadequate technique, regardless of its technical simplicity or widespread adoption.

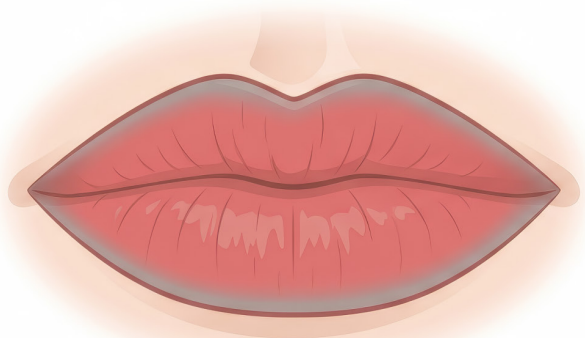
Table 2

Naturalism Failure Modes, Structural Causes, and Methodological Responses

Failure Mode	Clinical Presentation	Structural Cause in Conventional Technique	Methodological Response [26]
Tonal shift	Healed color reads blue, gray, or purple	No undertone assessment; warm pigment optically neutralized by cool dermal melanin	Three-step neutralization protocol before target shade
Over-saturation	Dense, opaque, artificial appearance	Single-pass high-voltage application; no density modulation by zone	Three-layer implantation with zone-specific density targets
Border blur / migration	Undefined vermilion edge; pigment spread	Central-zone parameters applied to thin border tissue; over-penetration	1003RL at 5.5–6.5V for border zone; 1–2 mm sheer gradient specification
Gradient absence	Flat, uniform saturation; non-dimensional result	No gradient construction protocol; intuitive or absent transition zone	Formalized gradient construction layer: directional, zone-specific, parameter-defined
Asymmetry	Unequal saturation or border definition bilaterally	No systematic sequence or execution criteria per zone	Nine-step non-negotiable procedural sequence with objective execution criteria

Source: Failure modes identified from clinical practice [26] and corroborated by Ghafari et al., Chalarca-Cañas et al., Dodig et al., and Pióro et al. [3; 6; 10; 19]

Conventional single-pass technique result



Layered technique result



Fig. 1. Clinical Lip Technique Comparison Diagram

Source: author's development

The peer-reviewed literature has not previously articulated this standard explicitly, naturalism has been an implicit aspiration in PMU rather than a defined clinical outcome measure. The four-criterion framework proposed in this paper (tonal accuracy, gradient quality, border softness, skin-tone adaptability) represents an attempt to make this standard explicit and evaluable, translating the aesthetic concept of naturalism into clinical criteria that can be operationalized as technique parameters, assessed against defined failure modes, and transmitted through structured professional training.

Why Gradient Construction Is Central to Naturalism. Of the four naturalism criteria, gradient quality is the most technically distinctive, and the most consistently absent in conventional PMU approaches. A natural lip has no hard edges: the transition from the pigmented body of the lip to the surrounding skin occurs gradually, through a zone of progressively decreasing pigment density that is anatomically inherent to the vermilion border. Replicating this transition in PMU is not a matter of artistic skill alone; it requires a deliberate, parameter-defined technique protocol.

The author's formalized gradient construction layer using 1205RS for center-zone directional depth, transitioning to 1003RL for the border zone at reduced voltage and increased hand speed, with all movement directed from the saturated zone outward toward the sheer edge, addresses this requirement precisely [26]. The non-intuitive aspect of this protocol is the directional constraint: hand movement must always proceed from the saturated zone toward the transparent edge, never in reverse. This constraint is not aesthetic preference; it reflects the mechanical reality that reverse movement (from edge toward center) deposits pigment at the border before the gradient has been established, producing the abrupt tonal break that distinguishes an artificial from a natural result.

Hvas and Serup establish that hand speed and direction independently influence pigment distribution in cosmetic tattooing, supporting the technical rationale for the directional parameter [12]. Pachten et al. document that needle configuration determines the sharpness and diffusion radius of pigment deposition, confirming that the round liner's smaller, more precise deposition profile is the appropriate tool for the border zone's naturalism requirements [18]. Together, these findings provide the mechanistic basis for the gradient construction protocol's specific parameters.

The Saturation Classification System and Naturalism Across Outcome Levels. A distinctive feature of the author's methodology is the four-level saturation classification system (Bare Veil, Silk Nude, Velvet Tint, Signature Lip), which establishes that naturalism is not synonymous with minimal intervention. A Signature Lip result, full-saturation, lipstick-equivalent coverage, is fully compatible with naturalistic outcomes if the healed color is tonally accurate, the gradient is properly constructed, and the border is softly defined. Conversely, a Bare Veil result, near-imperceptible second-skin effect, fails the naturalism standard if the healed color has shifted toward an unintended tone or the border has migrated.

This distinction has important clinical implications: it means that the naturalism standard is procedure-type-neutral. Whether a client desires the most minimal enhancement or the fullest lipstick effect, the same four criteria apply, and the same technique architecture, layered implantation, neutralization protocol, anatomy-specific parameters, gradient formalization is required to meet them. This universality is what distinguishes a systematic methodology from a collection of technique options: the methodology's structural components apply across all outcome levels, not only in specific use cases [26].

The Contribution of Reproducibility to Naturalism at Scale. The naturalism standard is not only a single-procedure concern; it is a field-level concern with implications for how PMU practice is trained and evaluated. Argobi et al. identify training adequacy as a primary predictor of PMU outcome quality [2], and Shishak and Kuthial establish that inadequate training is the principal mechanism of microblading complications [22]. These findings apply with equal force to lip PMU: a practitioner who has not been explicitly trained in gradient construction, neutralization protocols, and anatomy-specific technique differentiation cannot be expected to achieve consistently naturalistic results, regardless of procedural volume.

The transmissibility of technique its capacity to be taught, assessed, and replicated across practitioners — is therefore itself a naturalism-relevant variable. Intuition-based gradient construction cannot be standardized; parameter-defined gradient construction can. The difference between these approaches determines not only whether a single practitioner's results are natural-looking, but whether the field as a whole can reliably produce them. As Kim and Kwon (2023) document, consumer demand for natural-looking PMU continues to grow in the post-pandemic aesthetic market, making the field-level implications of reproducible technique increasingly significant [15].

Implications for Clinical Practice and Professional Standards. The evaluation framework presented in this paper, four naturalism criteria, five failure modes, and a structured methodology that addresses each, has direct implications for how permanent

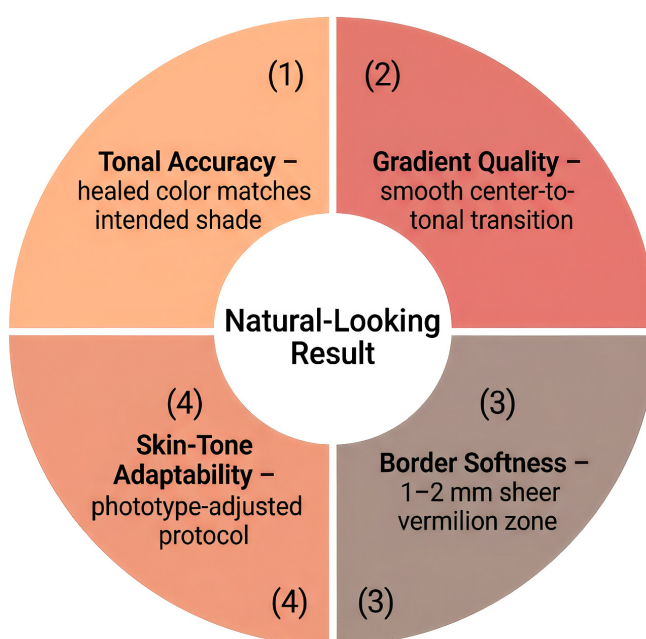


Fig. 2. Naturalism Criteria for Permanent Lip Makeup Infographic

Source: author's development

lip makeup is practiced, taught, and assessed as a professional discipline. At the practice level, the framework provides a pre-procedure evaluation tool: assessing each client against the four naturalism criteria before beginning the procedure allows the practitioner to identify which specific risks (tonal shift, gradient failure, border migration) are most salient for that client's individual phototype and anatomy,

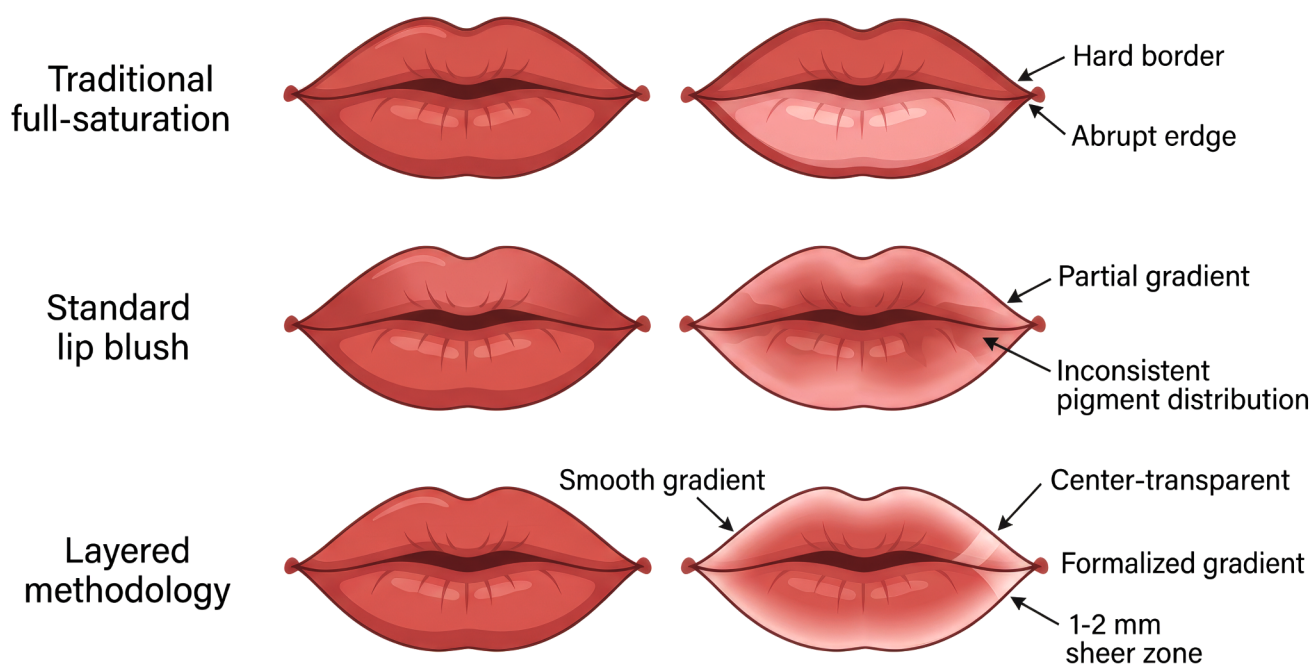


Fig. 3. Clinical Lip Gradient Techniques Comparison Diagram

Source: author's development

and to select the appropriate protocol components accordingly (See Figure 2).

At the professional standards level, the framework argues for the adoption of explicit naturalism criteria as evaluative benchmarks for PMU training programs, certification examinations, and competition judging criteria (See Figure 3). The author's invitations to serve as a judge at international PMU competitions — including the PMU Skills USA Winter Online Tournament and the TB Championship — reflect the field's growing recognition that expert technical evaluation requires precisely this kind of structured, criterion-based assessment framework, as opposed to purely subjective aesthetic judgment.

Conclusions. This paper has established that natural-looking outcomes in permanent lip makeup are determined by four primary variables: tonal accuracy, gradient quality, border softness, and skin-tone adaptability and that conventional PMU techniques fail to manage any of them systematically. The structural origins of naturalism failure are not incidental errors but predictable consequences of technique architectures that lack the specific clinical protocols required to address each variable: no undertone

assessment, no layered implantation logic, no formalized gradient construction, no anatomy-specific parameter differentiation.

The author's "From Nude to Lipstick" methodology addresses each of these structural deficits through deliberate design. Its components: neutralization protocol, three-layer implantation architecture, formalized gradient construction, anatomy-specific technique parameters, and four-level saturation classification together constitute a framework in which naturalistic outcomes are achievable as a reproducible, parameter-governed clinical standard rather than an aspirational ideal.

The broader implication of this analysis is that the permanent makeup field requires explicit naturalism criteria as clinical standards defined, evaluable, and transmissible through structured training. The psychosocial evidence reviewed in this paper [7; 19] establishes that naturalism failure is a clinical failure with measurable patient consequences. The adoption of systematic, naturalism-oriented technique frameworks is therefore not merely a quality-of-practice concern but an ethical imperative for a field whose primary promise to clients is enhancement that looks like their own.

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. Andreou, E., Hatziantoniou, S., Rallis, E., & Kefala, V. (2021). Safety of tattoos and permanent make up (PMU) colorants. *Cosmetics*, 8(2), 47. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020047>
2. Argobi, Y., Jadaan, N.S., Alharbi, W.O., Asiri, S.A., Alhatlani, J.A.A., Obaid, N.H., & Alqahtani, S.M.A. (2024). A comprehensive evaluation of safety and awareness in eyebrow microblading: A cross-sectional study. *Dermatology Reports*, 16(4), 9992. <https://doi.org/10.4081/dr.2024.9992>
3. Chalarca-Cañas, D., Caviedes-Cleves, M.A., Correa-Londoño, L.A., Ospina-Gómez, J.P., & Velásquez-Lopera, M.M. (2024). Tattoos: Risks and complications, clinical and histopathological approach. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 99(4), 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.abd.2023.07.004>
4. Cohen, P.R., DiMarco, M.A., Geller, R.L., & Darrisaw, L.A. (2024). A practical classification scale for the dermatology management of individuals with skin of color: The colorimetric scale for skin of color. *Dermatology Online Journal*, 30(3). <https://doi.org/10.5070/D330363862>
5. Colboc, H., Bazin, D., Reguer, S., Lucas, I.T., Moguelet, P., Amode, R., & Kluger, N. (2022). Chemical characterization of inks in skin reactions to tattoo. *Synchrotron Radiation*, 29(6), 1436–1445. <https://doi.org/10.1107/S1600577522008165>
6. Dodig, S., Čepelak-Dodig, D., Gretić, D., & Čepelak, I. (2024). Tattooing: Immediate and long-term adverse reactions and complications. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 75(4), 219–226. <https://doi.org/10.2478/aiht-2024-75-3921>
7. Ebrahimzadeh Ardakani, M., et al. (2022). Assessment of quality of life and self-esteem in patients undergoing minor facial cosmetic procedures. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(10), 5246–5247. <https://doi.org/10.1111/jocd.14827>
8. Farré, X., Blay, N., Cortés, B., Carreras, A., Iraola-Guzmán, S., & de Cid, R. (2023). Skin phototype and disease: A comprehensive genetic approach to pigmentary traits pleiotropy using PRS in the GCAT cohort. *Genes*, 14(1), 149. <https://doi.org/10.3390/genes14010149>
9. Geisler, A.N., Eber, A., Kim, K., & Arndt, K.A. (2023). Lasers for the treatment of eyebrow microblading and cosmetic tattoo pigment: A review of the literature. *Lasers in Medical Science*, 38(1), 256. <https://doi.org/10.1007/s10103-023-03921-z>

10. Ghafari, G., Newcomer, J., Rigali, S., & Liszewski, W. (2024). Permanent makeup: A review of its technique, regulation, and complications. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 91(4), 690–698. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2024.01.098>
11. Harvey, V. M., Alexis, A., Okeke, C. A., McKinley-Grant, L., Taylor, S. C., Desai, S. R., & Callender, V. D. (2024). Integrating skin color assessments into clinical practice and research: A review of current approaches. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 91(6), 1189–1198. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2024.01.067>
12. Hvas, D., & Serup, J. (2023). Practical guidance to cosmetic and medical tattoo operations in common applications: Microblading technique for tattooing of “hairstrokes” that simulate natural hair. *Current Problems in Dermatology*, 56, 141–154. <https://doi.org/10.1159/000529810>
13. Ibraheim, M. K., Desai, M., Tawfik, M., Elsensohn, A., & Furukawa, B. (2023). Microblading-induced granulomatous reaction: Case report and review of the literature. *American Journal of Dermatopathology*, 45(7), 487–491. <https://doi.org/10.1097/DAD.0000000000002449>
14. Kerure, A. S., Marwah, M., Wagh, N. D., & Udare, S. (2023). Micropigmentation. *Indian Dermatology Online Journal*, 14(5), 605–610. https://doi.org/10.4103/idoj.idoj_767_21
15. Kim, J., & Kwon, K. H. (2023). Trends in eyebrow makeup after COVID-19 and long-COVID era. *Health Science Reports*, 6(4), e1181. <https://doi.org/10.1002/hsr2.1181>
16. Marwah, M. K., Kerure, A. S., & Marwah, G. S. (2021). Microblading and the science behind it. *Indian Dermatology Online Journal*, 12(1), 6–11. https://doi.org/10.4103/idoj.IDOJ_230_20
17. Pachten, A. (2023). Pigments, inks, needles, devices and auxiliaries: Cosmetic and medical tattoos, national and international regulatory requirements on instruments and commercial ink stock products. *Current Problems in Dermatology*, 56, 30–36. <https://doi.org/10.1159/000521484>
18. Pachten, A., Scherkowski, D., & Kluge, J. (2023). Pigments, inks, needles, devices and auxiliaries: Equipment used for cosmetic and medical tattooing. *Current Problems in Dermatology*, 56, 72–78. <https://doi.org/10.1159/000526046>
19. Pióro, W., Antoszewski, B., & Kasielska-Trojan, A. (2025). Impact of removal of unsatisfactory eyebrow permanent cosmetic pigmentation on the quality of life: WHOQOL-BREF-based study. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 24, e70233. <https://doi.org/10.1111/jocd.70233>
20. Pióro, W., Antoszewski, B., & Kasielska-Trojan, A. (2026). Digital image analysis-based predictors of effective permanent make-up removal with laser and chemical remover. *Scientific Reports*, 16, 38366. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-38366-1>
21. Rigali, S., Cozzi, C., & Liszewski, W. (2024). Identification of the pigments used in permanent makeup and their ability to elicit allergic contact dermatitis. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 91(3), 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2024.05.067>
22. Shishak, M., & Kuthial, M. (2025). Eyebrow microblading: Science, art, and complications. *Skin Appendage Disorders*, 11(4), 355–359. <https://doi.org/10.1159/000543753>
23. Singh, P., Birkett, L., Dhar, S., Krumhuber, E., Mosahebi, A., & Ponniah, A. (2024). Facial beauty and the correlation of associated attributes: An empirical aesthetic database study. *Plastic and Reconstructive Surgery — Global Open*, 12(1), e5382. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005382>
24. Suleman, S., Villegas, M., Davis, T., Stevens, C. S., & Castaneda, P. (2023). Chronic granulomatous reaction to semi-permanent eyebrow tint. *Cureus*, 15(8), e44070. <https://doi.org/10.7759/cureus.44070>
25. Tomita, S., Mori, K., Yamazaki, H., & Mori, K. (2021). Complications of permanent makeup procedures for the eyebrow and eyeliner. *Medicine*, 100(18), e25755. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025755>
26. Vasylenko, V. (2026). From Nude to Lipstick: Methodological manual. Self-published manual. VV Beauty Services Inc.
27. Zhitny, V. P., & Iftekhar, N. (2020). Ancient roots of microblading: A permanent makeup art. *Journal of Skin and Stem Cell*, 6(1), e101833. <https://doi.org/10.5812/jssc.101833>

UDC 37.016:780.616.432

Osadchuk Maryna*Bachelor's Degree (Bachelor of Secondary Education in Music Art)**Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*

ORCID: 0009-0006-8681-9296

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12126>

SYSTEMATIZING ERROR WORK: IMPLEMENTING THE FOUR-R PROTOCOL IN STUDENT PRACTICE

Summary. This article presents the Four-R Protocol, a structured four-stage approach to processing performance errors developed within the Cognitive-Adaptive Piano Method. In most piano instruction, a wrong note or faulty passage is met with an informal instruction to repeat the material until it improves, an approach that leaves the underlying cause of the error unexamined and gives the student little practice in analyzing their own mistakes independently. The Four-R Protocol replaces this ad hoc response with a repeatable sequence: Recognize, Reflect, Repair, and Reinforce. Through this sequence, a student moves from simply noticing that something went wrong toward understanding why it happened, correcting it in an isolated and targeted way, and consolidating the correction so that it holds under performance conditions. The article situates this protocol within research on attributional beliefs about failure, deliberate practice, self-regulated learning, and the spacing and retrieval effects that govern durable retention. Observations gathered across applied use suggest that structured error work of this kind reduces the recurrence of the same mistake across sessions and, over time, shifts responsibility for identifying and diagnosing errors from the teacher toward the student. The article closes by acknowledging the descriptive nature of this evidence and by outlining the controlled comparison that would be needed to test the protocol's specific contribution more rigorously.

Key words: Four-R Protocol, error correction, self-regulation, deliberate practice, piano pedagogy, attribution theory.

Introduction. Mistakes are not an occasional interruption to learning a musical instrument; they are one of its central raw materials. Almost everything a piano teacher does in a lesson involves responding, in one way or another, to something that has just gone wrong. Yet the way this response is structured varies enormously and is rarely made explicit. The most common pattern, in the author's experience across three decades of teaching, is some version of "try that again," an instruction that gives the student another attempt but no structured way of understanding what specifically went wrong or why. Austin and Vispoel's research on how adolescents interpret success and failure in classroom music shows that the attributions students form about a mistake (whether they see it as a fixed limitation or a fixable, specific problem) shape their subsequent motivation and effort as much as the mistake itself [1]. Dweck's account of implicit theories of ability makes a closely related point: students who are given the tools to see an error as informative rather than defining respond to it very differently over time [6].

Deliberate practice research adds a further dimension. Ericsson, Krampe, and Tesch-Romer's

foundational account of expert performance argues that what separates productive practice from mere repetition is precisely the deliberate, targeted identification of specific weaknesses [7], and Chaffin, Imreh, and Crawford's detailed study of a concert pianist's memorization process shows this principle in action: expert practice is built around isolating and repairing specific problem points instead of repeating a passage from the beginning until it happens to go well [4]. Traditional pedagogical accounts of piano technique discuss correction primarily as something the teacher diagnoses and communicates verbally, with comparatively little attention to how a student might be taught to carry out this diagnostic process independently [9].

The Four-R Protocol was developed within the Cognitive-Adaptive Piano Method to close this gap. It structures error correction into four sequential stages: Recognize, Reflect, Repair, and Reinforce. Through this sequence, the student is guided, over time, toward increasing independence in identifying and correcting their own mistakes. This article sets out the theoretical basis for this structure, describes its application, and reports the patterns observed where it has been used.

Literature Review

1. Motivation, Attribution, and Responses to Error. The starting point for the Four-R Protocol is research on how students interpret and respond to their own mistakes. Austin and Vispoel's study of attributional beliefs in classroom music found that students who attributed failure to specific, correctable factors persisted more effectively than those who attributed it to fixed ability [1], and Dweck's broader research on implicit theories of intelligence and skill provides the general psychological mechanism behind this finding: framing a mistake as informative, instead of as evidence of a fixed limitation, is far more likely to prompt productive effort [6]. Wigfield and Eccles' expectancy-value theory adds that a student's willingness to persist after an error depends on both their expectation of eventual success and the value they place on the activity [20], while Woody's research on the motivations of accomplished musicians suggests that how a student is taught to relate to failure early on can shape the durability of their engagement with music over the long term [22]. Ryan and Deci's self-determination theory situates this within a broader account of motivation, arguing that a sense of competence, which depends heavily on believing one's efforts at correction are effective, is one of the central conditions for sustained intrinsic engagement [17].

2. Deliberate Practice and Expert Error Correction. A second strand concerns the internal structure of expert and deliberate practice. Ericsson, Krampe, and Tesch-Romer's account of deliberate practice identifies the precise, effortful targeting of specific weaknesses as the mechanism that separates expert-level improvement from ordinary repetition [7], and Lehmann and Ericsson's extension of this research to amateur and student musicians confirms that the same principle applies well below the level of professional performance [12]. Barry and Hallam's review of practice research reaches a similar conclusion from a different angle, finding that it is the organization and quality of practice time, not sheer repetition, that predicts improvement [2]. Chaffin, Imreh, and Crawford's study of expert memorization illustrates what this looks like in practice: the performer they studied built explicit markers around difficult passages and returned to them individually instead of relying on repetition of the whole [4]. Gruson found a closely related structure in her comparison of more and less competent young performers, where more competent players broke difficult material into targeted segments instead of repeating it undifferentiated [8]. Sloboda, Davidson, Howe, and Moore's research on the development of performing musicians similarly found that the quality and structure of practice sessions, including how directly they addressed specific problems, distinguished more successful young performers from their peers [19]. Drake and Palmer's work on planning and temporal control in skill acquisition adds a further

layer, showing that the ability to anticipate where a difficulty is likely to arise, rather than only reacting to it after the fact, is itself a component of skilled performance [5], a capacity the Four-R Protocol aims to build deliberately through its Recognize stage.

3. Retrieval Practice and Reinforcement of Learning. A third relevant body of research concerns how a correction, once identified, is best consolidated so that it holds under later performance conditions. Roediger and Butler's review of retrieval practice shows that actively producing a corrected version of material, rather than passively repeating it, produces more durable learning [16], and Kornell and Bjork's research on spacing demonstrates that revisiting a correction after a delay, not only in the moment it is made, strengthens retention relative to a single continuous repetition [11]. Both findings bear directly on how the Reinforce stage of the protocol is structured.

4. Self-Regulated Learning, Reflective Practice, and the Rationale for the Four-R Protocol. Self-regulation research supplies the final and perhaps most direct theoretical foundation for the protocol as a whole. Zimmerman's account of self-regulated learning as a recurring cycle of goal-setting, monitoring, and reflection [23], and Zimmerman and Risemberg's parallel account of the same cycle applied to writing instruction [24], both describe a structure that the Four-R Protocol adapts specifically to the moment of error correction. McPherson and Zimmerman's application of self-regulation theory to music learning [15] and McPherson and Renwick's finding that it is structured goal-setting, not instructional intensity alone, that predicts sustained skill development [14] both support treating error correction as a discrete, structured sub-cycle within the larger arc of a student's self-regulated development. It is not merely an incidental correction handled entirely by the teacher.

Locke and Latham's goal-setting theory [13] reinforces this point at a more general level: specific, proximal goals (such as those the Reflect and Repair stages generate for a given mistake) reliably outperform vague instructions such as "try again" in sustaining focused effort. Schon's concept of the reflective practitioner [18] provides the complementary teacher-side account, describing expert teaching as a process of continual, structured reflection on what a student's error reveals, which is precisely the disposition the Four-R Protocol asks the student to begin developing for themselves.

Finally, research on performance anxiety, including Kenny's comprehensive account of its psychology [10] and Wilson and Roland's related work [21], suggests that how a student has learned to relate to error in ordinary practice may carry over into how threatening a mistake feels under performance pressure, though this connection remains an inference from adjacent literature rather than a directly tested claim. Burwell's comparative study of how vocal and instrumental teachers in higher education approach correction [3] further

indicates that considerable variation exists in how explicitly teachers structure this process, reinforcing the case for a protocol that makes the structure explicit instead of leaving it to individual habit (See Figure 1).

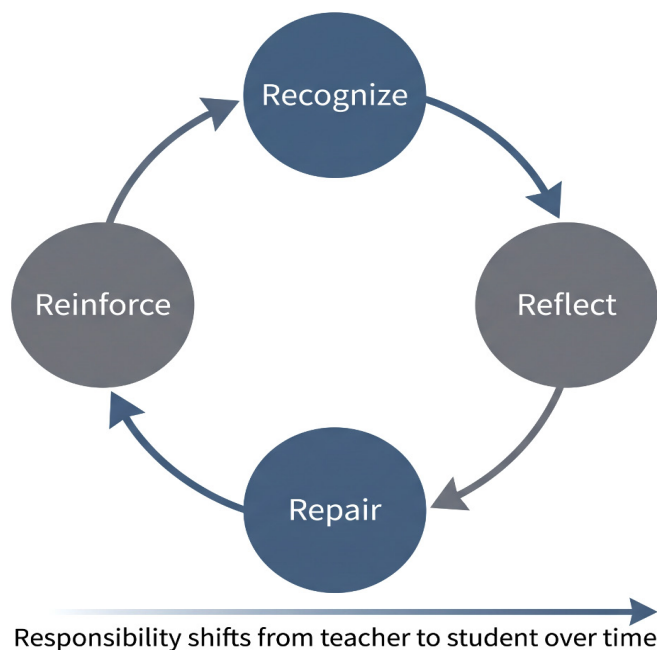


Fig. 1. The Four-R Protocol Cycle
 Source: developed by the author

Methodology. This article draws on the applied development and use of the Four-R Protocol across a range of private studio and community-program settings over an extended period, informed by the author's three decades of piano teaching experience. The protocol structures a student's response to an identified performance error into four sequential stages. In Recognize, the student is guided to notice precisely where and how an error occurred rather than simply that "something went wrong"; in Reflect, the student and teacher jointly consider the likely cause of the error: technical, attentional, or interpretive. In Repair, a targeted, isolated correction is practiced apart

from the full passage; in Reinforce, the correction is reintegrated into the fuller passage and revisited after a delay to consolidate retention. Across a student's development, responsibility for the earlier stages is deliberately shifted from teacher to student as competence builds, so that more advanced students eventually initiate the Recognize and Reflect stages independently.

As with the companion analyses of assessment and lesson structuring presented elsewhere in this line of work, the evidence available here is descriptive rather than experimental, drawn from structured case documentation accumulated across a heterogeneous caseload of beginning and intermediate students rather than from a controlled trial with a comparison condition. This limitation, and the research design that would be needed to address it, is discussed further below.

Results. Table 1 summarizes the four stages of the protocol as applied across the caseload informing this article, along with the corresponding shift in responsibility from teacher to student that is expected to occur as a student gains experience with the process.

Applied across a heterogeneous caseload of beginning and intermediate students, several consistent patterns emerged. First, students who were guided through the full four-stage sequence for a recurring mistake appeared less likely to reproduce the identical error in a subsequent lesson than when the same mistake was addressed only through repeated practice.

Second, over repeated use of the protocol across a term, more advanced students increasingly initiated the Recognize stage themselves, identifying and naming an error before the teacher intervened.

Third, students who were guided to attribute an error to a specific, correctable cause during the Reflect stage appeared to show less visible frustration and discouragement than when an error was addressed without this step.

Finally, teachers using the protocol reported that separating the Repair stage from full-passage practice made it considerably easier to confirm that a specific correction had actually been mastered, rather than assuming this based on one or two apparently successful repetitions embedded within the whole passage.

Table 1

The Four-R Protocol: Stages and Developmental Shift in Responsibility

Stage	Focus	Primary Actor (Early Stage)	Primary Actor (Advanced Stage)
Recognize	Precisely identifying where and how the error occurred	Teacher points out the error	Student identifies the error independently
Reflect	Considering the likely cause: technical, attentional, or interpretive	Teacher proposes explanation, student confirms	Student proposes explanation, teacher confirms
Repair	Practicing a targeted, isolated correction apart from the full passage	Teacher designs the isolated drill	Student designs and tests own isolated drill
Reinforce	Reintegrating the correction and revisiting it after a delay	Teacher schedules the follow-up review	Student self-schedules review as part of practice planning

Source: developed by the author

Table 2

Observed Contrast Between Ad Hoc and Four-R Structured Error Correction

Feature	Ad Hoc Correction ("Try That Again")	Four-R Structured Correction
Diagnostic step	Rarely made explicit	Explicit Reflect stage before repair begins
Location of practice	Repetition embedded within the full passage	Isolated Repair stage practiced apart from the passage
Confirmation of mastery	Assumed after one or two successful repetitions	Confirmed through delayed Reinforce-stage review
Locus of responsibility over time	Remains with the teacher	Deliberately shifts toward the student

Source: developed by the author

Table 2 summarizes the observed contrast between this structured approach and the ad hoc correction pattern it is intended to replace.

These findings support the central argument of this article: that error correction, like assessment and lesson structuring, benefits from an explicit, repeatable framework rather than being left to a teacher's informal, in-the-moment judgment. The reduced recurrence of errors observed here, in particular, is consistent with the retrieval and spacing literature underlying the Reinforce stage [11; 16]. The Four-R Protocol's contribution is not the observation that errors should be analyzed instead of simply glossed over: that principle is already implicit in deliberate practice research and

visible in how expert performers such as the pianist studied by Chaffin, Imreh, and Crawford organize their own practice [4]. The protocol's contribution is to translate that principle into a structure a teacher can use deliberately with a student who has not yet developed this diagnostic capacity independently, and to build into that structure an explicit mechanism for gradually transferring the capacity to the student over time.

The developmental shift observed in the Recognize stage, with students increasingly identifying their own errors before teacher intervention, is consistent with the developmental shift in self-regulatory responsibility described by Zimmerman and by McPherson and Zimmerman [15; 23], and is arguably the protocol's

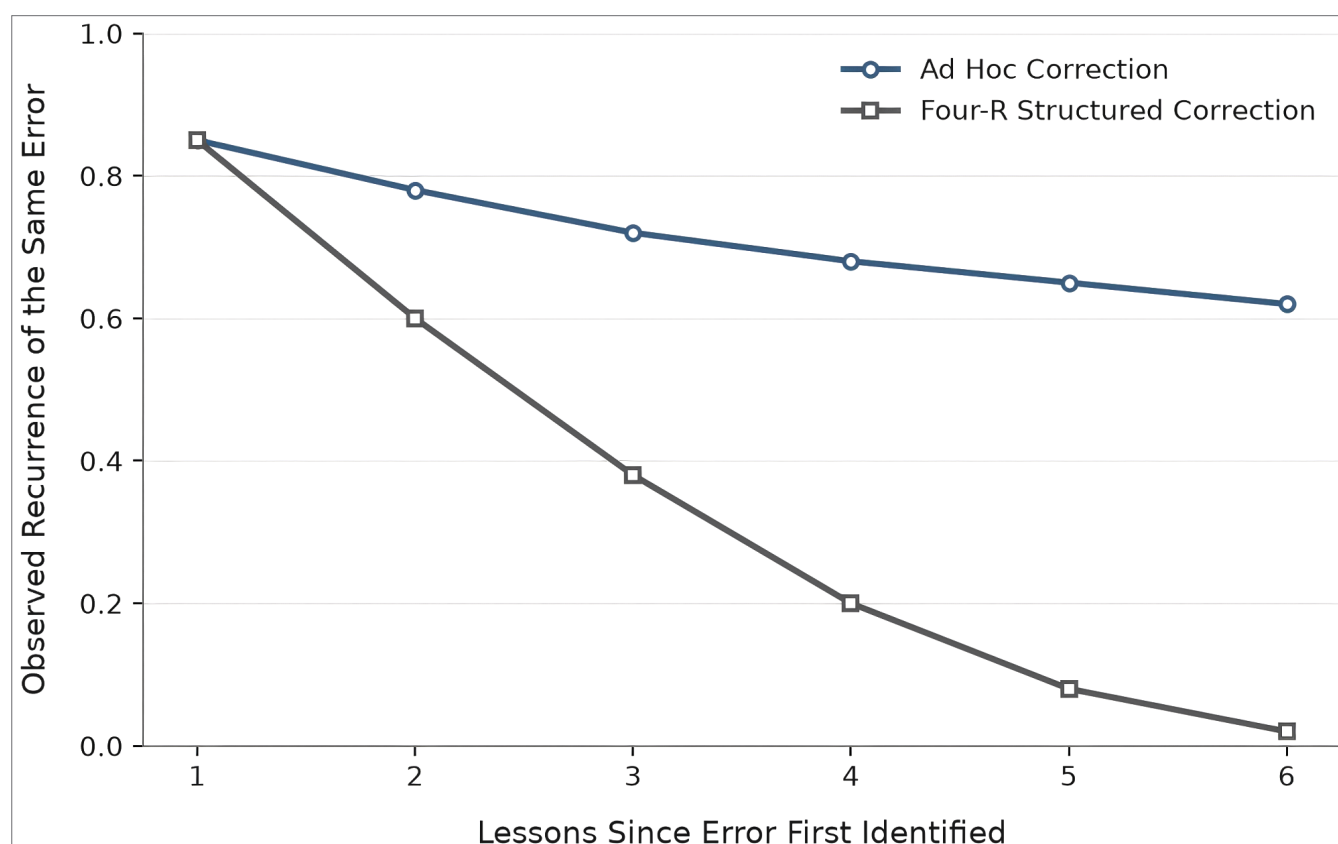


Fig. 2. Error Recurrence Across Sessions (illustrative pattern based on observed case documentation, not measured data from a controlled comparison)

Source: developed by the author

most significant claim, since it connects directly to the broader goal stated in this article's title: that structured error work should build self-reflection and independent professional growth, not merely improve accuracy on a given passage (See Figure 2). This aligns closely with Zimmerman's and Zimmerman and Risemberg's account of self-regulation as an internalized cycle instead of an externally imposed one [23; 24], and with Schon's argument that reflective expertise develops through repeated, structured engagement with one's own performance rather than through instruction alone [18]. If this pattern holds under more rigorous testing, it would suggest that the protocol's long-run value lies less in any single correction it produces and more in the metacognitive habit it cultivates.

The attributional finding (that framing an error as specific and correctable during the Reflect stage appears to reduce visible frustration) is consistent with the attributional research reviewed above [1; 6], though it deserves a cautious reading. Austin and Vispoel's and Dweck's research both concern how students interpret failure in general, not the specific mechanics of a structured four-stage protocol [1; 6], so the connection drawn here is an application of established principles rather than a direct test of them. The same caution applies to the discussion's tentative link to performance anxiety: Kenny's and Wilson and Roland's research addresses the anticipation and experience of formal performance specifically [10; 21], and while it is plausible that a student accustomed to treating errors as routine, analyzable events in practice might experience less anxiety when an error occurs during a performance, this article does not present direct evidence for that connection and it should be treated as a hypothesis for future research rather than an established finding.

It is worth positioning the Four-R Protocol relative to more traditional accounts of piano pedagogy. The classical Ukrainian piano pedagogical tradition, represented in Vasyl Barvinsky's teaching notes and analyzed in Kashkadamova's work on the Lviv piano school [9], treats correction largely as an act of the teacher's musical and technical judgment communicated to the student, with the student's role remaining comparatively receptive. This is not a criticism of the Ukrainian conservatory tradition's broader contribution, which remains valuable on questions of tone, technique, and interpretation; rather, it reflects a difference in what the two accounts are trying to achieve. The Four-R Protocol is not a substitute for a teacher's musical judgment about what has gone wrong: the Reflect stage explicitly depends on that judgment, particularly early in a student's development. It

does, however, insist that this judgment be exercised through a structure the student can eventually take over, instead of remaining permanently the teacher's exclusive domain. Burwell's finding that considerable variation exists in how different teachers structure correction [3] suggests that this kind of explicit protocol may be particularly useful for less experienced teachers, or for teaching contexts where consistency across multiple instructors matters, such as community music programs.

The methodological limitations of the evidence presented here are consistent with those noted throughout this line of work. Because the observations are descriptive and drawn from applied case documentation rather than a controlled study, it remains possible that the reduced recurrence of errors reflects the general benefit of any structured attention to a mistake rather than something specific to the four-stage sequence proposed here. A useful next step would be a comparative study contrasting error correction using the full Four-R sequence against correction using only some of its stages (for instance, Repair and Reinforce without an explicit Reflect stage) tracked across several lessons using measures such as error recurrence rate, time to independent Recognize-stage initiation, and self-reported frustration, informed by the retrieval and spacing measures already established in the broader literature [11; 16]. Such a study would help isolate which specific stage or combination of stages is doing the explanatory work, since it remains possible that not all four stages contribute equally to the outcomes observed here.

Conclusions. This article has shown how the Four-R Protocol puts that principle into practice, giving piano teachers a structured alternative to informal, in-the-moment correction applied inconsistently from one mistake to the next. The protocol (Recognize, Reflect, Repair, and Reinforce) translates existing research on attribution, deliberate practice, retrieval and spacing, and self-regulated learning into a structure that a teacher can apply directly with a student, and that is explicitly designed to shift responsibility toward the student as their capacity for self-diagnosis develops. Patterns observed across applied use, including reduced error recurrence, increasing student-initiated recognition of mistakes over time, and reduced visible frustration when errors are reframed as specific and correctable, are consistent with the theoretical literature reviewed here, though they remain suggestive rather than conclusive given the descriptive nature of the evidence. A controlled comparative study isolating the contribution of individual stages within the protocol is the clearest next step toward establishing its value more rigorously.

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. Austin, J.R., & Vispoel, W.P. (1998). How American adolescents interpret success and failure in classroom music: Relationships among attributional beliefs, self-concept and achievement. *Psychology of Music*, 26(1), 26–45. <https://doi.org/10.1177/0305735698261004>
2. Barry, N.H., & Hallam, S. (2002). Practice. In R. Parncutt & G.E. McPherson (Eds.), *The science and psychology of music performance* (pp. 151–165). Oxford University Press. ISBN: 0195138104.
3. Burwell, K. (2006). On musicians and singers: An investigation of different approaches taken by vocal and instrumental teachers in higher education. *Music Education Research*, 8(3), 331–347. <https://doi.org/10.1080/14613800600957479>
4. Chaffin, R., Imreh, G., & Crawford, M. (2002). *Practicing perfection: Memory and piano performance*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. ISBN: 978-0805826104.
5. Drake, C., & Palmer, C. (2000). Skill acquisition in music performance: Relations between planning and temporal control. *Cognition*, 74(1), 1–32. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00061-X)
6. Dweck, C.S. (1999). Self-theories: Their role in motivation, personality, and development. *Psychology Press*. <https://doi.org/10.4324/9781315783048>
7. Ericsson, K.A., Krampe, R.T., & Tesch-Romer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.100.3.363>
8. Gruson, L.M. (1988). Rehearsal skill and musical competence: Does practice make perfect? In J.A. Sloboda (Ed.), *Generative processes in music* (pp. 91–112). Oxford University Press. ISBN: 0198521545.
9. Kashkadamova, N. (2001). Vasyl Barvinsky yak fortep'annyi pedagog: Zasady vchytelya, vidbyt u yoho notatka-kh dlya uchnia [Vasyl Barvinsky as a piano pedagogue: The teacher's principles reflected in his notes for the student]. In N. Kashkadamova, *Fortep'yanne mystetsvo u Lvovi: Statti, retsenzii, materialy* [Piano art in Lviv: Articles, reviews, materials] (pp. 80–93). Ternopil: SMP Aston.
10. Kenny, D. (2011). *The psychology of music performance anxiety*. Oxford University Press. ISBN: 978-0-19-958614-1.
11. Kornell, N., & Bjork, R.A. (2008). Learning concepts and categories: Is spacing the “enemy of induction”? *Psychological Science*, 19(6), 585–592. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02127.x>
12. Lehmann, A.C., & Ericsson, K.A. (1997). Research on expert performance and deliberate practice: Implications for the education of amateur musicians and music students. *Psychomusicology*, 16(1–2), 40–58. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0094068>
13. Locke, E.A., & Latham, G.P. (2002). Building a practically useful theory of goal setting and task motivation: A 35-year odyssey. *American Psychologist*, 57(9), 705–717. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.57.9.705>
14. McPherson, G.E., & Renwick, J.M. (2011). Self-regulation and mastery of musical skills. In B.J. Zimmerman & D.H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 234–248). *Routledge*. ISBN: 978-0415871129
15. McPherson, G.E., & Zimmerman, B.J. (2002). Self-regulation of musical learning. In R. Colwell & C. Richardson (Eds.), *The new handbook of research on music teaching and learning* (pp. 327–347). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199754397.003.0004>
16. Roediger, H.L., & Butler, A.C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.003>
17. Ryan, R.M., & Deci, E.L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.55.1.68>
18. Schon, D.A. (2017). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315237473>
19. Sloboda, J.A., Davidson, J.W., Howe, M.J.A., & Moore, D.G. (1996). The role of practice in the development of performing musicians. *British Journal of Psychology*, 87(2), 287–309. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1996.tb02591.x>
20. Wigfield, A., & Eccles, J.S. (2000). Expectancy-value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 68–81. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1015>
21. Wilson, G.D., & Roland, D. (2002). Performance anxiety. In R. Parncutt & G.E. McPherson (Eds.), *The science and psychology of music performance* (pp. 47–61). Oxford University Press. ISBN: 0195138104.
22. Woody, R.H. (2004). The motivations of exceptional musicians. *Music Educators Journal*, 90(3), 17–21. <https://doi.org/10.2307/3399950>
23. Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press. ISBN: 978-0080575490.
24. Zimmerman, B.J., & Risemberg, R. (1997). Becoming a self-regulated writer: A social cognitive perspective. *Contemporary Educational Psychology*, 22(1), 73–98. <https://doi.org/10.1006/ceps.1997.0919>

Сігал Олександр Ісакович

кандидат технічних наук,
завідувач лабораторії теплофізичних процесів у котлах
Інститут технічної теплофізики НАН України

Sigal Oleksandr

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Бикорізі Євген Йосипович

науковий співробітник лабораторії теплофізичних процесів у котлах
Інститут технічної теплофізики НАН України

Bykoriz Evgen

Researcher at the Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Плашихін Сергій Володимирович

кандидат технічних наук,
доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Plashykhin Serhii

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Automation Hardware and Software
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Падерно Дмитро Юрійович

кандидат фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник лабораторії теплофізичних процесів у котлах
Інститут технічної теплофізики НАН України

Paderno Dmytro

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Leading Researcher at the Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Меранова Наталія Олегівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12155>

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ І КОГЕНЕРАЦІЇ

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF DISTRIBUTED GENERATION AND COGENERATION

Анотація. В роботі розглянуто концептуальні поняття розподіленої генерації. Висвітлено особливості застосування когенераційних технологій в системах централізованого і децентралізованого теплопостачання. Наведено дані щодо динаміки розвитку розподіленої генерації в Україні протягом останніх років. Представлено короткий огляд зарубіжного досвіду впровадження розподіленої генерації і когенерації.

Ключові слова: розподілена генерація, когенерація, розміщення об'єктів генерації.

Summary. This paper examines the conceptual aspects of distributed generation. It highlights the specific features of applying cogeneration technologies in centralized and decentralized heat supply systems. Data on the development trends of distributed generation in Ukraine over recent years are presented, along with a brief overview of international experience in implementing distributed generation and cogeneration.

Key words: distributed generation, cogeneration, siting of generation facilities, decentralized energy systems.

Концептуальні поняття розподіленої генерації

Розподілена генерація (РГ) — поняття, що охоплює широкий клас технологій виробництва електричної та теплової енергії безпосередньо поблизу споживача, з одиничними потужностями, як правило, від кількох кіловат до 10–50 МВт. На відміну від централізованої генерації з передаванням енергії на великі відстані, РГ дозволяє знизити втрати в мережах, підвищити надійність енергопостачання і гнучко реагувати на локальні коливання попиту.

Відповідно до класифікації IEEE Std 1547 [1] та CIGRE [2], об'єкти РГ поділяються за типом первинного енергоресурсу (природний газ, дизельне паливо, біогаз, сонячна, вітрова, геотермальна енергія тощо), за технологією перетворення, а також за типом підключення до мережі (острівний режим, паралельна робота).

Газотурбінна установка визначається як керована (диспетчеризована) електроустановка, здатна забезпечувати гарантовану видачу потужності за командою оператора, з широким діапазоном регулювання (близько 60% встановленої потужності) і виходом на номінальну потужність протягом 15 хвилин з «холодного» старту; строк її будівництва та введення в експлуатацію не перевищує одного року. Електричний коефіцієнт корисної дії класичних ГТУ відкритого циклу сягає 40%, а установок комбінованого циклу — до 60%, тоді як застосування когенерації дає змогу підвищити загальний ККД такої установки до 90% [3].

Газопоршнева установка має подібні характеристики, однак у модульному виконанні забезпечує ширший діапазон регулювання (до 90% номінальної потужності), швидший вихід на номінальний режим (до 5 хвилин) та вищий електричний ККД (до 50%) [3]. Когенераційна установка визначається законодавством як електроустановка, призначена для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії, яка є керованою, економічною, сталою у довгостроковій перспективі, швидкою у будівництві та введенні в експлуатацію та гарантовано може брати участь у покритті графіка навантаження [3].

Паливні елементи (ПЕ) типів PEMFC, SOFC та MCFC забезпечують найвищий електричний ккд серед технологій малої когенерації — 40–60% (і понад 85% при урахуванні тепловиділення), однак їх вартість залишається значно вищою, а терміни окупності — довшими [4, 5]. Перспективним є застосування SOFC на біогазі та синтез-газі [6].

Сонячні фотовольтаїчні системи (ФВ) у поєднанні з системами накопичення (BESS) становлять зростаючий сегмент РГ, особливо для промислових підприємств і торговельно-офісних об'єктів [7]. Теплові сонячні колектори застосовуються для гарячого водопостачання та підігріву мережевої води.

Теплові насоси (ТН) — повітряні, ґрунтові та водні — знаходять все ширше застосування для опалення та ГВП, особливо в умовах електроенергетичної мережі з високою часткою відновлюваних джерел [8].

Системи комбінованого виробництва теплоти, холоду та електроенергії (ССНР — Combined Cooling, Heating and Power) є найбільш ефективним формою використання первинного паливного ресурсу і знаходять впровадження в лікарнях, готелях, торгових центрах [9].

Когенерація в системах централізованого та децентралізованого теплопостачання

Когенерація, або комбіноване виробництво тепла та електроенергії (КВТЕ), є технологією з найвищим рівнем використання первинного паливного ресурсу серед усіх традиційних теплоенергетичних технологій. Коефіцієнт використання палива при когенерації досягає 80–92% порівняно з 30–40% при роздільному виробництві тепла та електроенергії на окремих установках.

Відповідно до методології ЄС [10], ефективна когенерація визначається як така, що забезпечує економію первинної енергії (PES — Primary Energy Saving) не менше 10% порівняно з роздільним виробництвом. Показник PEE (Primary Energy Efficiency) для когенераційної установки розраховується за формулою:

$$PEE = (E + H) / (F \times \eta_{ref}), \quad (1)$$

де E — вироблена електроенергія, ГДж; H — вироблена теплова енергія, ГДж; F — витрата палива, ГДж; η_{ref} — контрольний рівень ефективності відповідно до Директиви 2012/27/ЄС.

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ), що є переважаючою формою міського теплопостачання в Україні (частка централізованого теплопостачання у великих містах — 60–85%), традиційно ґрунтуються на великих ТЕЦ і котельнях. Водночас децентралізація з використанням малих КМ-ГПА є перспективним напрямком у тих районах, де щільність теплового навантаження знижується до рівнів, що роблять нерентабельним утримання розгалуженої мережі [11].

Динаміка нарощення потужностей розподіленої генерації в Україні

Кількісна динаміка розвитку розподіленої генерації в Україні протягом 2024–2026 років демонструє прискорене нарощення потужностей, хоча й з відставанням фактично працюючих об'єктів від

номінально поставлених. За узагальненими даними Міністерства розвитку громад та територій, станом на початок 2026 року в комунальному секторі введено в експлуатацію понад 570 МВт нових децентралізованих потужностей, з яких понад 360 МВт припадає на блочно-модульні котельні (здатні забезпечити теплом близько 200 тисяч українців) і понад 200 МВт — на когенерацію [12].

Міжнародні донори загалом підтвердили постачання в Україну 568 когенераційних установок сумарною потужністю 973,7 МВт електроенергії, 364 блочно-модульних котельень потужністю 756,2 МВт тепла та 28 газотурбінних установок потужністю 233,7 МВт електроенергії [12]. Значна частина цього обладнання вже змонтована, підключена або перебуває на фінальній стадії запуску, водночас частина, за оцінками незалежних експертів галузі, залишається невведеною в експлуатацію.

Планові показники на 2026 рік передбачають введення ще понад 500 МВт нових децентралізованих потужностей мають остаточно закріпити перехід України до стійкої та диверсифікованої енергосистеми. Порівняння планових і фактично введених показників за попередні періоди дозволяє прогнозувати, що ключовим фактором виконання цього плану буде не стільки постачання нового обладнання, скільки прискорення введення в експлуатацію вже наявного (табл. 1.)

Огляд зарубіжного досвіду впровадження РГ і когенерації

Країни Центральної та Східної Європи — Польща, Чехія, Словаччина, країни Балтії — мають цінний досвід трансформації радянських систем централізованого теплопостачання у напрямку підвищення ефективності та децентралізації [13]. Польська стратегія «когенерація плюс» передбачає надання преміальних аукціонних цін для малих когенераційних систем потужністю до 1 МВт-ел. [14].

Данія є світовим лідером за часткою когенерації в теплопостачанні (понад 60% тепла виробляється на когенераційних установках) [15]. Датська модель поєднує великі ТЕЦ, районні малі когенераційні станції та тепловіддачу від промисловості.

Таблиця 1

Показники введення енергогенеруючих потужностей на початок 2026 р.

Показник	Значення станом на початок 2026 р.
Введено в експлуатацію децентралізованих потужностей у комунальному секторі	понад 570 МВт
у т.ч. блочно-модульні котельні	понад 360 МВт (тепло для $\approx$ 200 тис. осіб)
у т.ч. когенерація	понад 200 МВт
Постачання донорами когенераційних установок (КГУ)	568 од. / 973,7 МВт е/е
Постачання донорами блочно-модульних котельень	364 од. / 756,2 МВт тепла
Постачання донорами газотурбінних установок (ГТУ)	28 од. / 233,7 МВт е/е
Заплановане введення нових потужностей у 2026р.	понад 500 МВт
Фактично працююча частка поставлених КГУ (експертна оцінка)	$\approx$ 40–50%

Нідерланди демонструють найвищу в ЄС ефективність когенерації у промисловому секторі [16].

Досвід Фінляндії свідчить про успішну інтеграцію теплових насосів у системи централізованого теплопостачання (великих ТН потужністю 50–100 МВт) поруч із когенерацією [117]. Це дозволило суттєво знизити викиди CO₂ без відмови від централізованих мереж. У США розвиток РГ стимулюється програмами ЕРА CHP Partnership та рядом штатних регуляторних ініціатив [18]. Особливо активно

когенерація розвивається в секторі університетських кампусів, лікарень і промислових парків, де забезпечується стабільний базовий тепловий попит.

Висновок. Отже виконаний аналіз свідчить, що розвиток розподіленої генерації в Україні протягом останніх років демонструє прискорення нарощування потужностей та широке впровадження когенераційних технологій. Відповідний цінний досвід мають також країни Центральної та Східної Європи, Балтії та ін.

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. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces: IEEE Std 1547–2018. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8332112>
2. Distributed Energy Resources in Active Distribution Networks: Reference: GB 19–2026. URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/gb-19-distributed-energy-resources-in-active-distribution-networks.html> (дата звернення: 05.09.2026).
3. Polyzakis A. L., Koroneos C., Xydis G. Optimum gas turbine cycle for combined cycle power plant. *Energy Conversion and Management*. 2008. Vol. 49, No. 4. P. 551–563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.002>
4. Qasem N. A. A., Abdulrahman G. A. Q. A recent comprehensive review of fuel cells: History, types, and applications. *International Journal of Energy Research*. 2024. Art. 7271748. 36 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/7271748>
5. Arsalis A. A comprehensive review of fuel cell-based micro-combined-heat-and-power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 105. P. 391–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.013>
6. Saadabadi S. A., Thattai A. T., Fan L., Lindeboom R. E. F., Spanjers H., Aravind P. V. Solid oxide fuel cells fuelled with biogas: Potential and constraints. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 134. P. 194–214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.028>
7. Li B., Liu Z., Wu Y., Wang P., Liu R., Zhang L. Review on photovoltaic with battery energy storage system for power supply to buildings: Challenges and opportunities. *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 61. Art. 106763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106763>
8. Jarre M., Noussan M., Simonetti M. Primary energy consumption of heat pumps in high renewable share electricity mixes. *Energy Conversion and Management*. 2018. Vol. 171. P. 1339–1351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.067>
9. Wu D. W., Wang R. Z. Combined cooling, heating and power: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2006. Vol. 32, No. 5–6. P. 459–495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.02.001>
10. Frangopoulos C. A. A method to determine the power to heat ratio, the cogenerated electricity and the primary energy savings of cogeneration systems after the European Directive. *Energy*. 2012. Vol. 45, No. 1. P. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.044>
11. Fialko N. M., Tymchenko N. P., Sherenkovskiy J. V. Fourth generation of district heating and centralized heating supply systems of Ukraine. In: Blikharskyi Z., Koszelnik P., Mesaros P. (eds.). *Proceedings of CEE 2019. CEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering*. Cham: Springer, 2020. Vol. 47. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_10
12. Розподілена генерація в Україні: як децентралізовані рішення допомагають тримати тепло та водопостачання в умовах війни. URL: <https://mininfra.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-v-ukraini-iaak-detsentralizovani-rishennia-dopomahaiut-trymaty-teplo-ta-vodopostachannia-v-umovakh-viiny> (дата звернення: 05.09.2026).
13. Mrkic-Bosancic M., Gvero P., Ibrulj J., Husika A., Vasković S. Comparative of the district heating system of countries in transition. *Quality Fest*. Jahorina, RS, B&H, 26–28 October 2017. University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, 2017.
14. Zamasz K., Kaplan R., Kaszyński P., Saługa P. W. An analysis of support mechanisms for new CHPs: The case of Poland. *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 21. Art. 5635. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13215635>

15. Johansen K., Werner S. Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 158. Art. 112117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112117>
16. Hendriks C., Blok K. Regulation for combined heat and power in the European Union. *Energy Conversion and Management*. 1996. Vol. 37, No. 6–8. P. 729–734. DOI: [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00247-2](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00247-2)
17. Kontu K., Rinne S., Junnila S. Introducing modern heat pumps to existing district heating systems — Global lessons from viable decarbonizing of district heating in Finland. *Energy*. 2019. Vol. 166. P. 862–870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.077>
18. Kalam A., King A., Moret E. et al. Combined heat and power systems: Economic and policy barriers to growth. *Chemistry Central Journal*. 2012. Vol. 6, Suppl. 1. Art. S3. DOI: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-S1-S3>

УДК 536.24:621.1.016.4:621.791.4

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, зав. відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Альошко Сергій Олександрович

*кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Aleshko Sergey

*Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Місюра Тимофій Олексійович

*доктор філософії, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Misiura Tymofii

*PhD, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Малецька Ольга Євгенівна

*старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Maletska Olha

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Бетін Юрій Олексійович

*доктор філософії, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Betin Yurii

*PhD, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Мельниченко Тарас Васильович

*аспірант
Інституту технічної теплофізики НАН України*

Melnychenko Taras

*Graduate Student of the
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Кліщ Андрій Володимирович

*молодший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Klishch Andrii

*Junior Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Дашковська Ірина Леонідівна

*молодший науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики НАН України*

Dashkovska Iryna

*Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12154>

ТЕПЛОВИЙ СТАН СИСТЕМИ «ПОКРИТТЯ-ПІДШАР-ОСНОВА» ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ПЛАЗМОУТВОРЮЮЧИХ ГАЗІВ

THERMAL STATE OF THE «COATING-SUBLAYER-BASE» SYSTEM USING VARIOUS PLASMA-FORMING GASES

Анотація. Вивчення теплових процесів, що відбуваються при газотермічному напиленні має велике значення при розробці нових мультистійких газотермічних покриттів. В роботі представлені результати математичного моделювання чисельних досліджень порівняльного аналізу температурних режимів системи «покриття-підшар-основа» при використанні різних плазموутворюючих газів.

Ключові слова: плазмоутворюючі гази, газотермічне напилення, «багатошарове покриття-підшар-основа», математичне моделювання, теплопідвод, високотемпературна зона

Summary. Studying the thermal processes involved in thermal spraying is of great importance for the development of new multi-resistant thermal spray coatings. This paper presents the results of mathematical modeling based on extensive comparative analyses of the temperature regimes within the multilayer coating –bond coat–base system when using various plasma-forming gases.

Key words: plasma-forming gases, thermal spraying, «multilayer coating–bond coat–base» system, mathematical modeling, heat input, high-temperature zone

Вступ. В наш час все більш широке застосування в техніці знаходять газотермічні покриття різного функціонального призначення. Проблеми вдосконалення існуючих технологій газотермічного напилення та створення нових технологій, покращення їх теплозахисних, зносостійких, корозійностійких та електрозахисних характеристик мають важливе значення в військовий час. При формуванні нових покриттів ведучу роль відіграє вивчення теплових процесів, що відбуваються при газотермічному напиленні. В останній час все більше розповсюдження для виготовлення антифрикційних покриттів різними методами газотермічного напилення получаются композиційні плаковані порошки, що мають в своєму складі тверде мастило. Широко застосовуються композити, які в якості вихідного ядра мають графіт. Покриття з композиційних матеріалів, у складі якого є графіт використовуються у вузлах тертя, що працюють у умовах граничного тертя та без змащування. Ці покриття використовуються в газотурбінних двигунах в покриттях стартерів, що стираються, в лопатевих компресорах, в ущільнювачах кільцевих насосів, як покриття опорних поверхонь підшипників ковзання, в спеціальних виробках військової техніки. Виходячи з цього, розробка та вдосконалення технології отримання даних покриттів зумовлює необхідність додаткових досліджень теплових явищ, що спостерігаються у всіх цих ситуаціях. Значний інтерес становлять дані математичного моделювання процесів

теплоперенесення при формуванні покриттів із плакованих композиційних порошків, які містять графіт. У представленій роботі надані характерні результати математичного моделювання чисельних досліджень щодо порівняльного аналізу температурних режимів системи «покриття-підшар-основа» при використанні різних плазмоутворюючих газів.

В даній роботі розглядається тривимірна нестационарна задача теплопровідності для багатошарової системи та співставлено тепловий стан системи «покриття-підшар-основа» при використанні різних плазмоутворюючих газів одноатомного аргону та повітря, яке, головним чином, є сумішшю двоатомних газів. Відомо, що процес утворення плазми двоатомних та одноатомних газів суттєво різниться. Тепловміст двоатомних газів значно вище тепловмісту одноатомних газів при однаковій температурі. Це зумовлено тими обставинами, що у випадку двоатомних газів значна кількість допоміжної енергії забезпечується за рахунок розпаду молекул на атоми. Таким чином, при використанні двоатомного плазмоутворюючого газу, а вірніше суміші, головним чином двоатомного газу-повітря) тепловий потік, що підводиться до виробу повинен бути значно більше, ніж теплопідвод від одноатомного газу аргону.

Порівняння двох ситуацій, що розглядаються, проводиться при наступних умовах. Величина максимальної щільності теплового потоку $q_{\max}$, що підводиться, передбачається однаковою

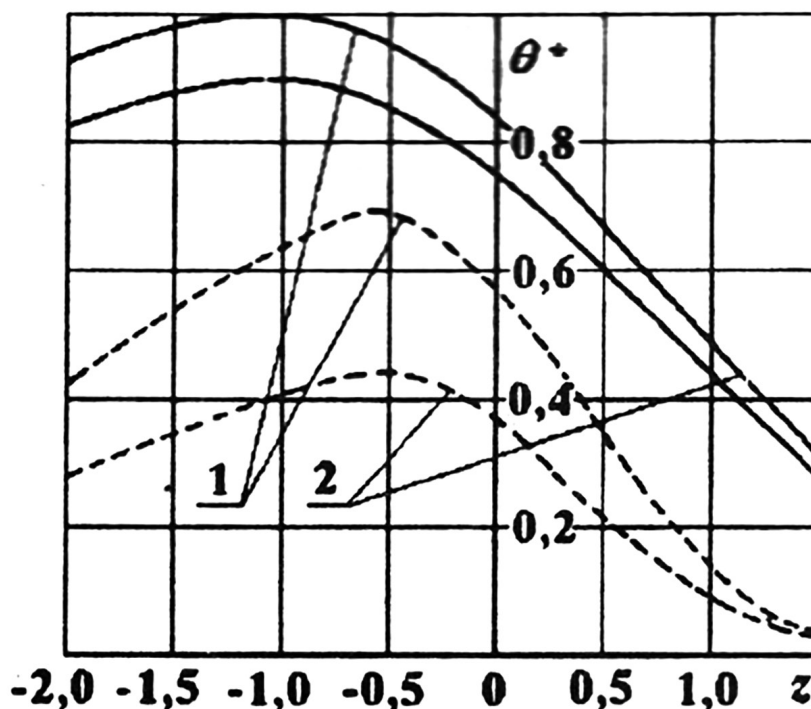


Рис 1. Залежність $\theta^* = f(z)$ в системі «двошарове покриття-підшар-основа» при $y = 0$; 1 – $x = 0$; 2 – $x = 0,683$;
 ——— плазмоутворюючий газ-повітря; ——— плазмоутворюючий газ — аргон

в обох аналізованих ситуаціях. Величина радіусу плями нагріву $\bar{r}_0$ дорівнює 1,0 та 2,0 відповідно для аргонної та повітряної плазми ($\bar{r}_0 = r_0/r_{0a}$, де r_{0a} — радіус плями нагріву для аргонної плазми). Таким чином, ситуації, що порівнюються, характеризуються значеннями r_0 , що відмінні між собою вдвічі при незмінному $q_{\max}$, і отже різняться в чотири рази за величинами загального теплового потоку Q ($Q = q_{\max} \cdot \pi \cdot r_0^2$), що підводиться.

Зміна безрозмірної температури θ^* вздовж координати z для обох випадків, що відповідають використанню різних плазмоутворюючих газів повітря і аргону, представлено на рис. 1. Безрозмірна температура $\theta^* = \theta/\theta_{\max B}$, де θ , $\theta_{\max B}$ — відповідно безрозмірна температура системи та її максимальне значення при використанні повітряної плазми. Представлені данні відповідають наступним значенням вихідних параметрів: $x_1 = 2,56$; $\delta_1 = 0,34$ товщина основи; товщина підшару $\Delta_2 = \Delta_{3c} = 0,0085$; $Pe = 129,6$; число $Bi_{x1} = Bi_{y1} = Bi_{z0} = Bi_{z1} = 5,96 \cdot 10^{-3}$. В ситуації повітряної плазми, як видно з малюнка, температурні рівні

системи в цілому суттєво вищі. В точці з координатами $x = 0$, $y = 0$, $z = -24 \cdot 10^{-3}$ м величина θ складає 0,435 для аргонної плазми та 0,026 для повітряної.

Відносно відмінностей в характері розподілу температури для ситуацій, що порівнюються, то необхідно відмітити наступне. У випадку аргонної плазми, згідно отриманих даних, на поверхні теплопідводу має місце значно більша нерівномірність температурної функції у високотемпературній зоні, якщо ми порівняємо суцільні та пунктирні лінії.

Висновки. Найбільше відхилення температур, що відповідають повітряній та аргонній плазмі, спостерігається поблизу розташування максимуму теплового потоку, що підводиться. Картина зміни температур, що порівнюються на поверхні теплопідводу пояснюється різницею в характері епюри q , для двох випадків, що аналізуються. Тобто в розглянутих умовах температурна функція начебто слідує за епюрою q і зумовлює вказані особливості теплового стану системи в ситуаціях, що порівнюються.

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. Dinzhos R., Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Koseva N., Korzhik V., Parkhomenko O., Zhuravskaya N. Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 5/6 (107). P. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>
2. Fialko N., Meranova N., Korzhik V., Babak V., Sherenkovskiy J., Lazarenko M., Koseva N., Navrodska R., Polozenko N., Dinzhos R. Regularities of influence on thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites of their production methods. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2025. Vol. 82, № 1. P. 145–155. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2025.11>
3. Shchepetov V.V., Fialko N.M., Bys S.S. Abrasive-resistant self-lubricating forsterite-based coatings. *Materials Science*. 2025. Vol. 61. P. 566–571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-026-01026-w>
4. Прокопов В.Г., Фіалко Н.М. Теплофізика енергозберігаючих технологій для енергетики. Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2000. 224 с. ISBN 966-02-1415-4.
5. Шпак А.П., Прокопов В.Г., Фіалко Н.М., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В., Коржик В.Н. Теплофізика формування аморфних і нанокристалічних газотермічних покриттів. Математичні моделі. Київ: Академперіодика, 2005. 120 с.
6. Прокопов В.Г., Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Половинкина Л.Б. Закономірності впливу попереднього нанесення підшарів на тепловий стан деталей з аморфними і нанокристалічними газотермічними покриттями. *Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики: праці XIV Міжнар. конф. Київ: Ін-т пром. екології, ІПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. С. 148–152.*
7. Shchepetov V.V., Fialko N.M., Bys S.S. Solid lubricant nanocoating's based on magnesium compounds. *Problems of Tribology*. 2026. Vol. 31, № 2/120. P. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2026-120-2-86-92>
8. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Полозенко Н.П., Місюра Т.О., Хміль Д.П., Юрчук В.Л. Закономірності впливу різних факторів на тепловий стан системи «напилювана частинка-основа». *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2026. № 5. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-5-12062>

УДК 536.24:621.184.5

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
Член-кореспондент НАН України, завідувач відділом
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Навродська Раїса Олександрівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Navrodska Raisa

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шевчук Світлана Іванівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Shevchuk Svitlana

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Сергієнко Роман Володимирович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Serhiienko Roman

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Гнедаш Георгій Олександрович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Gnedash Georgii

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12156>

ЕФЕКТИВНІСТЬ НОВИХ СИСТЕМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДЛЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ДИМОВИХ ГАЗІВ

EFFICIENCY OF NEW HEAT-RECOVERY UNITS FOR BOILER PLANTS WITH EXHAUST-GAS RECIRCULATION

Анотація. Наведено результати досліджень ефективності використання для опалювального газоспоживального котла з рециркуляцією димових газів нової комбінованої системи теплоутилізації з газогрійним теплоутилізатором – підігрівачем зворотної тепломережної води та водогрійним теплоутилізатором – підігрівачем дуттьового повітря. Використання такої теплоутилізаційної системи забезпечує надійну експлуатацію повітропідвідних каналів котельної установки завдяки запобіганню в них конденсатоутворенню та загальний приріст її ККД на $1,9 \div 4,5\%$.

Ключові слова: глибоке охолодження димових газів, водогрійний та газогрійний повітрянагрівачі, ККД котельної установки.

Summary. The results of research into the effectiveness of using a new complex heat-recovery system with a gas-heat recovery unit – a return water heater and a water-heat recovery unit – a combustion air heater for a gas-fired boiler with exhaust-gas recirculation are presented. The use of such a heat-recovery system ensures reliable operation of the air supply channels of the boiler plant by preventing condensation in them and an overall increase in its efficiency by $1.9 \div 4.9\%$.

Key words: deep cooling of waste gases, water-heat and gas-heat air heaters, boiler efficiency.

Одним із напрямів покращення екологічних показників котельних установок є зменшення емісії оксидів азоту шляхом рециркуляції частини димових газів в топковий простір котла [1–3]. Застосування таких екологоефективних котельних установок пов'язано, як відомо, зі зниженням їхньої теплової ефективності [4]. Для комунальних котельень забезпечення теплової продуктивності екологоефективних котлів на необхідному рівні згідно з потребами тепломережного графіка призводить до перевитрат палива в котлі. Використання для таких котлів нових теплоутилізаційних технологій з попереднім підігріванням димовими газами зворотної тепломережної води та дуттьового повітря (рис. 1) перед надходженням цих теплоносіїв до котла [5] може компенсувати

вказані перевитрати та додатково підвищити ефективність використання палива котельної установки при забезпеченні відвернення конденсатоутворення в її повітряному тракті [6; 7].

Недоліком наведеної схеми є використання газогрійних теплоутилізаторів для нагрівання дуттьового повітря, усі конструкційні рішення яких характеризуються значними габаритами і металоємністю. До того ж, за такою схемою у повітрянагрівачі відбувається глибоке охолодження димових газів, що спонукає до виготовлення цього теплообмінника з легованої сталі, або інших антикорозійних матеріалів.

Для запобігання цим негативним явищам запропоновано використання для котлів з рециркуляцією димових газів нової комбінованої схеми

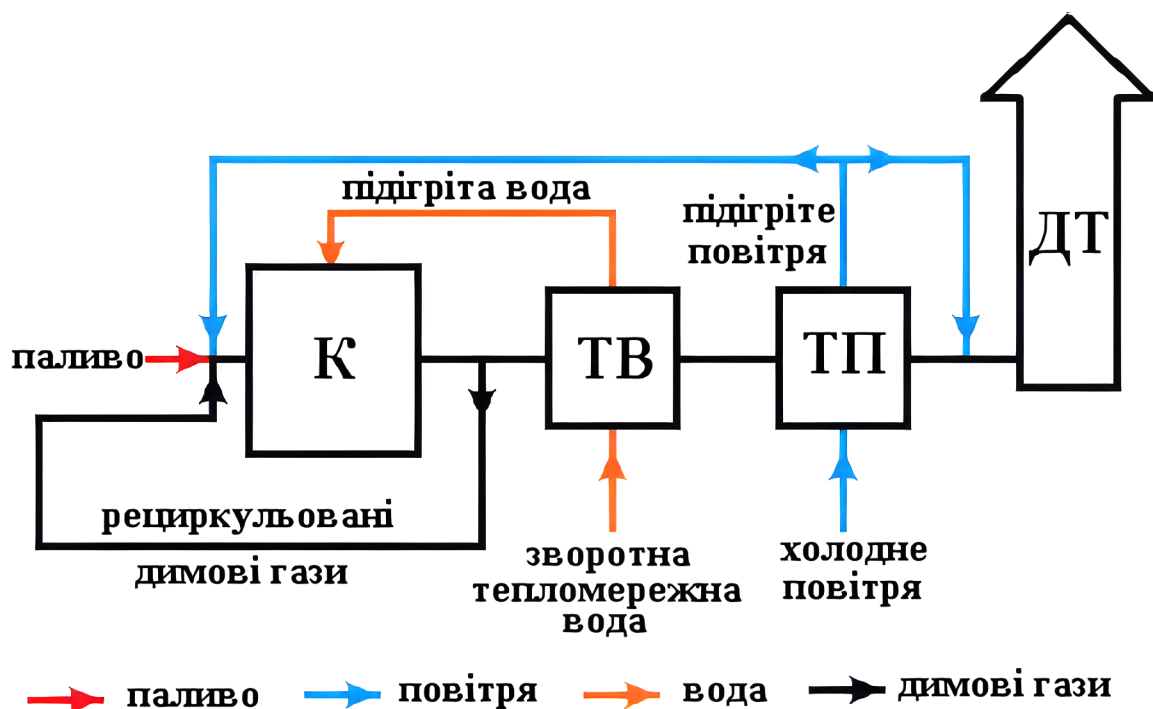


Рис. 1. Структурна схема котельної установки з традиційною системою теплоутилізації з газогрійним повітрянагрівачем:

К — котел; ТВ — теплоутилізатор-водонагрівач для підігрівання зворотної води;
ТП — теплоутилізатор-повітрянагрівач для підігрівання холодного дуттьового повітря; ДТ — димова труба

з водогрійним повітрянагрівачем, який компонується з пучків оребрених труб з алюмінієвим оребренням. Теплообмінна поверхня повітрянагрівача є компактною та стійкою до хімічної дії кислого конденсату, що утворюється при глибокому охолодженні димових газів.

Метою роботи є дослідження теплової ефективності комбінованої теплоутилізаційної схеми з водогрійним повітрянагрівачем для котельних установок з рециркуляцією димових газів.

Використовувались відомі **методи** теплового розрахунку котельних установок, а також результати власних досліджень теплообміну [8] за умов охолодження димових газів нижче температури їхньої точки роси.

Результати досліджень. Основні завдання дослідження полягали: у розробленні нової схеми теплоутилізації (рис. 2) з використанням газогрійного водонагрівача та водогрійного повітрянагрівача; виконанні теплового розрахунку котельної установки з пропонованою системою теплоутилізації в різних режимах експлуатації опалювального котла з рециркуляцією димових газів; зіставленні отриманих результатів з результатами для відомої комбінованої

системи з двома газогрійними теплоутилізаторами (за рис. 1).

В пропонованій схемі дуттьове повітря нагрівається зворотною тепломережною водою перед надходженням її до газогрійного водонагрівача, що підвищує його теплову ефективність. До того ж, теплообмінна поверхня теплоутилізатора — повітрянагрівача (ТП), як і теплоутилізатора — водонагрівача (ТВ), компонується із оребрених біметалевих труб (сталева основа і алюмінієве оребрення), що забезпечує його високу компактність і низьку металоємність.

Вихідними даними для дослідження теплової ефективності запропонованої системи теплоутилізації для газоспоживальної опалювальної котельної установки слугували характеристики застосованого газоспоживального котла в номінальному режимі (табл. 1).

Частки підмішуваних газів α при виконанні розрахункових досліджень приймалися рівними 10, 15 і 20%.

На рис. 3 наведено отримані результати досліджень. Тут проілюстровано закономірності зміни загального (результуючого) ККД котельної установки за схемами рис. 1 та рис. 2.

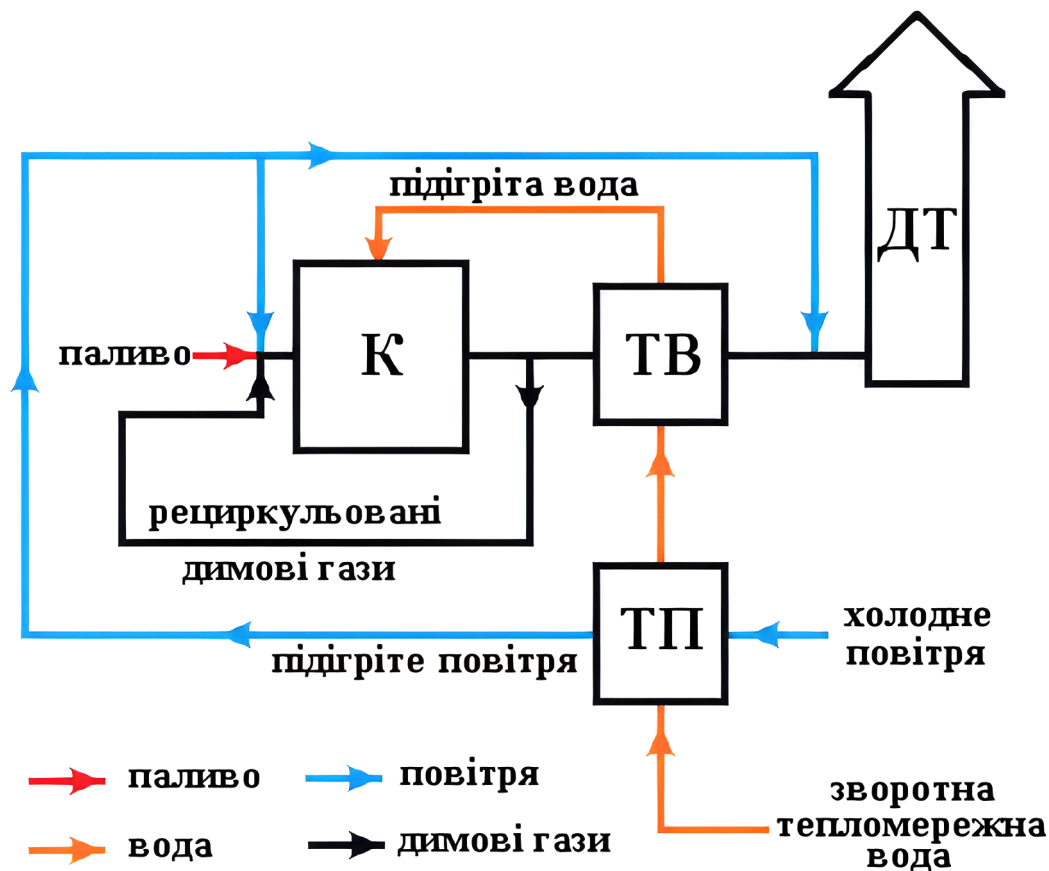


Рис. 2. Структурна схема пропонованої котельної установки з водогрійним повітрянагрівачем:
 К — котел; ТВ — теплоутилізатор-водонагрівач для підігрівання зворотної води;
 ТП — водо-повітряний теплоутилізатор-повітрянагрівач для підігрівання холодного дуттьового повітря;
 ДТ — димова труба

Таблиця 1

Характеристики котла

Найменування характеристики	Значення
Теплопродуктивність, МВт	2,0
Вища теплота згоряння палива, ккал/м ³	9410
Коефіцієнт надлишку повітря	1,1
ККД за вищою теплотою згоряння палива, %	82,0
Температура тепломережної води на вході, °C	70
Температура тепломережної води на виході, °C	95
Витрата природного газу, м ³ /год	219
Температура димових газів за котлом, °C	160

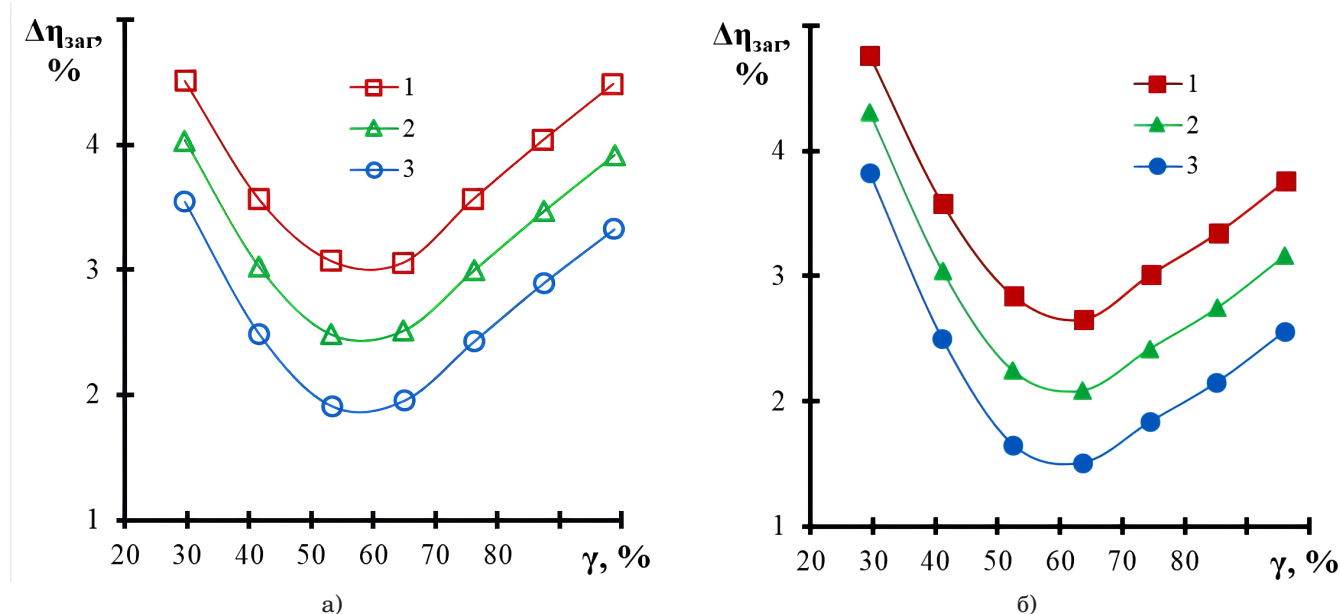


Рис. 3. Закономірності зміни загального значення ККД котельної установки $\Delta\eta_{\text{заг}}$ від її відносного теплового навантаження γ за різних часток σ рециркуляції газів при використанні водогрійного (а) і газогрійного (б) повітрянагрівачів: 1 – $\sigma = 10\%$; 2 – $\sigma = 15\%$; 3 – $\sigma = 20\%$

Загальне значення ККД визначалося з урахуванням його зменшення через рециркуляцію частини димових газів в топку котла з дуттьовим повітрям. Це зменшення зазвичай становить 1 ÷ 3% за прийнятих часток байпасування відхідних газів котла.

Згідно з отриманими результатами, рівень підвищення ККД при використанні нової схеми становить 1,9 ÷ 4,5% в залежності від навантаження котла та часток підмішування у дуттьове повітря димових газів. Вищі значення приросту ККД котла відповідають крайнім значенням розглянутого діапазону теплового навантаження котла. Причому для традиційної теплоутилізаційної системи за найнижчих величин вказаного навантаження приріст ККД є дещо вищим. Нижчий рівень приросту ККД котла для обох розглянутих систем відповідає теплопродуктивностям котла приблизно 60%, які реалізуються за температур повітря навколишнього середовища від мінус 5 до 0 °C. За таких рівнів навантаження котла досягається

невеликий рівень глибокого охолодження димових газів у теплоутилізаторі — водонагрівачі ТВ через недостатньо низьку температуру (> 50 °C) зворотної води на вході в систему теплоутилізації. Отримані результати щодо рівнів підвищення ККД за невеликих навантажень котла пояснюються тим, що зниження вказаної температури сприяє збільшенню рівня конденсації пари з димових газів у теплоутилізаторі — водонагрівачі ТВ і ККД підвищується. За умов великих навантажень котла збільшення ККД відбувається при підвищенні ефективності водогрійного теплоутилізатора-повітрянагрівача ТП завдяки низькій вхідній температурі нагріваного повітря, що забезпечує суттєве зниження витрати палива на котел.

За результатами досліджень рівні підігрівання дуттьового повітря в пропонованій системі теплоутилізації становлять 33...52 °C, що забезпечує відвернення випадення конденсату у повітроводах котельної установки.

Висновки. Застосування запропонованої комбінованої теплоутилізаційної системи з водогрійним повітрянагрівачем забезпечує:

– надійну експлуатацію повітропідвідних каналів котельної установки завдяки підігріванню дуттьового повітря у водогрійному повітропідігрівачі;

– загальний приріст ККД котельної установки $1,9 \div 4,5\%$ завдяки комплексному використанню утилізованої теплоти на нагрівання тепломережної води та дуттьового повітря. Значення ККД визначено з урахуванням втрат теплоти на рециркуляцію димових газів.

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. Derii V.O., Teslenko O.I., Sokolovska I.S. Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2023. Vol. 75, No. 2. P. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03>
2. Nikitin Y., Dutka O. Technical and economic efficiency of combined district heating with local heat source for district hot water. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2020. No. 1. P. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2020.4>
3. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Степанова А.І., Шевчук С.І., Сергієнко Р.В. Теплові аспекти експлуатації опалювальних котельних установок з теплоутилізацією та рециркуляцією димових газів. *Енергетика і автоматика*. 2023. № 2. С. 5–17. DOI: [http://dx.doi.org/10.31548/energiya2\(66\).2023.005](http://dx.doi.org/10.31548/energiya2(66).2023.005)
4. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Serhiienko R.V. Problems of operating heating boilers of increased environmental efficiency. *Natsionalnyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk*. 2023. No. 6. P. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/054>
5. Fialko N.M., Navrodska R.O., Presich G.O., Gnedash G.O., Shevchuk S.I., Stepanova A.I. Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of communal heat energy. Kyiv: Pro format, 2019. 192 p.
6. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Abdulin M. Operation features of environmentally efficient boiler plants of municipal thermal power engineering. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2023. Vol. 45, No. 2. P. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.6>
7. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Abdulin M. Improving the efficiency and reliability of boiler plants operation with flue gas recirculation. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2023. Vol. 45, No. 4. P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.7>
8. Navrodska R.A., Stepanova A.I., Shevchuk S.I., Gnedash G.A., Presich G.A. Experimental investigation of heat-transfer at deep cooling of combustion materials of gas-fired boilers. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. Vol. 28, No. 6. P. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280620>

Vashchenko Yuri*Independent Researcher, BA in History**V.N. Karazina Kharkiv National University*DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12150>

THE ENVIRONMENT AS AN ONTOLOGICAL PREREQUISITE OF HUMAN BEHAVIOUR

Summary. Human behaviour is commonly explained through biological, psychological and social determinants, whereas the ontological status of the environment itself has received comparatively little philosophical attention. This paper examines the environment as the ontological condition of human behaviour and argues that behaviour cannot be understood independently of the context in which it emerges. The study employs philosophical analysis, comparative historical inquiry, systems analysis and conceptual modelling to investigate the interrelationship between the environment, the subject and time. On this basis, it develops a conceptual model in which behaviour is interpreted as the manifestation of the subject over time under the continuous influence of the environment. The proposed formula, $B = f(E \times (S/T))$, is introduced not as a mathematical expression but as a heuristic device intended to represent the structural relations between the principal components of the model. The paper concludes that the environment should be regarded not merely as an external influence on behaviour but as one of the ontological conditions of its possibility, thereby providing a basis for further interdisciplinary research in philosophy, social theory and the human sciences.

Key words: Human Behaviour, Environment, Social Ontology, Subject, Time, Philosophical Anthropology.

Introduction. The issue of the nature of human behaviour has been a constant feature of philosophy throughout its history. In different eras, it has been the subject of research in the fields of ethics, psychology, sociology and the natural sciences. Despite the differences in approach, most theories sought to explain behaviour through internal personality traits, biological factors, social relationships or specific external factors. However, despite the wide variety of existing research, the issue of the environment itself as a fundamental condition for the emergence of human behaviour is raised far less frequently.

The current stage of society's development makes this issue particularly relevant. Information technology, global communications and the constantly changing cultural environment are having an impact on people more rapidly than ever before. Behaviour is increasingly viewed as a set of psychological reactions or social practices, whilst the environment itself is usually understood as merely one of many factors influencing the individual. In my opinion, such a view prevents us from seeing the deeper pattern that underlies human existence.

The environment is referred to as an ontological condition not because it is more powerful than a subject, but because without it, the very existence of

behaviour as a phenomenon would be impossible. Just as space is a prerequisite for motion, and time is a prerequisite for change, so the environment is a prerequisite for behaviour. Behaviour cannot manifest itself outside the environment, since any action is always directed towards something, takes place somewhere, and only acquires meaning within a specific system of relationships. It is precisely this proposition that forms the philosophical basis of this research.

This research is based on the premise that the environment should be regarded not as an external accompaniment to human life, but as its ontological prerequisite. In other words, the issue is not the extent of the environment's influence, but the impossibility of considering human behaviour in isolation from the reality within which it arises and develops.

The issue of human behaviour has repeatedly been the subject of research in philosophy, psychology and sociology. Kurt Lewin viewed behaviour as the result of the interaction between the individual and the environment, thereby laying the foundations for our modern understanding of their interrelationship. Pierre Bourdieu demonstrated how the social environment reproduces itself through a system of habits and cultural practices, thereby shaping stable patterns of behaviour. Albert Bandura substantiated the

importance of social learning by showing that people acquire a significant proportion of their behavioural patterns through observation. Carl Gustav Jung focused on the deep structures of the psyche and the collective experience that influences the development of the personality. Martin Heidegger, in his exploration of human existence, demonstrated that it is impossible to understand human beings apart from their being-in-the-world. Despite the differences between these approaches, they are united by a desire to explain various aspects of human behaviour. This research does not aim to review or criticise them. On the contrary, it stems from a recognition of their significance, proposing that the environment be regarded as an ontological prerequisite without which human behaviour itself would be impossible.

The object of this research is human behaviour.

The subject of the research is the environment as an ontological prerequisite of human behaviour.

The purpose of the research is to develop a philosophical model that explains human behaviour through the interrelationships between the environment, the individual and time.

To achieve this purpose, the following tasks were identified:

- to analyse existing interdisciplinary approaches to understanding human behaviour,
- to define the concepts of environment, subject and time within the framework of the proposed concept,
- to investigate the influence of the environment on the formation of responses, choice and decision-making,
- to highlight the role of the information environment as a new form of cultural heritage,
- to substantiate a philosophical model of behaviour expressed by means of a conceptual formula.

The methodological framework of the research comprises philosophical analysis, the comparative historical method, elements of the hermeneutic approach, systems analysis and conceptual modelling. The interdisciplinary nature of this paper makes it possible to compare data from philosophy, the history of science, psychology and sociology in order to identify general patterns in the development of human behaviour.

The scientific novelty of this research lies in the fact that the environment is regarded not as one of the factors influencing behaviour, but as its ontological condition. The proposed model describes behaviour as a process whereby the subject manifests itself over time under the continuous influence of its environment, and is expressed by means of a conceptual formula intended not for quantitative calculation but for a philosophical description of the interrelationships between its key elements.

This paper does not set out to develop a universal psychological theory of personality, nor does it examine the physiological mechanisms of behaviour. Its goal is to provide a philosophical understanding of the conditions within which human behaviour becomes possible.

It is for this reason that further research begins not with an analysis of the individual, but with an examination of the environment within which all human thought, activity and behaviour arise [9].

Environment as an ontological prerequisite.

The desire to understand the nature of things has accompanied humankind throughout its history. It is most often the natural sciences that seek answers, yet every scientific discovery begins not with an experiment, but with a question posed by the researcher. A question never arises out of nowhere: it emerges within a specific context that shapes a person's way of thinking and the limits of their understanding of the world.

Any experiment requires strictly defined conditions. In physics and chemistry, the result depends on temperature, pressure, the accuracy of the instruments, the composition of a substance and a host of other factors. A change to even one condition can lead to a completely different result. If the same experiment were to be carried out in outer space or in a vacuum, not only would the conditions under which it is conducted change, but so too would the very properties of the phenomenon under study [14].

The history of science has repeatedly demonstrated this kind of relationship. Thus, James Clerk Maxwell (Maxwell 1873), drawing on mathematical calculations, proposed that light has a wave-like nature. Subsequent experiments by Thomas Young (Young 1804) and Heinrich Hertz (Hertz 1893) confirmed the possibility of interference and the propagation of electromagnetic waves, thereby significantly changing the scientific understanding of the nature of light. However, this raises the question: would these discoveries have been possible if the researchers themselves had been educated in different historical, cultural or educational contexts? In other words, is it possible to completely separate a scientific idea from the context in which it arose?

At first glance, it might seem that discoveries are the sole preserve of outstanding individuals. However, it is impossible to consider the individual in isolation from the circumstances of their development. Every researcher is not only the author of a discovery, but also the product of a vast array of influences: the era, education, language, culture, social relationships and accumulated experience. It is for this very reason that the subject of this research is not the individual, but the environment as the fundamental prerequisite for the emergence of human behaviour and human thought [2].

The environment is like the tree Yggdrasil from Norse mythology. Its branches and roots permeate all worlds, binding them together into a single whole. In the same way, the environment quietly accompanies a person throughout their life. It is not always recognised, as it is a constant prerequisite of existence; yet it is precisely within it that values, beliefs, ways

of perceiving the world and patterns of behaviour are formed.

For example, it is impossible to consider guilt in isolation from the moral framework within which a person was brought up. A cause of deep remorse in one culture may be regarded as an acceptable or even approved norm in another. Consequently, behaviour is determined not only by the individual characteristics of the subject, but also by the system of relationships within which these characteristics develop [3].

It is for this very reason that this paper proposes that the environment be regarded not as one of the factors influencing behaviour, but as its ontological prerequisite. If philosophy seeks to explain human beings, then it is first and foremost necessary to understand the space within which human existence itself and any form of behaviour become possible [5].

If the environment is considered as an ontological prerequisite of human behaviour, it is required first to determine how it exerts its influence. To do this, it is not enough simply to analyse a person's actions. We should turn to the more fundamental aspects of his existence: reactions, choices and decision-making. It is here that the gradual influence of the environment becomes apparent, an influence that often goes unnoticed by the subject itself [1].

Carl Gustav Jung wrote about the need to explore the deeper foundations of the human psyche. Following this line of reasoning, the present research aims to examine not an individual human action, but the conditions that make such an action possible in the first place. Any human reaction appears to be instantaneous only on the surface. In reality, it is preceded by a lengthy process of the subject's formation. If we picture a young man brought up in Ancient Sparta, it becomes clear that his ability to react instantly to danger is not an innate quality, but the result of many years of training. Constant discipline, physical training and a specific cultural environment gradually turned a certain type of behaviour into a natural response [8].

Reaction, choice and decision. A similar process can be observed in modern society. Healthcare workers, military personnel, emergency services staff and firefighters make decisions much more quickly than someone without training. However, this pace is not a random personality trait, but rather the result of prolonged exposure to the professional environment [1].

That is why the proverb "constant dropping wears away a stone" takes on a philosophical meaning here. Time, in itself, does not change a person. It merely allows the environment to exert a continuous influence on the subject, gradually shaping stable patterns of perception and behaviour. Consequently, a reaction is not an instantaneous phenomenon, but the result of a prolonged interaction between the subject and the environment [9].

The problem of choice is considerably more complex than the problem of reaction. People usually take their

own freedom for granted. We tend to think that every choice is entirely a matter of our own free will. However, this view warrants a more in-depth analysis [5].

An interesting example can be found in the works of Jacques Fresco. Regardless of one's views on his philosophical ideas, many of his arguments demonstrate just how significantly social organisation can alter human preferences [7].

The history of the XX century also reveals a similar pattern. After the First World War, the United States was faced with the consequences of the Great Depression. The economic crisis has changed public expectations, given rise to new political movements and forced millions of people to rethink their own beliefs. Many people joined various political parties, believing that they were making a completely independent choice. However, their decisions arose within a specific historical context, which had already defined the range of possible responses to the problems at hand.

Later, the political situation changed. Some ideas had become dominant, whilst others had been deemed socially unacceptable. As the environment had changed, so too had the range of acceptable choices.

An important conclusion follows from this. Choice does not exist in isolation from its context. It always takes place within a specific historical, cultural and informational context. It is the environment that determines the range of possibilities within which the subject is able to carry out their own decision.

It therefore seems more accurate to say not that the environment makes a choice on a person's behalf, but that it creates the conditions within which a particular choice becomes the most likely.

Just like Neo in the film "The Matrix", people are constantly faced with the problem of choice. However, the very possibility of choice arises within a particular system. "The problem is choice", as the Architect says. This research proposes taking things a step further: the problem lies not only in choice itself, but also in the environment that defines the boundaries of what is possible even before a decision is made.

If we combine reaction and choice into a single system, it becomes possible to view a decision as the natural outcome of a prolonged interaction between the subject and its environment. Such a statement is not a dystopian idea or a denial of human freedom. On the contrary, it represents an attempt to identify recurring patterns that can be found both in sociological research and in the historical experience of many generations [14].

The problem is not choice itself. The problem lies in the circumstances in which choice arises.

That is why, in the words of Friedrich Nietzsche, the researcher should try to look "beyond good and evil". This approach makes it possible to avoid making moral judgements about phenomena and to focus on identifying the causes behind them. The objective of this work is not to justify human actions, but to

understand the mechanisms that make them possible [12].

Information environment. If we are to examine the influence of the environment in greater detail, we must consider not only its external manifestations but also the internal structures that accompany a person throughout their life. They cannot be seen directly, yet they are constantly present, much like gamma radiation: whilst remaining invisible, they continue to have an effect.

The most enduring form of such influence is the social environment. A person is capable of changing their place of residence, profession, social circle or political views. However, it is considerably more difficult to change the ways of thinking instilled by the family, culture and society within which one's development took place [3].

The social environment has an unusual characteristic: it reproduces itself. Each generation passes on to the next not only knowledge, but also ways of interpreting the world, values, standards of behaviour and patterns of communication. This is why many of our fears, aspirations and forms of resilience are not merely random personal traits, but a historical continuation of the environment in which we grew up.

If we look back at human history, we can see that the transition from the Palaeolithic to the Neolithic Revolution changed more than just the ways in which people organised their livelihoods. It laid the foundations for the continuous transfer of knowledge between generations. From that moment on, the environment ceased to exist solely as a set of natural conditions and became a cultural heritage that constantly reproduces itself [15].

That is why thinkers from different eras did not appear by chance. Over the centuries, Christian Europe had fostered a culture of reading, theological debate and philosophical reflection. Many future philosophers initially studied religious texts, and only later developed their own ideas about freedom, logic and human nature. Even a dispute with tradition is only possible if the tradition itself exists.

Consequently, the thinker is not an exception to the influence of the environment, but one of the forms of its historical development [15].

Whilst in earlier eras people were shaped primarily by their family, religion and immediate surroundings, modern society is increasingly shaped by the information environment [2].

The Internet has become one of the greatest transformations in human civilisation. In terms of its impact, it can be compared to the discovery of fire, the emergence of writing or the dawn of the Industrial Age. It did not merely speed up the flow of information but changed the very mechanism by which opinions are formed [11].

The algorithms used by digital platforms create a sense of freedom of choice by offering users content

tailored to their interests. However, at the same time, they shape new preferences, gradually altering the very scope of a person's interests.

This is particularly evident in the phenomenon of internet memes. At first glance, a meme is a form of entertainment. In reality, however, it becomes a vehicle for cultural transmission, enabling values, behavioural patterns and ways of perceiving reality to be disseminated extremely rapidly. The deeper the cultural context, the more the meme becomes understandable only to a narrower circle of people, evolving into a kind of language specific to a particular social milieu [2].

That is why the information environment is neither good nor bad in itself. Like any tool, its value depends entirely on how it is used. A weapon can be used for both attack and defence. Similarly, digital technologies have the potential both to restrict people's independent thinking and to expand their capabilities, provided they are used as a means of learning rather than as a substitute for thinking for oneself.

Consequently, the modern information environment is becoming a new historical stage in the development of human behaviour, whilst retaining the same underlying principle: human beings continue to be shaped by an environment that they themselves often fail to notice.

New ideologies, behavioural patterns and ways of perceiving reality are emerging from these digital spaces. They are capable of intensifying aggression, fostering pacifist views or altering a person's attitude towards themselves. However, it is not the content of the information itself that proves decisive, but the way in which it is conveyed and perceived.

Information does not have an inherent moral connotation. The same ideas can be a source of creation or destruction, depending on the context in which they are interpreted. That is why myths have continued to be a part of human life for millennia. (Jung 1959) [8] Not only do they explain the world, but they also inspire people far more than a mere presentation of facts. History shows that it is often the images themselves that prove to be more enduring than the events that gave rise to them [12].

Consequently, one of the most important objectives for people today is not the accumulation of information, but its meaningful sorting. The world of the XXI century generates such a vast amount of knowledge that the key skill is the ability to distinguish between what contributes to one's personal development and what merely absorbs one's attention.

To summarise our discussion of the environment, we can draw a fundamental conclusion: the environment is not a passive backdrop to human life. It constitutes a continuously operating framework within which reactions, choices, decisions and ways of thinking take shape.

That is why human behaviour cannot be explained solely by a person's inner traits. Any behaviour

constitutes a manifestation of the subject within a given environment.

That said, the extent to which the environment influences the subject also depends on the subject itself. One person strives to integrate fully into society, whilst another consciously limits their involvement in social processes. However, even an attempt to distance oneself does not mean that the influence of one's environment disappears. It continues to exert its influence through language, culture, memory, habits and ways of thinking, which have already become part of a person's very being.

Subject and time. Having examined the environment, it is required now to identify the second component of the proposed model, i.e. the subject.

In this research, the term "subject" does not refer to a common-sense conception of the individual, nor to a set of social roles. The subject refers to a person's internal constitution, comprising their biological characteristics, the properties of their nervous system, memory, accumulated experience, cognitive abilities and individual ways of perceiving the world around them.

However, the subject cannot be regarded as a static construct. It exists solely in time, constantly changing under the influence of its environment. That is why a human being is not a complete system. A person's inner state is constantly evolving in tandem with changes in the world around him [5].

In this sense, the concept of time takes on particular significance. Albert Einstein demonstrated the relativity of time in a physical sense. This research uses this idea as a philosophical analogy. Time is understood here not as a physical quantity, but as a measure of the duration of the subject's interaction with the environment [4].

It is the duration of this interaction that determines the extent to which a person's inner traits are revealed.

Let us imagine a person with impaired memory or a reduced ability to learn quickly. In a calm, supportive social environment, such characteristics may pose virtually no obstacle to his development. Conversely, in a society built on constant competition and strict discipline, these same characteristics become a serious constraint [1].

Consequently, it is impossible to assess a person outside their environment. The same subject is capable of exhibiting completely different qualities depending on the conditions of its existence [9].

This pattern is particularly evident when analysing crime. A criminal is not born a criminal in the full sense of the word. His or her abilities might have developed quite differently under different circumstances. Someone with an exceptional understanding of hacking techniques has the potential to become a talented engineer, an information security specialist or a designer of complex security systems. However,

the lack of a suitable environment often causes those very same abilities to be channelled in the opposite direction [1].

That is why punishment in itself does not always address the root causes of criminal behaviour. If, following their release, a person returns to the environment that gave rise to their initial patterns of behaviour, the likelihood of them repeating those patterns increases significantly. Consequently, the subject cannot change without a change in the environment within which it continues to exist.

Having examined the environment and the subject, we can now move on to the third element of the proposed model, which is time.

It is time that allows us to see what remains hidden when analysing a person's individual actions. The environment does not have an immediate effect. It shapes the individual gradually, day by day, transforming random impressions into established ways of thinking.

Let's imagine a person who has spent a long time amongst people who are passionate about floristry. Gradually, they begin to distinguish between different types of plants, understand the characteristics of their growth, and appreciate the beauty of the structure of their leaves, flowers and stems. This knowledge does not come all at once. They are the result of prolonged exposure to a particular environment.

Any ideological environment operates in a similar way. If a person finds themselves surrounded every day by people who share the same views, they gradually begin to regard those views as natural. This does not mean a complete loss of the ability to think critically. However, without alternative examples, it is much more difficult for a person to look beyond the worldview they have already internalised [14].

Conclusion. Consequently, human memory is shaped not only by individual experience, but also by the duration of interaction with the environment. In the decision-making process, the subject inevitably draws on patterns of behaviour that have already been learnt. Just like a player shuffling the cards in their own deck, a person does not choose from an infinite array of possibilities, but primarily from those that are already part of their life experience.

Thus, time is not an independent cause of behaviour, but rather a measure of the cumulative effect of the environment on the subject.

The research carried out enables us to propose a different philosophical model for understanding human behaviour. The environment is not merely an external backdrop to human life, but an ontological prerequisite of the subject's existence. It is within this that values, ways of thinking, behavioural patterns and the scope for choice arise. The subject, for its part, is not a complete and unchanging entity. Its internal characteristics only become apparent over time, through constant interaction with its environment. Consequently, behaviour can be defined as the process

by which the subject manifests itself over time under the continuous influence of its environment. It is this proposition that forms the basis of the proposed model.

The formula:

$$B = f(E \times (S / T))$$

is not a mathematical law and does not claim to be capable of quantifying human behaviour. It is a philosophical model that provides a concise way of expressing the interrelationships between the key elements of the research, where:

B — behaviour,

E — environment,

S — subject,

T — time as a measure of the cumulative interaction between the subject and the environment;

f — the mechanism underlying the emergence of behaviour, reflecting the interrelationship between all the elements listed.

This model does not provide a means of manipulating people. On the contrary, its purpose is quite different — to reveal the prerequisites within which human behaviour becomes possible.

Understanding one's own environment does not take away a person's freedom, but makes it more

conscious. The better the subject understands the mechanisms by which the environment influences it, the more opportunities it has to engage with it in a meaningful way.

It is for this reason that the purpose of this research is not to seek a universal method for changing people, but rather to demonstrate that personal development cannot be considered in isolation from one's environment, time and historical experience.

Every person is a unique manifestation of the long-term interaction between biological nature, cultural heritage, the social environment and their own life journey. That is why human dignity lies not only in one's individuality, but also in the ability to recognise the circumstances of one's own development. As early as Plato, in his dialogue "The Laws", regarded inner self-control as the highest form of human triumph, contrasting it with defeat at the hands of one's own passions [13].

The proposed model does not provide a definitive account of human nature. On the contrary, it opens up the possibility for further philosophical analysis of the environment as a fundamental prerequisite of human existence.

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. Bandura, Albert. 1977. *Social Learning Theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
2. Berger, Peter L., and Thomas Luckmann. 1966. *The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge*. Garden City, NY: Anchor Books.
3. Bourdieu, Pierre. 1977. *Outline of a Theory of Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Einstein, Albert. 1920. *Relativity: The Special and the General Theory*. London: Methuen.
5. Fresco Jacque. 2007. *Designing the Future*. Venus, FL: The Venus Project, Inc.
6. Heidegger, Martin. 1927. *Being and Time*. Tübingen: Max Niemeyer.
7. Hertz, Heinrich. 1893. *Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity through Space*. London: Macmillan.
8. Jung, Carl Gustav. 1959. *The Archetypes and the Collective Unconscious*. In *The Collected Works of C. G. Jung*. Vol. 9, Part 1. Princeton, NJ: Princeton University Press.
9. Lewin, Kurt. 1936. *Principles of Topological Psychology*. New York: McGraw-Hill.
10. Maxwell, James Clerk. 1873. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 2 vols. Oxford: Clarendon Press.
11. McLuhan, Marshall. 1964. *Understanding Media: The Extensions of Man*. New York: McGraw-Hill.
12. Nietzsche, Friedrich. 1886. *Beyond Good and Evil*. Leipzig: C. G. Naumann.
13. Plato. 1926. *Laws*. Vol. I (Books I–VI). Translated by R. G. Bury. Loeb Classical Library 187. Cambridge, MA: Harvard University Press.
14. Popper, Karl R. 1959. *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.
15. Toynbee, Arnold J. 1934–1961. *A Study of History*. 12 vols. Oxford: Oxford University Press.
16. Young, Thomas. 1804. *Experimental Demonstrations of the General Law of the Interference of Light*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

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

Збірник наукових статей

№ 9 (188)

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 30.09.2026. Формат 60×84/8
Папір офсетний. Гарнітура NewCenturySchoolbook.
Умовно-друкованих аркушів 9.07. Тираж 100.
Замовлення № 405. 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.