



International Science Group

ISG-KONF.COM

**XXXI International scientific and practical conference
«Frontiers of modern knowledge: integration of theory
and practice»**

**August 4–7, 2026
Sofia, Bulgaria**

ISBN - 979-8-90600-154-2

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.31

FRONTIERS OF MODERN KNOWLEDGE: INTEGRATION OF THEORY AND PRACTICE

Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference

Sofia, Bulgaria
August 4–7, 2026

UDC 01.1

The 31th International scientific and practical conference “Frontiers of modern knowledge: integration of theory and practice” (August 4–7, 2026) Sofia, Bulgaria. International Science Group. 2026. 96 p.

ISBN – 979-8-90600-154-2

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.31

EDITORIAL BOARD

<u>Pluzhnik Elena</u>	Professor of the Department of Criminal Law and Criminology Odessa State University of Internal Affairs Candidate of Law, Associate Professor
<u>Liudmyla Polyvana</u>	Department of accounting, Audit and Taxation, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
<u>Mushenyk Iryna</u>	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Mathematical Disciplines, Informatics and Modeling. Podolsk State Agrarian Technical University
<u>Prudka Liudmyla</u>	Odessa State University of Internal Affairs, Associate Professor of Criminology and Psychology Department
<u>Marchenko Dmytro</u>	PhD, Associate Professor, Lecturer, Deputy Dean on Academic Affairs Faculty of Engineering and Energy
<u>Harchenko Roman</u>	Candidate of Technical Sciences, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles.
<u>Belei Svitlana</u>	Ph.D., Associate Professor, Department of Economics and Security of Enterprise
<u>Lidiya Parashchuk</u>	PhD in specialty 05.17.11 "Technology of refractory non-metallic materials"
<u>Levon Mariia</u>	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Scientific direction - morphology of the human digestive system
<u>Hubal Halyna</u> <u>Mykolaivna</u>	Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

TABLE OF CONTENTS

AUTOMATION AND COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES		
1.	Сідельников О.В. МЕТОД ФОРМУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ ТА ПОШУКУ СТАНУ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНОГО ПОРОХУ ЗА СЕРІЄЮ ВИМІРЮВАНЬ	6
CHEMISTRY		
2.	Fedorov O., Kustovska A. ACID-ACTIVATED BENTONITE PRODUCTION	13
3.	Koshchii I., Klimko Y. ADAMANTYLGLYCINE AS A SYNTHON FOR NITROGENOUS HETEROCYCLES. SYNTHESIS OF 3-(ADAMANTAN-1-YL)-6,10B- DIHYDRO-2H-OXAZOLO[2,3-A]ISOQUINOLINE-2,5(3H)-DIONE	15
DENTISTRY		
4.	Kovach I., Binduihin O., Shcherbina I. FINAL POSITION OF THE MANDIBULAR INCISORS AS A COMPONENT OF BIOLOGICAL STABILITY OF ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES: FROM CEPHALOMETRIC NORMS TO THE OSSEOUS TYPE	18
ECOLOGY		
5.	Poleva J. FROM ORGANISMS TO ECOSYSTEMS: A KEY PERSPECTIVE IN INTRODUCTORY BIOLOGY	24
6.	Дичко А.О., Ямковий О.О. ЕКОЛОГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВ	30
ELECTRICAL ENGINEERING		
7.	Shatalov Y., Kyryk V. EFFECT OF OPTUNA SEARCH DEPTH AND TEMPORAL VALIDATION BREADTH ON PAIRED ACTIVE AND REACTIVE POWER FORECASTING	33

ELECTRONICS		
8.	Волошин В.О. МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО МІНІМІЗАЦІЇ ФАЗОВОЇ ПОМИЛКИ В ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМАХ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ПРИ АДИТИВНІЙ ПЕРЕШКОДІ НА ВХОДІ	43
9.	Туровський О.Л., Бондаренко Є.В. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНОЇ НЕФЛУКТУАЦІЙНОЇ ЗАВАДИ НА СИГНАЛИ З БАГАТОПОЗИЦІЙНОЮ ІМПУЛЬСНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ	47
10.	Хода Р.М. ІННОВАЦІЙНІ ТА ГІБРИДНІ МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНОГО ПОРИСТОГО ШАРУ НА ПОВЕРХНІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ	52
LAW		
11.	Гуцал В. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ СТРІЛЯЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НЕБОЙОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЯК З ВНЕСЕНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ЗМІНАМИ, ТАК І БЕЗ НИХ	55
12.	Набільська К.Г., Пчеліна О.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПУ ДО ПРАВОСУДДЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ У КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОВАДЖЕННІ: ПРАВОВІ ГАРАНТІЇ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ	65
13.	Набільська К.Г., Пчеліна О.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАВА НА ЗАХИСТ ПІДОЗРЮВАНОВОГО/ОБВИНУВАЧЕНОГО З ПСИХІЧНИМИ РОЗЛАДАМИ У КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ	69
14.	Нестерова І.А. КРИМІНОЛОГІЧНЕ ПРОФІЛЮВАННЯ СЕРІЙНИХ ВБИВЦЬ: ІНТЕГРАЦІЯ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ	73
MECHANICAL ENGINEERING		
15.	Japaridze G., Metreveli A., Kelbakiani L. MATHEMATICAL METHODS FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF THE TOWER CRANE	78

16.	Василишин В.Я., Василишин Ю.В. ДУАЛЬНА ОСВІТА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОДОЛАННЯ КАДРОВОГО ДЕФІЦИТУ В МАШИНОБУДІВНІЙ ТА АВТОТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗЯХ	82
MEDICINE		
17.	Danylenko O., Kolosovych I. THE ROLE OF SYNERGISTIC USE OF MINIMALLY INVASIVE TECHNIQUES IN THE STAGING OF LOCALLY ADVANCED AND METASTATIC COLORECTAL CANCER	88
TECHNICAL SCIENCES		
18.	Притчин С.Е., Янчук І.В., Ведмідь Д.С., Регеда В.О., Непорада Д.С. ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ З КЕРОВАНОЮ ПОРУВАТИСТЮ ДЛЯ СЕНСОРИКИ ТА ФОТОВОЛЬТАЇКИ	92

МЕТОД ФОРМУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ ТА ПОШУКУ СТАНУ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНОГО ПОРОХУ ЗА СЕРІЄЮ ВИМІРЮВАНЬ

Сідельников Олександр Володимирович

Аспірант

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація

Робота присвячена алгоритмічній організації бібліотечного пошуку поточного стану нітроцелюлозного пороку за серією вимірювань. Попередній контур формує масив фізично допустимих розрахункових станів, а оперативний контур зіставляє експериментальні пари «режимний параметр – температура» з елементами масиву.

Бібліотека має тривимірну структуру (T, χ, I_t) . Нормовані параметри елементного складу й енергетичної характеристики кодуються чотириблоковим числом-згорточкою E_k . Кожен експеримент формує множину допустимих кодів; перетин множин для серії наважок визначає спільний стан партії. Елементний баланс, невід’ємність кількостей речовини та фазова узгодженість вилучають фізично нереалізовані кандидати.

1. Вступ

Оперативна ідентифікація НЦП потребує структури даних, яка пов’язує вимірювані параметри з попередньо розрахованими станами. Повторне розв’язання нелінійної системи для кожної проби збільшує обчислювальні витрати та зберігає чутливість оберненої постановки до похибок і поганої обумовленості [1–3]. Бібліотечний метод переносить рівноважні розрахунки до попереднього контуру та замінює оперативну інверсію індексним пошуком серед фізично допустимих станів [4].

Контрольна серія охоплює наважки однієї партії. Зміни складу та енергетичних параметрів НЦП, спричинені старінням і умовами зберігання, впливають на його енергобалістичні характеристики [5–7]. У контрольному експерименті ці зміни відображаються у виміряній температурі газової суміші [4]. Один режим виділяє лише підмножину допустимих станів. Спільний стан визначає перетин підмножин, сформованих для всієї серії. Центральними задачами є структура бібліотеки, кодування параметрів і алгоритм узгодження кандидатів.

Мета роботи – розробити алгоритмічну схему формування бібліотеки розв’язків прямої задачі та ідентифікації стану НЦП за серією експериментів. Схема охоплює дискретизацію вимірюваних величин, позиційне кодування параметрів, пошук за перетином множин і фізичну фільтрацію результатів.

2. Постановка задачі ідентифікації

Контрольна серія складається з M експериментів із наважками однієї однорідної партії НЦП. Для i -го експерименту задається режимний параметр χ_i ,

який визначається масою наважки та параметрами газового заповнення ємності, і вимірюється температура T_i газової суміші у ємності фіксованого об'єму. Дані i -го експерименту подаються вектором:

$$\mathbf{z}_i = (\chi_i, T_i), \quad i = 1, \dots, M \quad (1)$$

де $\mathbf{z}_i$ – вектор вимірювань i -го експерименту; χ_i – режимний параметр; T_i – виміряна температура; M – кількість експериментів.

Шуканий стан охоплює енергетичну характеристику та нормовані кількості атомів водню, кисню й азоту у брутто-формулі НЦП. Кількість атомів вуглецю приймається за одиницю нормування, тому окремого параметра для С не вводять. Для k -го варіанта бібліотеки вектор стану має вигляд:

$$\boldsymbol{\theta}_k = (I_{t,k}, b_{H,k}, b_{O,k}, b_{N,k}) \quad (2)$$

де $\boldsymbol{\theta}_k$ – вектор k -го розрахункового стану; $I_{t,k}$ – нормована ентальпія k -го розрахункового стану, яку використовують як його енергетичну характеристику; $b_{H,k}$, $b_{O,k}$, $b_{N,k}$ – кількості атомів водню, кисню й азоту, нормовані за кількістю атомів вуглецю.

Пряма задача встановлює відповідність між $\boldsymbol{\theta}_k$, режимним параметром χ і вихідною температурою T . Рівноважний розрахунок також визначає склад газової та конденсованої фаз. Термодинамічні властивості продуктів задаються узгодженим довідковим набором [8]. Обернена задача знаходить вектор $\boldsymbol{\theta}_k$, який одночасно узгоджується з усіма парами (χ_i, T_i) .

3. Формування бібліотеки розрахункових станів

Формування бібліотеки починається з визначення допустимих діапазонів ентальпії та нормованих кількостей атомів Н, О і N. Алгоритм послідовно змінює незалежні параметри, розв'язує пряму задачу для заданих режимів і відкидає варіанти, що порушують елементний баланс або дають від'ємні кількості компонентів. Кожен прийнятий розв'язок містить вихідні параметри $\boldsymbol{\theta}_k$, температуру T , режимний параметр χ , рівноважний склад продуктів та похідну енергетичну характеристику [1–4].

Для компактного зберігання чотири незалежні параметри стану перетворюються на цілочислові коди $q_{r,k}$. Кожен параметр займає фіксовану пару десяткових розрядів. Число-згортка обчислюється за позиційним правилом:

$$E_k = \sum_{r=0}^3 q_{r,k} 100^{(3-r)} \quad (3)$$

де E_k – число-згортка k -го стану; $q_{r,k}$ – двозначний код r -го нормованого параметра; $r = 0$ відповідає енергетичній характеристиці, а $r = 1, 2, 3$ – нормованим кількостям атомів Н, О і N відповідно. Декодування E_k однозначно відновлює чотири незалежні параметри прямої задачі.

Результати прямої задачі структуруються за трьома координатами: температурою T , режимним параметром χ та енергетичною характеристикою I_t .

Кроки ΔT і $\Delta \chi$ узгоджують із точністю температурного та режимного каналів, а ΔI_t задає енергетичну роздільність бібліотеки. Загальну кількість комірок масиву визначають за співвідношенням:

$$N_B = N_T N_\chi N_{I_t} \quad (4)$$

де N_B – загальна кількість комірок бібліотеки; N_T , N_χ і N_{I_t} – кількість інтервалів за температурою, режимним параметром та енергетичною характеристикою відповідно.

Таблиця 1.
Структура тривимірного масиву бібліотеки станів НЦП

Компонент масиву	Зміст	Дискретизація	Функція у пошуку
Вісь T	Температура продуктів або суміші газів	Крок ΔT відповідає точності температурного каналу	Визначає температурний шар бібліотеки
Вісь χ	Режимний параметр контрольного експерименту	Крок $\Delta \chi$ відповідає точності задавання режиму	Пов'язує вимірювання з умовами експерименту
Вісь I_t	Енергетична характеристика розрахункового стану	Крок ΔI_t задає енергетичну роздільність	Розділяє стани з близькими T і χ
Вектор комірки	Множина чисел-згорток E_k	Довжина залежить від кількості допустимих станів	Зберігає альтернативні варіанти складу

Джерело: розроблено автором на основі [1–4; 8].

Одна комірка може містити кілька чисел-згорток, оскільки різні склади інколи формують близькі значення температури та режимного параметра. Третя координата за I_t зменшує кількість таких збігів, але не усуває неоднозначність повністю. Остаточний відбір виконує серія незалежних вимірювань.

4. Пошук узгодженого стану за серією вимірювань

Для кожної експериментальної пари (χ_i, T_i) алгоритм визначає індекси відповідної комірки. Похибки вимірювання розширюють пошук на сусідні інтервали. З усіх відібраних комірок формується множина Ω_i чисел-згорток, сумісних з i -м експериментом. Спільний внутрішній стан партії повинен належати перетину множин:

$$\Omega = \bigcap_{i=1}^M \Omega_i \quad (5)$$

де Ω – множина кодів, узгоджених з усією серією; Ω_i – множина кодів, відібраних за i -м вимірюванням; M – кількість експериментів.

Єдиний елемент у Ω визначає однозначний розв'язок. Кілька елементів утворюють множину альтернативних розв'язків, яку додатково ранжують за відхиленням розрахункових температур від виміряних. Порожній перетин означає неузгодженість даних з областю бібліотеки. Алгоритм у такому разі

формує відмову від класифікації, а не примусово обирає найближчий фізично сумнівний стан.

Таблиця 2.

Послідовність бібліотечного пошуку стану НЦП

Етап	Операція	Результат
1	Задання χ_i та реєстрація T_i для серії наважок	Масив експериментальних пар (χ_i, T_i)
2	Визначення індексів комірок з урахуванням допусків	Області пошуку для кожного експерименту
3	Зчитування векторів чисел-згорток E_k	Множини кандидатів Ω_i
4	Перетин множин кандидатів	Спільні коди стану Ω
5	Декодування E_k і перевірка фізичних обмежень	Відсів нереалізованих складів
6	Формування результату ідентифікації	Склад, енергетична характеристика та рівень визначеності

Джерело: розроблено автором на основі [1–4].

Фізична перевірка охоплює невід’ємність кількостей речовини, виконання балансів С, Н, О і N, допустимість фазового розподілу та належність енергетичної характеристики заданому діапазону. Кандидат відкидається, якщо хоча б одне фізичне обмеження не виконується.

5. Вибір кроків дискретизації та стійкість пошуку

Роздільність бібліотеки визначає компроміс між точністю і обсягом обчислень. Надмірно великий крок ΔT або $\Delta \chi$ об’єднує фізично різні стани в одній комірці та збільшує множину Ω . Надміру малий крок створює розріджений масив, підвищує вимоги до пам’яті та робить пошук чутливим до випадкової похибки. Тому крок дискретизації узгоджується з реальною точністю датчиків і процедурою підготовки наважки.

Серія вимірювань підвищує стійкість без штучного звуження допусків. Окремий експеримент часто залишає кілька допустимих кодів. Перетин Ω_i послідовно вилучає стани, які відтворюють лише частину режимів. Кількість атомів вуглецю прийнята за одиницю нормування, тому вектор стану містить чотири незалежні параметри: I_l, b_H, b_O і b_N . Оскільки вектор стану містить чотири незалежні параметри, у базовій постановці доцільно використовувати щонайменше чотири режими, які формують незалежні та інформативні обмеження. Така кількість є необхідною, але не достатньою умовою однозначної ідентифікації. Близькі або залежні режими не забезпечують потрібного зменшення множини кандидатів.

Похибка температурного каналу враховується через інтервал $T_i \pm \delta T$. Аналогічний допуск задається для χ_i . Комірки на межі інтервалів включаються до множини кандидатів, тому невелике зміщення вимірювання не змінює результат стрибкоподібно. Результат пошуку вважають стійким, якщо зміна T_i та χ_i у межах відповідних допусків $\pm \delta T$ і $\pm \delta \chi$ не змінює знайдений код E_k або склад вузької множини допустимих кодів.

Порожня множина Ω може виникати з трьох основних причин: через похибку експерименту, вихід фактичного стану за межі заданих діапазонів або неповний перелік продуктів у прямій моделі. Програмний модуль фіксує причину відмови за результатами окремих перевірок. Такий підхід відділяє відсутність розв'язку від низької точності ідентифікації.

6. Програмна реалізація в автоматизованій системі

Програмна реалізація поділяється на попередній та оперативний контури. Попередній контур перебирає допустимі параметри, розв'язує пряму задачу, кодує стани й заповнює масив. Він виконується під час створення або оновлення бібліотеки. Оперативний контур приймає результати вимірювань, визначає комірки, формує множини Ω_i та виконує їх перетин.

Поділ зменшує час оброблення нового експерименту. Оперативний контур не розв'язує нелінійну систему хімічної рівноваги для кожного набору даних. Основні операції зводяться до індексного доступу, роботи з множинами та декодування обмеженої кількості кандидатів. Структура масиву допускає паралельне формування бібліотеки та швидке розширення діапазонів для нових типів НЦП.

Результат пошуку оформлюється як діагностичний запис: код E_k , відновлені нормовані кількості атомів Н, О і N, енергетична характеристика, результати перевірки фізичних обмежень і рівень визначеності. Однозначний результат відповідає одному коду. Неоднозначний результат містить групу альтернативних близьких станів. Відмова від класифікації супроводжується переліком неузгоджених вимірювань або обмежень.

Модуль передає енергетичну характеристику до наступного контуру контролю металюного заряду. Сила порошу або пов'язаний з нею показник використовується як діагностична ознака придатності заряду. Алгоритм не підміняє рішення про застосування боєприпасу, а формує структуровані дані для автоматизованої підтримки рішення.

7. Наукова новизна та практичне значення

Робота формалізує бібліотечний метод для ідентифікації стану НЦП як послідовність операцій над тривимірним масивом (T, χ, I_i) . Чотириблокове число-згортка E_k однозначно кодує нормовані кількості атомів Н, О і N та енергетичну характеристику k -го стану. Перетин множин кандидатів за серією режимів реалізує умову спільного стану партії та зменшує неоднозначність одиничного вимірювання.

Практичний результат – структура програмного модуля, у якому ресурсоемний рівноважний розрахунок виконується до початку оперативного контролю. Під час експерименту модуль використовує індексний пошук і

фізичну фільтрацію. Така організація скорочує час ідентифікації та зберігає зв'язок результату з термодинамічною моделлю.

Метод має обмежену область застосування, задану діапазонами бібліотеки, складом допустимих продуктів і точністю вимірювальних каналів. Розширення бібліотеки потребує повторного попереднього розрахунку, але не змінює оперативний алгоритм. Це спрощує супровід програмного забезпечення та накопичення нових типів розрахункових станів.

8. Висновки

Сформовано метод побудови бібліотеки станів НЦП на основі множини розв'язків прямої задачі. Результати структуруються у тривимірному масиві за температурою, режимним параметром та енергетичною характеристикою, а чотири незалежні параметри стану кодуються числом-згортокою.

Розроблено послідовність пошуку за серією вимірювань. Кожен експеримент формує множину допустимих кодів, а їх перетин визначає спільний стан партії. Фізична фільтрація відсіює варіанти, що порушують установлені обмеження.

Поділ на попередній та оперативний контури робить метод придатним для автоматизованого контролю металного заряду. Результат містить оцінку складу, енергетичну характеристику та рівень визначеності, необхідні для подальшої класифікації НЦП.

Список літератури

1. Brunetkin O., Davydov V., Butenko O., Lysiuk G., Bondarenko A. Determining the composition of burned gas using the method of constraints as a problem of model interpretation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3, No. 6(99). P. 22–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.169219.

2. Brunetkin O., Maksymov M. V., Maksymenko A., Maksymov M. M. Development of the unified model for identification of composition of products from incineration, gasification, and slow pyrolysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4, No. 6(100). P. 25–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.176422.

3. Maksymov M. V., Brunetkin O. I., Beglov K. V., Alyokhina S. V., Butenko O. V. Automatic control for the slow pyrolysis of organic materials with variable composition. *Advanced Control Systems: Theory and Applications. Series in Automation, Control and Robotics*. Gistrup : River Publishers, 2021. Chapter 14. P. 397–430.

4. Brunetkin O., Maksymov M., Dobrynin Y., Demydenko V., Sidelnikov O. Development of a process model for determining the composition and energy characteristics of a pyrotechnic mixture using the library method. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2024. No. 5. P. 99–112. DOI: 10.21303/2461-4262.2024.003453.

5. Trache D., Tarchoun A. F. Analytical Methods for Stability Assessment of Nitrate Esters-Based Propellants. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 49, No. 5. P. 415–438. DOI: 10.1080/10408347.2018.1540921.

6. Boulkadid M. K., Lefebvre M. H., Jeunieu L., Dejeaifve A. Burning rate of artificially aged solid double-base gun propellants. *Journal of Energetic Materials*. 2020. Vol. 38, No. 1. P. 1–19. DOI: 10.1080/07370652.2019.1657204.

7. Kagankiewicz F. Statistical Approach in Determining Energy Ballistic Parameters of Gunpowder Contained in the 7.62×39 mm Ammunition Based on Measuring the Development of Pressure in a Manometric Bomb. *Central European Journal of Energetic Materials*. 2023. Vol. 20, No. 3. P. 260–283.

8. Alemasov V., Glushko V. Thermodynamic and thermophysical properties of combustion products. Jerusalem : Israel Program for Scientific Translations, 1974–1976.

ACID-ACTIVATED BENTONITE PRODUCTION

Fedorov Oleksii

PhD student

National University "Kyiv Aviation Institute"

Kustovska Antonina

PhD in Chemistry, Associate Professor, Professor

National University "Kyiv Aviation Institute"

The rapid growth of modern motorization and the scaling up of industrial production are accompanied by a continuous increase in the volume of waste oil generation, which belongs to highly toxic and difficult-to-recycle waste [1,2]. Traditional industrial methods for their purification are energy-intensive, require high pressure, or lead to the formation of new environmentally hazardous products [3,4]. In this context, the development of resource-saving and environmentally safe adsorption technologies using domestic clay minerals is of crucial importance. Ensuring high efficiency of waste oil adsorption regeneration directly depends on the structural and sorption characteristics of the clay minerals used. Natural bentonite requires targeted chemical modification to form a developed mesoporous structure and active acid sites. The development and implementation of an efficient process flow diagram for the acid activation of bentonite allows for obtaining a highly efficient domestic sorbent. Justifying the sequence of process operations – from dosing and vapor-phase heating to multiple washing, drying, and fractionating – is a critical stage for designing modular oil regeneration units directly at industrial facilities.

The proposed process flow diagram for the production of the activated sorbent involves the sequential execution of a comprehensive process of clay raw material acid modification and subsequent commercial processing. In the initial stage, lump clay is loaded directly into activator reactors, where calculated volumes of acid and water are also fed to form a working reaction slurry with a target acid mass concentration of 20%. Heating the resulting mixture to a operating temperature of 98–99 °C is achieved by direct injection of live steam, accompanied by intensive homogenization using a mechanical stirrer. The acid activation process itself lasts from 4 to 6 hours, depending on the mineralogical composition and initial quality of the raw material, after which the formed slurry is pumped to the filtration equipment.

Subsequently, the finished adsorbent undergoes multiple washings directly on the filter using water condensate to remove residual acid and soluble salts, while the mother liquor is continuously pumped to the neutralizers. After conducting 5–7 washing cycles and reaching a pH value of the wash water of no less than 5.0, the final portion of the wash water is also directed to the neutralizer. The purified adsorbent is subjected to deep filtration to remove excess process moisture, after which the wet cake is transferred to the drying stage. In the final stage, the dried material is sent for grinding and sieving to achieve the required particle size distribution, and the finished fine-grained adsorbent is packaged into sealed polyethylene bags for subsequent transportation and storage.

The practical significance of the developed process flow diagram for obtaining modified bentonite lies in the development of an efficient, equipment-accessible, and safe manufacturing protocol for a domestic highly active adsorbent. The technology allows utilizing accessible natural bentonite (specifically from the Cherkasy deposit) and, through targeted acid modification, converting it into a high-tech productive sorbent with a developed specific surface area ($252 \text{ m}^2/\text{g}$) and a specified type of active sites.

Organizing the activation stage at moderate temperatures ($98\text{--}99^\circ\text{C}$) under atmospheric pressure, utilizing live steam and mechanical stirring, ensures slurry treatment uniformity, a high degree of ion exchange, and consistent quality indicators of the finished material from batch to batch. The absence of a need for high-temperature calcination or high-pressure equipment allows for easy scaling of the process flow diagram and its implementation in compact, small- to medium-capacity modular units located directly near raw material sources.

The designed scheme of 5–7 countercurrent washing cycles using water condensate, accompanied by the pumping of the mother liquor into a neutralizer, ensures the effective removal of residual sulfate ions (until reaching a wash water $\text{pH} \geq 5.0$) and minimizes the volume of liquid waste. The resulting acid-activated montmorillonite is a non-toxic, non-flammable, and explosion-proof product. Compliance with the requirements of the Ministry of Health of Ukraine opens up prospects for its application not only for technical needs but also in the food, pharmaceutical, and animal feed industries as a universal bleaching and separation agent.

References

1. Owrang F., Mattsson H., Olsson J., Pedersen J. Investigation of oxidation of a mineral and a synthetic engine oil. *Thermochimica Acta*. 2004. Vol. 413. P. 241–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.09.016>.
2. Fox N. J., Stachowiak G. W. Vegetable oil-based lubricants—a review of oxidation. *Tribology International*. 2007. Vol. 40, no. 7. P. 1035–1046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2006.10.001>
3. Kajdas C., Majzner M. Analysis and comparison of used lubricants regenerative technologies in the world. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. Vol. 103. P. 179–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.026>.
4. Milne D.D., Clark A.I., Perry R. Acid Tars: Their Production, Treatment and Disposal in the U.K. *Waste Management & Research*. 1986. Vol. 4(1). P. 25–38. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X8600400159>.
5. Anisuzzaman S.M., Jumaidi M.H., Nasir N.N.M. *Used lubricating oil recovery process and treatment methods: A review*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1195. Article 012031. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1195/1/012031>.
6. Taher T., Rohendi D., Mohadi R., Lesbani A. Congo red dye removal from aqueous solution by acid-activated bentonite: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*. 2019. Vol. 26(1). P. 125–136. DOI: <https://doi.org/10.1080/25765299.2019.1576274>

ADAMANTYLGLYCINE AS A SYNTHON FOR NITROGENOUS HETEROCYCLES. SYNTHESIS OF 3- (ADAMANTAN-1-YL)-6,10B-DIHYDRO-2H- OXAZOLO[2,3-A]ISOQUINOLINE-2,5(3H)-DIONE

Koshchii Iryna

PhD in Chemistry, Associate Professor

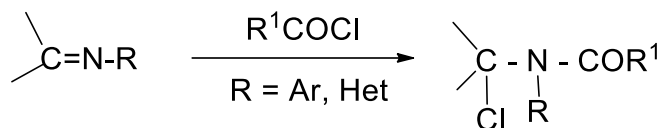
Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Klimko Yurii

PhD in Chemistry, Senior Lecturer

Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

It is known that many heterocyclic compounds, even relatively simple ones, are difficult to obtain, significantly limiting their scope of application. Therefore, the search for new regioselective heterocyclizations based on readily available reagents is highly relevant. Various amidoalkylating agents, in particular those obtained from Schiff bases according to the general scheme, are among such promising reagents:



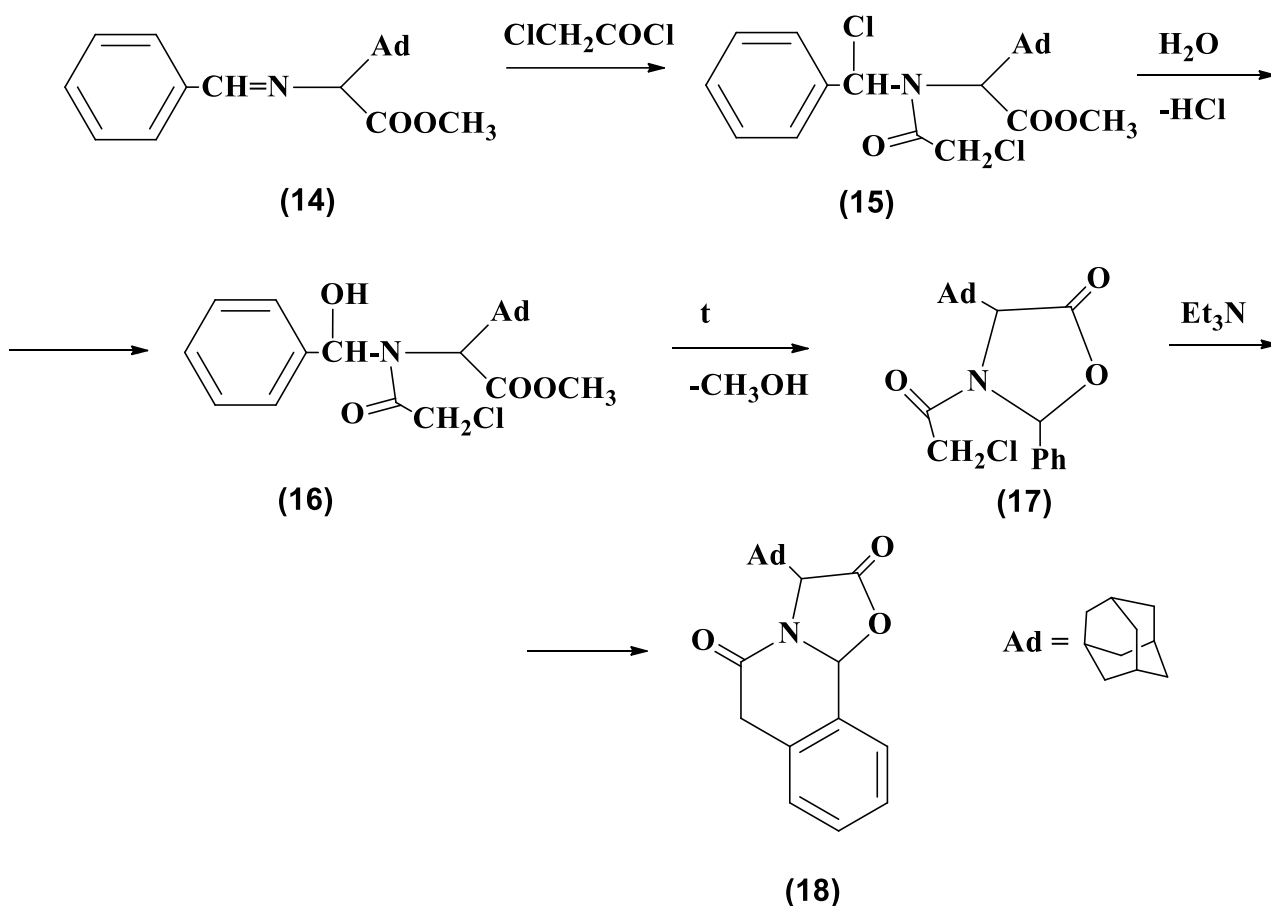
The preparation of reagents according to this scheme is only briefly mentioned in the literature [1-3].

The use of such amidoalkylating reagents obtained from cage ketones would allow the preparation of nitrogen heterocycles by a new method, often yielding uniquely high yields [4].

The aim of this study is to attempt the synthesis of N-(3-(adamantan-1-yl)-4-oxo-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolin-1-yl)-N-cyclohexylacetamide using 1-adamantylglycine as a synthon to prepare the amidoalkylating reagent.

The physiological activity of cage hydrocarbon derivatives, primarily adamantane derivatives, has been extensively studied. Some of them are already used as pharmaceuticals. The activity of these compounds is due to the pronounced lipophilic nature of the compact hydrocarbon fragment, as well as, probably, the abiogenic origin of most of these compounds [5, 6].

Below is the diagram according to which the synthesis was carried out:



General synthesis procedure.

1) 2-(Adamantan-1-yl)-2-(benzylideneamino)methyl acetate (14). Mix equimolar amounts of methyl 1-adamantylglycine ether and benzaldehyde in dry toluene. Remove water using a Dean-Stark trap.

2) 2-(Adamantan-1-yl)-2-(2-chloro-N-(chloro(phenyl)methyl)acetamido)methyl acetate (15). Add an equimolar amount of chloroacetic acid chloride to the residue in the toluene solution. Leave at room temperature for 24 hours. Remove the solvent in vacuo. Add an aqueous alcoholic solution of KOH to the residue and stir at room temperature for 15 hours. 3) 2-(Adamantan-1-yl)-2-(2-chloro-N-(hydroxy(phenyl)methyl)acetamido)methyl acetate (16). The reaction mixture is refluxed under a condenser for 4 hours.

4) 4-(Adamantan-1-yl)-3-(2-chloroacetyl)-2-phenyloxazolidin-5-one (17). The solvents are removed under vacuum. The residue is crystallized from ethanol-hexane. Yield 83%. 5) 3-(Adamantan-1-yl)-6,10b-dihydro-2H-oxazolo[2,3-a]isoquinoline-2,5(3H)-dione (18). Oxazolidine (17) is dissolved in dry benzene and an equimolar amount of Et_3N is added. The mixture is refluxed for 2 hours. After cooling, triethylamine hydrochloride is filtered off. The solvent is removed under vacuum. The residue is crystallized from ethanol. Yield 78%.

References

1. Hellmann H. // *Angew. Chem.*, - 1957. - 69, #13/14. - S. 463 – 471.
2. Adams P., Baron F. A. // *Chem. Revs.* - 1965. - 65, #5. - P. 567-602.

3. Zaugg H. E. // Synthesis. – 1970. – 1 - #2. – P. 49 – 73.
4. Petersen H. // Synthesis. – 19973. - #5. – P.243-292.
5. Skoldinov A.P. // Scientific Conf. on Organopolyhedra Chemistry: Abstracts of Reports. 1981. P. 133.
6. Kovtun I.Yu., Plakhotnik V.M. // Chemical-pharmaceutical journal. 1987. Vol. 28, No. 8. P. 931-940.

FINAL POSITION OF THE MANDIBULAR INCISORS AS A COMPONENT OF BIOLOGICAL STABILITY OF ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES: FROM CEPHALOMETRIC NORMS TO THE OSSEOUS TYPE

Kovach I.

Doctor of Medical Sciences, Professor

Bindiuhin O.

Ph.D., Associate Professor,

Shcherbina I.

Ph.D., Associate Professor

Department of Paediatric Dentistry,

Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine

Abstract

Objective. To provide a contemporary rationale for viewing the final position of the mandibular incisors not as an isolated cephalometric parameter but as the result of interactions among occlusal, soft-tissue, growth-related, and osseous factors. **Materials and methods.** A theoretical analysis was performed of the provided Czech-language section on mandibular incisor stability, relevant literature, and the author's dissertation findings concerning skeletal growth patterns, densitometric characteristics of the alveolar bone, and complications during retention. **Results.** The concept of a stable position cannot be reduced to one universal value of IMPA, FMIA, the interincisal angle, or the distance to the A–Pog line. The prognosis depends on the relationship between incisor position and soft-tissue equilibrium, the limits of the alveolar osseous envelope, the growth direction, and the nature of occlusal contacts. In a vertical, hyperdivergent growth pattern, the combination of a high alveolar process, reduced width, and lower optical density creates less reserve for uncontrolled tooth movement and increases retention requirements. **Conclusions.** The final position of the mandibular incisors should be defined as an individual biological range rather than as the mechanical achievement of an average norm. Treatment planning should integrate cephalometry, periodontal phenotype assessment, occlusal findings, and, when indicated, three-dimensional evaluation of the osseous envelope.

Keywords: mandibular incisors; stability; orthodontic relapse; osseous envelope; growth pattern; densitometry; retention

Introduction

The final position of the mandibular incisors has traditionally been regarded as one of the central reference points in orthodontic diagnosis, treatment planning, and outcome assessment. In the mandibular anterior segment, the requirements of functional occlusion, profile aesthetics, periodontal safety, and long-term stability

intersect most clearly. At the same time, clinical experience shows that an incisor position described by the same cephalometric values may have different biological meaning in patients with different craniofacial morphology. The relevant question is therefore not only at what angle the mandibular incisor is positioned, but also whether its root remains within the available osseous envelope, how the lip and tongue act on it, what direction subsequent growth will take, and whether stable occlusal contacts have been established [1–4].

Different theories underlying this analysis consistently considers the mandibular incisors as teeth located within a zone of functional equilibrium. It emphasizes the risk of relapse after substantial proclination, retroclination, intrusion, or extrusion, as well as the importance of crown form and multiple contacts. The author's dissertation findings make it possible to extend this model: the stability of incisor position cannot be fully understood without considering the vertical or horizontal skeletal growth pattern and the associated differences in the structure and optical density of the alveolar bone.

1. Functional equilibrium and limits of cephalometric norms

The concept of a neutral or stable zone is based on the premise that the mandibular incisors are continuously exposed to mutually directed forces from the lips, cheeks, tongue, periodontium, and occlusal contacts. According to Weinstein and Mills, displacement of teeth from their initial equilibrium is accompanied by a change in force that tends to return them to a functionally acceptable position. Importantly, this is not a single geometrically fixed point: an individual patient may have a range of positions within which soft-tissue forces remain compensated. Recommendations concerning a maximum acceptable change in mandibular incisor position of 2–3 mm or several degrees should therefore be regarded as clinical guides rather than universal laws [1,5].

After active treatment has ended, the system loses the external orthodontic force but does not lose its biological dynamics. Periodontal and supracrestal fibers remodel at different rates, soft tissues continue to act, and craniofacial growth may change the relationship between the incisors and the skeletal bases. In this context, relapse should be distinguished from all age-related dentoalveolar changes: some changes represent a response to orthodontic movement, whereas others are manifestations of normal ontogenesis [2–4,7].

The significance of the final mandibular incisor position is also expressed in the vertical dimension. Insufficient intrusion or an inappropriate interincisal angle may contribute to renewed deepening of the overbite and reduction of space in the mandibular anterior segment. Conversely, excessive extrusion may disturb occlusal contacts and increase dependence of the outcome on muscular balance. Thus, the final position should include not only the sagittal coordinate, but also inclination, torque, vertical position, and the quality of contact with the antagonists.

2. The mandibular incisor within the alveolar osseous envelope

A cephalometric projection does not demonstrate the complete three-dimensional anatomy of the anterior mandibular region. The labial cortical plate in front of the mandibular incisors is often thin, locally interrupted, or already affected by areas of dehiscence and fenestration. When the root is moved toward the limit of the bony

housing, risk is determined not only by the distance between the crown and the A–Pog line, but also by bone thickness, the direction of movement, torque, symphysis morphology, gingival condition, and oral hygiene [5,6,8,12,14].

This leads to a central principle: the acceptable change in mandibular incisor position is a function not of one number but of the available osseous space. The same 2-mm proclination may be acceptable in a patient with a broad symphysis and a denser cortical plate, but unsafe in a patient with a high and narrow alveolar process. In the latter situation, even moderate root movement or uncontrolled torque may result in loss of bony support, fenestration, and subsequent gingival recession.

Cone-beam computed tomography is valuable when the clinical question cannot be answered by examination, study models, and two-dimensional cephalometry: in cases of substantial decompensation, suspected thin cortical bone, asymmetry, pronounced proclination, or periodontal risk. It should not become an unconditional screening test for every orthodontic patient. Its role is to define the biological limits of planned movement rather than to replace clinical judgment.

3. Skeletal growth pattern as a modifier of stability

The rotational pattern of mandibular growth changes not only facial profile and vertical proportions, but also the conditions in which the mandibular incisors erupt and function. Classic studies by Björk and Skieller demonstrated that the direction of condylar growth and the rotational pattern of the mandible influence compensatory changes in the dentoalveolar complex [2–4]. An anterior rotation associated with a hypodivergent pattern usually produces a broader and more substantial alveolar base; a posterior rotation associated with a hyperdivergent pattern produces a higher and potentially thinner alveolar process.

This difference has direct implications for the mandibular incisors. A vertical growth pattern is often accompanied by extrusive compensation of the anterior segment, retroclination of the incisors, increased alveolar height, and reduced alveolar width. A horizontal growth pattern, in contrast, provides conditions for greater alveolar support and higher optical-density values. In the author's dissertation material, the mean optical density of the anterior alveolar region was approximately 379 HU in individuals with a vertical growth pattern and approximately 749.5 HU in patients with a horizontal pattern. These values should be interpreted as within-device comparative measurements rather than universal thresholds applicable to all tomographic systems.

Bone density is not an independent cause of relapse. It reflects a combination of morphological and functional conditions: cortical-plate thickness, the volume of cancellous bone, the direction of loading, the level of remodeling, and the growth pattern. Nevertheless, low density combined with a thin osseous envelope reduces the reserve of biological safety and makes the tissues more sensitive to uncontrolled force moments. The growth pattern should therefore be viewed not merely as a descriptive characteristic, but as a prognostic modifier.

4. Three-component model of the final position

Key proposition. A stable final position of the mandibular incisors is not a point on a cephalometric diagram, but an individual range in which soft-tissue equilibrium,

bony support, and functional occlusion are maintained simultaneously during subsequent growth.

The first component of the model is soft-tissue related. The mandibular incisors should remain in a zone where pressure from the tongue, lower lip, and perioral muscles does not create a persistent moment directed toward their return. The second component is osseous: the root and periodontium should remain within the available alveolar housing, taking into account its thickness, asymmetry, and potential defects. The third component is temporal and functional: the position should be compatible with the direction of subsequent growth, tooth eruption, occlusal contacts, and the selected retention appliance.

This model explains why an attempt to achieve identical cephalometric parameters in all patients may be misleading. For one patient, an ideal IMPA value may indicate a stable outcome; for another, it may require unsafe compensation. Similarly, identical crown positions may conceal different root torques and different distances to the labial cortical plate. Assessment of the final outcome should therefore be multidimensional: profile and soft tissues, cephalometry, clinical contacts, periodontal phenotype, and CBCT when indicated.

5. Contact form, occlusion, and retention strategy

Stability of the anterior segment depends not only on where the teeth are positioned, but also on how they contact one another. Triangular crown form, point contacts, residual enamel ledges, and premature contacts create conditions for contact opening and recurrent crowding. In selected cases, interproximal reduction may not only create space, but also establish a broader contact area, reducing the risk of rotation and black-triangle formation. It should, however, be part of the treatment plan rather than a mechanical procedure performed at the end of treatment [1,7,9].

Retention is a continuation of treatment planning, not a separate stage that follows it. A fixed retainer can be effective only if the wire is passively adapted, correctly bonded, and hygiene is controlled. If the appliance retains residual activity or interacts with a thin osseous envelope, it may become a source of an X-effect, twist effect, space opening, or uncontrolled torque change. In a vertical growth pattern, prolonged fixed retention should be prescribed more cautiously, and removable or combined solutions should be considered more often. In a horizontal growth pattern, the anatomical reserve is usually greater, but the requirement for appliance passivity remains unchanged [13,15].

6. Practical implications for treatment planning

At the diagnostic stage, it is necessary to establish not only the skeletal class, but also the vertical growth pattern, the direction of rotation, alveolar-process height and width, the initial position of the mandibular incisors, and the condition of the soft tissues. It is useful to combine ML/NSL, Jarabak FHR, ODI, IMPA, FMIA, the interincisal angle, and clinical profile assessment. The A–Pog line or another sagittal reference should be used as part of a diagnostic system rather than as a self-sufficient criterion.

During active treatment, crown and root control should be considered separately. Planned proclination of the mandibular incisors should be assessed against the

thickness of the labial bone, particularly in patients with a hyperdivergent pattern, a thin periodontal phenotype, or initial dentoalveolar decompensation. Finishing should include verification of the interincisal angle, torque, vertical overlap, multiple contacts, and the absence of premature occlusal interferences.

Retention control should be differentiated. Patients with a vertical growth pattern require stricter control of wire passivity, early detection of rotations, and assessment of bony support; fixed appliances should not be prescribed automatically. Patients with a horizontal growth pattern may be treated more broadly with fixed, removable, or combined retention, but this does not eliminate the need to control hygiene, wire integrity, and root position.

Limitations and future directions

The proposed model is a theoretical synthesis and does not replace prospective research. CBCT HU values depend on the device, exposure protocol, reconstruction, and calibration, and therefore cannot be transferred mechanically between systems. Studies with a unified protocol, longer follow-up, direct measurement of cortical-plate thickness, standardized periodontal-phenotype assessment, and a multifactorial statistical model separating the effects of growth pattern, retention, torque, and initial crowding are needed.

Conclusions

The final position of the mandibular incisors is a biologically determined range in which soft-tissue equilibrium, occlusal contacts, bony support, and the direction of subsequent growth must be coordinated simultaneously.

Average cephalometric values of IMPA, FMIA, the interincisal angle, or the distance to A–Pog cannot serve as the sole criteria of a stable outcome. They must be interpreted together with symphysis morphology, periodontal phenotype, and the skeletal growth pattern.

A vertical, hyperdivergent growth pattern, a high and narrow alveolar process, and lower optical bone density provide less safety reserve for uncontrolled mandibular incisor movement and require a more cautious retention strategy.

Stability should be planned from the beginning of treatment: final incisor position, contact form, root control, assessment of the osseous envelope, and retainer selection should constitute a single diagnostic and therapeutic system.

References

1. Alexander R.G. Retention: Looking back over a 50-year practice career. *Seminars in Orthodontics*. 2017;23(2):215–220.
2. Björk A. Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. *Journal of Dental Research*. 1963;42(Pt 2):400–411.
3. Björk A. Prediction of mandibular growth rotation. *American Journal of Orthodontics*. 1969;55:585–599.
4. Björk A, Skieller V. Facial development and tooth eruption: an implant study at the age of puberty. *American Journal of Orthodontics*. 1972;62:339–383.

5. Enhos S, Uysal T, Yagci A, et al. Dehiscence and fenestration in patients with different vertical growth patterns assessed with cone-beam computed tomography. *Angle Orthodontist*. 2012;82:868–874.
6. Filipova D, Dostalova T, Filipi V, Kaminek M. Proclination-induced changes in the labial cortical bone thickness of lower incisors. *Bratislava Medical Journal*. 2019;120(2):155–160.
7. Little RM, Riedel RA. An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years post-retention. *American Journal of Orthodontics*. 1988;93:423–428.
8. Melsen B, Allais D. Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: a retrospective study of adult orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;127:552–561.
9. Peck S. Extractions, retention and stability: the search for orthodontic truth. *European Journal of Orthodontics*. 2017;39(2):109–115.
10. Schudy FF. Vertical growth versus anteroposterior growth as related to function and treatment. *Angle Orthodontist*. 1964;34(2):75–93.
11. Tweed CH. The Frankfort–mandibular incisor angle (FMIA) in orthodontic diagnosis, treatment planning and prognosis. *Angle Orthodontist*. 1954;24:121–169.
12. Yared KF, Zenobio EG, Pacheco W. Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;130:61–68.
13. Zachrisson BU. Long-term experience with direct bonded retainers: update and clinical advice. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2007;41:728–737.
14. Sun L, Yuan L, Wang B, et al. Changes of alveolar bone dehiscence and fenestration after augmented corticotomy-assisted orthodontic treatment: a CBCT evaluation. *Progress in Orthodontics*. 2019;20:7.
15. Harradine NW, Pearson MH, Toth B. The effect of extraction of third molars on late lower incisor crowding: a randomized controlled trial. *British Journal of Orthodontics*. 1998;25:117–122.

FROM ORGANISMS TO ECOSYSTEMS: A KEY PERSPECTIVE IN INTRODUCTORY BIOLOGY

Poleva Julia

Ph.D., Visiting Professor
Florida Institute of Technology,
Melbourne, Florida, USA

Introductory Biology provides students with the fundamental concepts required to understand living systems and their interactions with the environment. Traditionally, biology education begins with the study of cells and individual organisms before progressing to higher levels of biological organization [1, 2]. However, modern environmental challenges, particularly climate change and biodiversity loss, highlight the necessity of integrating ecological concepts from the earliest stages of biology education [3, 4]. Understanding how organisms interact with one another and with their physical environment enables students to recognize the interconnected nature of life on Earth and develop ecological literacy essential for future scientific and societal decision-making [5, 6].

The organism represents the basic unit of biological organization [7]. Each organism possesses structural, physiological, and behavioral adaptations that enable survival under specific environmental conditions. These adaptations reflect evolutionary responses to abiotic factors such as temperature, water availability, solar radiation, and soil composition, as well as biotic interactions including competition, predation, parasitism, and mutualism [8].

Although organisms can be studied individually, their ecological significance becomes apparent only when they are considered within populations [9]. A population consists of individuals of the same species occupying a particular area and sharing genetic material through reproduction. Population dynamics - including growth, mortality, migration, and genetic diversity - are influenced by environmental conditions and determine species persistence under changing climates.

Multiple interacting populations form biological communities [10]. Within communities, species establish complex ecological relationships that regulate energy flow, nutrient cycling, and ecosystem stability [12]. Food chains, food webs, trophic interactions, and ecological niches illustrate how the survival of one species frequently depends on the presence of many others (photo 1).



Photo 1. Coral Reef Ecosystem: Where Organisms Connect and Interact (the author's personal development).

An ecosystem consists of living organisms together with their physical environment functioning as a single integrated system. Unlike communities, ecosystems include both biotic components (plants, animals, fungi, microorganisms) and abiotic components (air, water, soil, sunlight, minerals, temperature, and climate) [13].

Energy enters ecosystems primarily through photosynthesis performed by producers. This energy is transferred through consumers and ultimately decomposers, while nutrients continuously cycle between living organisms and the environment [14]. These ecological processes maintain ecosystem productivity, resilience, and long-term sustainability [15].

Teaching ecosystem concepts helps students appreciate that no organism exists in isolation. Changes affecting one component often produce cascading effects throughout the entire ecological network [16]. Consequently, ecosystem thinking encourages systems-based reasoning rather than memorization of isolated biological facts (photo 2).



Photo 2. Life in a Subtropical Ecosystem: Interactions Across Land and Water
(original work by the author).

Climate is one of the principal factors determining ecosystem structure and function. Global climate patterns create distinct climatic zones, each supporting characteristic ecosystems and biodiversity.

Tropical climates sustain highly productive rainforests with exceptional species richness. Temperate regions support deciduous forests and grasslands characterized by pronounced seasonal changes. Boreal forests dominate high northern latitudes, while tundra ecosystems are adapted to low temperatures and short growing seasons. Arid and semi-arid climates give rise to deserts where organisms possess specialized physiological adaptations for water conservation.

These broad ecological regions, known as biomes, illustrate the close relationship between climate, vegetation, animal communities, and ecosystem processes. Introducing students to climate zones allows them to understand why biodiversity is unevenly distributed across the planet and how environmental conditions shape evolutionary adaptation [16].

Anthropogenic climate change has become one of the most significant drivers of ecosystem transformation. Rising global temperatures, altered precipitation patterns, increasing frequency of extreme weather events, ocean warming, and ocean acidification affect ecosystems at every level of biological organization [17].

Species are shifting their geographic ranges toward higher latitudes and elevations in response to changing temperatures. Seasonal biological events such as flowering, migration, and reproduction are occurring earlier in many regions, disrupting ecological synchrony between interacting species. Coral reef degradation, forest dieback, wetland loss, and declining Arctic ecosystems demonstrate how climate change alters ecosystem structure and function.

Climate-induced changes also influence ecosystem services that directly support human societies, including food production, freshwater availability, carbon sequestration, soil fertility, and pollination [18]. Understanding these relationships enables students to recognize that ecosystem health is closely linked to human well-being.

Developing ecological competence should be considered a central objective of introductory biology education. Ecological competence extends beyond factual knowledge of ecosystems. It includes systems thinking, the ability to interpret ecological data, understanding of environmental sustainability, critical evaluation of human impacts, and evidence-based decision-making.

Students with ecological competence can explain interactions among organisms, predict ecological responses to environmental disturbances, analyze biodiversity patterns across climatic zones, and evaluate strategies for ecosystem conservation and climate adaptation [19]. Such competencies prepare graduates not only for advanced biological studies but also for addressing complex environmental challenges in professional and civic contexts [20].

Teaching introductory biology through the progression from organisms to ecosystems provides students with a coherent understanding of biological organization and environmental interdependence. Integrating ecosystem ecology with climate science allows learners to connect biological principles with contemporary global challenges [21]. As climate change continues to reshape ecosystems worldwide, ecological competence has become an essential learning outcome for biology education. Developing this competence empowers students to understand the complexity of living systems, appreciate biodiversity, and contribute to sustainable environmental management in the future.

References

1. Julia Poleva (2026) The ecosystem as a key concept for integrating biological knowledge in the course “Fundamentals of Biology” //VI International Scientific and Practical Conference «Current state and trends in the development of science and education», 2026, Bilbao, Spain. 66 – 71.
2. Poleva Ju., M. Polev (2024) Factors for the formation of theory and methodology for teaching ecology//The 15th International scientific and practical conference “New knowledge: strategies and technologies for teaching young people” Lisbon, Portugal. International Science Group. 2024. pp. 36 – 41.
3. Julia L. Poleva (2024) Aspects of the formation of ecological knowledge and skills for students majoring in ocean engineering, marine science, biomedical and chemical engineering //The 11th International scientific and practical conference

“Advanced technologies for the implementation of educational initiatives” Boston, USA. International Science Group. 2024. pp. 26 – 28.

4. Poleva Julia (2025) Research work as a part of modern teaching technologies. The 5th International scientific and practical conference “Problems of students in universities and new ways of solving them” (February 04–07, 2025) Paris, France. International Science Group. 2025. 15 – 16.

5. Julia Poleva (2025) Features of the process of forming students’ interest in studying biology //The 8th International scientific and practical conference “Modern pedagogical technologies and innovative methods” (February 25 – 28, 2025) Seville, Spain. International Science Group. 2025. 24 – 27.

6. J. Poleva, N. Bilova (2025) The use of innovative methods and trends in biological education // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. (September 16 – 19) Hamburg, Germany. 2025. 18 – 21.

7. Poleva, J. L. (2020). Characteristics of bottom fauna of small reservoirs of the Steppe zone of Ukraine. Ecology and noospherology. Dnipro, Ukraine, 31(2), 105–107

8. Julia Poleva (2026) Silent architects of nature: the ecological importance of lichens. The 28th International scientific and practical conference “Transforming education with modern digital tools and technologies” (July 14–17, 2026) Milan, Italy. International Science Group. 2026. 192 – 196.

9. Julia Poleva (2026) Rich biodiversity as evidence of a healthy environment: the case of Florida. The 29th International scientific and practical conference “Digital transformation: current challenges and future plans” (July 21–24, 2026). 2026. 18 – 25.

10. Julia Poleva (2025) Principles and methods of preserving biodiversity//The 12th International scientific and practical conference “Modern management of organizations: concepts and digital transformations” (March 25–27, 2025) Varna, Bulgaria. International Science Group. 2025. 26 – 31.

11. Poleva J. L., Polev M. D. (2024) «Lace Miracle», lichens as an indicator of the ecological situation using the example of Turkey Creek, Florida. Ecology and noospherology, Oles Honchar Dnipro National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 35 (1), 66 -71.

12. Julia Poleva (2026) The delicate balance: food chains, ecosystems, and biodiversity//VII International Scientific and Practical Conference «Digital transformation of society: opportunities and challenges», February 17-20, 2026, Milan. 56 – 59.

13. Ju. Poleva, M. Polev (2024) The importance of environmental research for science-based and multifaceted climate change action// The 5th International and practical conference “Problems of science development in the context of global transformations” (October 01 – 04, 2024) Zagreb, Croatia. International Science Group. 2024. pp. 26 – 28.

14. Poleva Julia (2026) Photosynthesis in the era of climate change: integrating plant physiology, carbon dynamics, and ecosystem resilience. The 30th International scientific and practical conference “Modern academic science: main trends and strategic development” (July 28–31, 2026) Oslo, Norway. 2026. 58 – 64.

15. Poleva Ju. L. (2024) Life is like a reservoir into which a scientist who is completely devoted to his work plunges. *Studies in History and Philosophy of Science and Technology*. Oles Honchar Dnipro National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 32 (2), 125 – 131.
16. Poleva Julia (2025) Observations of climate changes in the Steppe zone of Ukraine. The 7th International scientific and practical conference “Sociological and psychological models of youth communication” (February 18 – 21, 2025) Copenhagen, Denmark. International Science Group. 30 – 33.
17. Poleva Ju., Polev M. (2024) Climate change and agriculture, some methods of adaptation. The 17th International scientific and practical conference “The latest technologies in the development of science, business and education” (April 30–May 03, 2024) London, Great Britain. International Science Group. 43-46.
18. Poleva Ju., Polev M. (2024) Raising student awareness to study and address climate change. The 16th International scientific and practical conference “Innovations in education: problems, prospects and answers to today’s challenges,” (April 23 – 26, 2024), Zagreb, Croatia. International Science Group. 37 – 39.
19. Julia Poleva (2025) Connection of information communication with the ecological installation //The 17th International scientific and practical conference “Trends in the development of science in the digital transformations” (April 29 – May 02, 2025) Milan, Italy. International Science Group. 2025. 46.
20. Poleva J. (2024) Use of bioindication and biotesting in studying the state of freshwater ecosystems. The 6th International scientific and practical conference “Old and new technologies of learning development in modern conditions” (February 13-16), Berlin, Germany. International Science Group, 1, 40 – 43.
21. Julia Poleva (2026) The research-active educator: guiding students toward academic careers //The 8th International scientific and practical conference “Science, technology and innovation: vectors of transformation” (February 24-27, 2026) Berlin, Germany. International Science Group. 2026. 75 – 80.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВ

Дичко Аліна Олегівна

доктор технічних наук,
професор кафедри екології
та технологій захисту навколишнього середовища
Національний транспортний університет

Ямковий Олександр Олександрович

Національний транспортний університет

Екологічний менеджмент являє собою найважливішу складову систематичного підходу до управління впливом діяльності підприємства на довкілля. Система включає планування, впровадження, контроль та поліпшення екологічної діяльності.

Основною метою екологічного менеджменту є охоплення широкого спектру роботи, від моніторингу та зменшення викидів шкідливих речовин до раціонального використання природних ресурсів і забезпечення збереження біорізноманіття [2].

Однією з ключових переваг екологічного менеджменту є його здатність сприяти переходу суспільства на шлях сталого розвитку, де економічне зростання відбувається без шкоди для навколишнього середовища. Це вимагає інтеграції екологічних принципів у всіх аспектах ведення бізнесу та державного управління, а також розуміння того, що екологічна відповідальність є не лише моральним обов'язком, а й економічною необхідністю [1,4].

Оптимізація використання ресурсів є найважливішою метою, яка передбачає ефективне використання природних ресурсів з впровадженням заходів щодо зниження витрат на виробництво одиниці продукції, утилізацію відходів та перехід на альтернативні джерела енергії з підвищенням загальної енергоефективності процесів. Такий підхід не лише сприяє збереженню природних ресурсів, але й забезпечує довгострокову економічну вигоду для підприємства. Підвищення рівня екологічного менеджменту сприяє підвищенню рівня загальної екологічної культури в суспільстві та формує позитивну екологічну репутацію підприємства. Удосконалення системи екологічного менеджменту передбачає впровадження інновацій та застосування найкращих доступних технологій на підприємстві. Такий підхід дозволяє не тільки зменшити негативний виробничий вплив на довкілля, але й покращити загальну продуктивність та конкурентоспроможність підприємства [3].

Підвищення екологічної ефективності виробництва передбачає формування принципів екологічного менеджменту, що у подальшому можуть сформувати фундаментальну основу, на якій побудована вся система сталого розвитку організацій.

Принцип сталого розвитку надає можливість раціонального використання природних ресурсів, враховуючи не тільки потреби сьогодення, але й

забезпечуючи можливості для майбутніх поколінь. Під час планування будь-яких проєктів чи виробничих процесів необхідно враховувати їх довгостроковий вплив на екологію, економіку та суспільство. Такий підхід надає можливість інвестицій у розвиток екологічно чистих технологій, ефективного використання ресурсів та мінімізації відходів.

Принцип запобігання забрудненню в своїй основі виходить з визначення, що значно ефективніше та економічно вигідніше запобігати виникненню забруднення, ніж усувати його наслідки. Впровадження цього принципу може включати розробку та застосування нових, менш забруднюючих технологій, використання екологічно безпечних матеріалів та підвищення ефективності процесів з мінімальним впливом на довкілля. До цього принципу віднесено ретельний моніторинг викидів і відходів, а також розробки стратегій їх біотрансформації.

Принцип інтегрованого підходу надає можливість врахування екологічних аспектів у всіх ланках управління підприємством - від вищого керівництва до кожного окремого співробітника. Це означає, що екологічні цілі мають бути інтегровані в загальну стратегію розвитку компанії, а рішення прийматися з урахуванням їх потенційного впливу на довкілля. Такий інтегрований підхід допомагає організаціям бути більш гнучкими до змін екологічного законодавства та своєчасного прийняття управлінських рішень.

Принцип участі громадськості надає можливість активного залучення не тільки співробітників, але й клієнтів, партнерів, та місцевих громад до вирішення екологічних питань. Відкритий діалог і співпраця з усіма зацікавленими сторонами можуть значно покращити ефективність екологічних ініціатив та забезпечити підтримку впровадження екологічного менеджменту на підприємствах. Такий підхід сприяє підвищенню обізнаності та відповідальності громадськості у питаннях збереження навколишнього середовища.

Застосування вищеозначених принципів на виробництві дозволяє створити шлях сталого розвитку, забезпечуючи зниження негативного впливу на довкілля, підвищення ефективності виробництва за рахунок використання новітніх систем утилізації відходів [2,5].

Основні елементи та системи екологічного менеджменту підприємств будь-якого типу в своїй основі мають принцип взаємодії із зовнішнім середовищем. Ця взаємодія головним чином стосується споживання енергії, сировини та утворення відходів. Тому, системи екологічного менеджменту є критично важливими інструментами для організацій, що прагнуть оптимізувати свій вплив на довкілля та підвищити свою екологічну відповідальність. Складовими є ряд елементів та процедур, спрямованих на встановлення, впровадження, виконання, оцінку та підтримку ефективної політики у сфері охорони довкілля [3]. Еталонними стандартами для систем управління навколишнім середовищем є:

- ISO 14001:2015 (Міжнародний стандарт);
- Регламент (ЄС) № 1221/2009 – EMAS (Європейський стандарт).

Стандарт ISO 14001 визначає основні вимоги до системи управління навколишнім середовищем, які підприємство може використовувати для

розвитку своєї екологічної ефективності. Стандарт призначений для систематичного керування екологічними стратегіями на підприємстві [2,3].

ISO 14001 враховує наступні принципи системи екологічного менеджменту:

- екологічна політика: відповідає декларації про наміри, з метою прорахунку загальної екологічної ефективності та забезпечує орієнтир для діяльності з метою визначення цілей у сфері навколишнього середовища;

- планування: передбачає етапи визначення екологічних аспектів (елементів діяльності підприємств, виробництва продуктів або надання послуг, які мають або можуть мати вплив на навколишнє середовище), визначення значущих екологічних аспектів (які мають або можуть мати значний вплив на навколишнє середовище) та екологічні норми, що застосовуються до цих екологічних аспектів;

- впровадження та функціонування: передбачає визначення організаційної структури підприємства, відповідальності та завдань у сфері навколишнього середовища, підготовку персоналу, визначення внутрішніх або зовнішніх каналів зв'язку, розробку та контроль документації, оперативний контроль.

Всі вищезначені принципи екологічного менеджменту на підприємстві формують значущі принципи підвищення ефективності діяльності виробництва товарів або послуг та утилізації відходів з використанням інноваційних біотехнологій.

Список літератури

1. Артц М. Пошук стійкого балансу: Управління навколишнім середовищем, 2023.
2. Визначення навколишнього середовища, URL: <https://www.careemergencytoolkit.org/topics-issues/7-environment-anddisasters/1-introduction/1-1-definition-of-the-environment>, 2024
3. Екологічне управління та сталий розвиток, URL: https://www.ifad.org/elearning/IFAD_ESA_Procedures_FINAL.pdf, 2024
4. Екологічний менеджмент і аудит в управлінні природокористуванням, URL: <https://uahistory.co/lesson/lessons-course-ecology-11-class-zadorojnii2011/60.php>, 2024
5. Мітчел Б. Управління ресурсами та навколишнім середовищем, 2018.

EFFECT OF OPTUNA SEARCH DEPTH AND TEMPORAL VALIDATION BREADTH ON PAIRED ACTIVE AND REACTIVE POWER FORECASTING

Shatalov Yevhen

Ph.D. student

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

Kyryk Valerii

Professor

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

Abstract.

Using one fixed mutual-history LightGBM architecture with separate P and Q estimators and synchronized recursion, this study compares two allocations of tuning computation. Search depth uses nested best-so-far checkpoints after 10, 30, and 60 distinct Optuna trials on 24 chronological midnight origins; validation breadth uses 24-, 36-, and 48-origin designs at 60 trials. Seed-42 specifications are refitted daily across 59 leakage-safe midnight origins in 2022; 54 form the primary comparison and five late-February origins are descriptive. Performance is summarized by a fixed-scale paired root mean squared error (RMSE) score and paired normalized continuous ranked probability score (CRPS). S36-T60 has the lowest observed values for both. Within the nested seed-42 depth trajectory, T60 has lower paired normalized CRPS than T10 and T30 after Holm adjustment, while no point-loss depth or breadth contrast survives adjustment. Three sampler seeds show small common-sample breadth differences and are treated descriptively. The evidence supports a broad near-optimal region, not a universal trial or fold optimum.

Keywords: active power, reactive power, LightGBM, Optuna, hyperparameter optimization, rolling-origin evaluation, time-series validation

1. INTRODUCTION

Day-ahead active-power (P) and reactive-power (Q) forecasts support distribution-system scheduling, monitoring, voltage management, and state estimation. Their errors are related but distinct because Q also reflects power factor and local reactive behavior. Accuracy therefore depends on both the learner and the representation of target history [1]–[3].

Gradient-boosted trees suit heterogeneous weather, calendar, and lagged predictors [4]. In a recursive 24-h forecast, later target-dependent features contain earlier predictions, so candidate settings must be assessed over complete paired trajectories [5]. Hyperparameter tuning then creates a resource trade-off: more Optuna trials explore more vectors, while more chronological validation origins test each vector more broadly [6], [7]. Both choices add cost without guaranteeing better later forecasts.

The experiment holds the forecasting architecture fixed and asks how tuning computation should be divided between deeper Optuna exploration and broader

chronological validation. Depth is studied at nested 10-, 30-, and 60-trial milestones from one trajectory; breadth uses 24, 36, and 48 nested tuning origins, with three sampler seeds describing development sensitivity. Each configuration is a fixed hyperparameter and feature specification; fresh P and Q estimators are refitted at every evaluation origin under one leakage-safe rolling-origin protocol.

2. DATA AND FIXED FORECASTING ARCHITECTURE

The data contain hourly measurements from a 110/10-kV distribution substation in Kyiv Oblast, Ukraine. Active power is recorded in kW and reactive power in kVAr. The retained prepared record extends from 1 January 2021 to 30 June 2022. Candidate development uses chronological origins in 2021; the present forecast comparison uses 1 January–28 February 2022. Weather variables include temperature, humidity, precipitation, pressure, wind, and irradiance, together with calendar, weekend, seasonal, and Ukrainian holiday indicators.

Every learned configuration uses the same mutual-history design. Each target model receives the exogenous predictors, explicit 1- and 24-h lags of both P and Q, and trailing means and sample standard deviations over 24 and 168 h. One LightGBM hyperparameter vector is shared between the P and Q specifications, while the two estimators are fitted separately. At each forecast hour, both feature rows are built from the same pre-update history, both predictions are generated, and only then is the pair appended. Thus no model can use the other target's actual or predicted value at the same future timestamp.

The target series were prepared globally before this experiment, and future weather rows are treated as known. These choices keep every configuration on the same numerical sample but mean that the results are conditional on the prepared targets and perfect exogenous information. They are revisited as limitations rather than hidden within the accuracy comparison.

3. SEARCH AND EVALUATION DESIGN

3.1 Configuration names and experiment map

Each label Sx-Ty describes how a LightGBM specification was selected, not a permanently fitted model. Sx means that x chronological 2021 midnight origins were used to score candidate hyperparameters; Ty means that the best eligible vector available after y nonduplicate terminal Optuna trials was retained. For example, S24-T10 is selected on 24 tuning origins at the 10-trial milestone, whereas S36-T60 is selected on 36 origins at the 60-trial milestone. A terminal trial is a unique proposal that ends as complete or pruned. Only completed trials can supply the best-so-far vector, while pruned trials still consume computation. In the 2022 comparison, every retained specification is used to refit separate P and Q estimators at each midnight origin.

The five retained labels form two controlled comparisons. Search depth holds the 24-origin schedule fixed and compares S24-T10, S24-T30, and S24-T60. These are nested checkpoints of one continuous seed-42 tree-structured Parzen estimator (TPE) study, not independently restarted searches. Validation breadth holds 60 trials fixed and compares S24-T60, S36-T60, and S48-T60; the 36- and 48-origin schedules contain every origin from the smaller schedules. A target-fold fit is one LightGBM fit

for one target at one tuning origin, so it records work more faithfully than trial count when pruning stops a trial early. Seeds 17 and 73 supply additional development-only T60 search replications for the nested 24-, 36-, and 48-origin designs. Their selected vectors are rescored on the common 48-origin schedule, but seed 42 supplies all five frozen specifications used for 2022 forecasts.

3.2 Split creation and validation breadth

The base 24-origin schedule contains midnight origins distributed across February–September 2021: 12 regular days, six calendar days, and six stress days. Regular origins represent ordinary weekdays or weekends; calendar origins cover holidays, month or season boundaries, and return transitions; stress origins capture marked weather or P–Q conditions, including temperature, wind, precipitation, irradiance, and load variability. This 2:1:1 composition prevents the tuning score from being determined only by ordinary operating days. Origins are selected from calendar and descriptive operating conditions rather than from later forecast errors.

Every fold starts training on 2 January 2021 and expands through 23:00 immediately before its forecast origin. The next calendar day is hidden and forecast recursively for 24 h. Consequently, later folds contain all earlier available observations, there is no withheld interval between fitting and scoring (fit gap = 0), and only the scored day is recursive. The 168-h quantity used elsewhere in the model is a trailing-feature window, not a validation gap. The 36-origin schedule retains all 24 base origins and adds six regular, three calendar, and three stress origins; the 48-origin schedule retains those 36 and adds the same 6/3/3 composition. Thus the three designs contain 12/6/6, 18/9/9, and 24/12/12 origins, respectively, and are exact nested extensions.

S24-T60, S36-T60, and S48-T60 use the same 60-terminal-trial budget. Because their own-design objectives are calculated on different origin sets, those values are not directly comparable. For each seed and breadth, the selected vector is therefore held fixed and rescored, without further tuning, on the common 48-origin schedule. The resulting seed-42, seed-17, and seed-73 breadth sequences form three matched development trajectories. At each breadth, their median common-schedule score is used only as a descriptive center; the individual seed trajectories remain visible, and only seed 42 supplies the 2022 forecasting specification. The three seed trajectories are not treated as independent samples for statistical inference.

3.3 Tuning objective

For origin o , the recursive 24-h errors of P and Q are first converted to one dimensionless paired score:

$$j_o = 0.5 \left[\frac{\text{RMSE}_{P,o}}{B_P} + \frac{\text{RMSE}_{Q,o}}{B_Q} \right].$$

The fixed normalizers, 192.005583 kW for P and 229.797998 kVAr for Q, are the aggregate SNaive-24 RMSE values calculated once over all 24 base tuning origins. The Optuna objective preserves the intended origin composition:

$$J_{\text{dev}} = 0.50 \text{ mean}_{\text{regular}}(j_o) + 0.25 \text{ mean}_{\text{calendar}}(j_o) + 0.25 \text{ mean}_{\text{stress}}(j_o).$$

RMSE was fixed before tuning because squared-error regression was used and the primary external point criterion was intended to give larger 24-h misses more influence. Mean absolute error (MAE) was calculated and retained in the archived

results as a secondary diagnostic; the conference text reports RMSE and CRPS to keep the comparison compact. Replacing RMSE with MAE would define a different optimization experiment and require every configuration to be retuned; it cannot be substituted after model selection.

3.4 Rolling-origin evaluation and inference

At each midnight origin, each frozen specification is used to refit separate P and Q estimators on prepared rows available through 23:00 of the preceding day; those estimators then forecast the next 24 h recursively. Earlier 2022 observations enter later refits only after they have become available. Future P and Q are unavailable. A dedicated audit verified 59 origins, 24 horizons, and 1,416 forecasts per target and configuration. Replacing all future targets with sentinel values and reversing the P–Q estimator order produced maximum forecast differences of zero at nine configuration-origin checks.

The primary interval contains 54 origins from 1 January through 23 February 2022. The five origins from 24–28 February are retained as a descriptive stress interval and excluded from ordinary inference. RMSE describes point accuracy in the conference text, while MAE remains available in the archive. The fixed-scale paired RMSE score equally averages P RMSE divided by 192.005583 kW and Q RMSE divided by 229.797998 kVAr. For each configuration, every 2022 point forecast is combined with 92 complete paired P–Q residual trajectories obtained from leakage-safe daily rolling-origin forecasts over 1 October–31 December 2021 under the same refitting protocol. The resulting fixed empirical ensemble uses neither bootstrap resampling nor adaptive recalibration. It preserves temporal and cross-target dependence, does not alter point forecasts, and is evaluated by the continuous ranked probability score (CRPS) [8].

For configuration m and day d , MSE and CRPS are calculated over the complete 24-h trajectory. The daily paired losses used in the statistical comparisons are

$$L_{SE}(m, d) = 0.5 \left[\frac{MSE_P(m, d)}{B_P^2} + \frac{MSE_Q(m, d)}{B_Q^2} \right].$$

$$L_{CRPS}(m, d) = 0.5 \left[\frac{CRPS_P(m, d)}{B_P} + \frac{CRPS_Q(m, d)}{B_Q} \right].$$

Daily loss differences are tested over the 54 complete primary trajectories using a Bartlett–Newey–West heteroskedasticity-and-autocorrelation-consistent (HAC) variance estimate with a fixed bandwidth of three daily lags; for $n = 54$, this equals the conventional Newey–West automatic bandwidth rule. The Harvey–Leybourne–Newbold finite-sample correction uses trajectory-level horizon $h = 1$ because each observation is one complete day. Tests are two-sided, and separate three-comparison Holm step-down families control family-wise error at 5% [9]–[12].

Table 1. Search configurations and measured computational cost

Configuration	Tuning origins	Terminal trials	Target-fold fits	Recorded time (h)
S24-T10	24	10	480	0.16
S24-T30	24	30	1,296	0.47

Configuration	Tuning origins	Terminal trials	Target-fold fits	Recorded time (h)
S24-T60	24	60	2,598	1.25
S36-T60	36	60	3,480	1.29
S48-T60	48	60	4,056	2.26

Only seed-42 specifications enter the 2022 forecast comparison. Seeds 17 and 73 provide development-only 60-terminal-trial searches and common SEARCH-48 rescoring for the breadth analysis. Fits and times refer to seed 42. Searches ran sequentially on a Windows 11 CPU workstation with four LightGBM threads; times are environment-specific.

4. RESULTS

Using the labels defined in Section 3.1, search depth compares S24-T10, S24-T30, and S24-T60 at a fixed 24-origin schedule. Validation breadth compares S24-T60, S36-T60, and S48-T60 at a fixed 60-trial budget. These two questions and their statistical families are kept separate below.

4.1 Search depth

Within the nested seed-42 trajectory, the external fixed-scale paired RMSE score decreases from 0.6026 for S24-T10 to 0.5953 for S24-T30 and 0.5659 for S24-T60. The intermediate milestone is not uniformly better: T30 reduces Q RMSE relative to T10 but increases P RMSE. T60 has lower point and probabilistic scores than both shallower milestones. Under daily paired squared error, neither T60 contrast survives Holm adjustment (adjusted $p = 0.1189$). In the separate paired normalized CRPS family, T60 is lower than T10 and T30 after adjustment (adjusted $p = 0.0277$ for each). Within this nested seed-42 trajectory, the T60 specification therefore has lower paired normalized CRPS than T10 and T30. The point-loss contrasts remain unresolved, and the result does not establish that a 60-trial budget is generally superior.

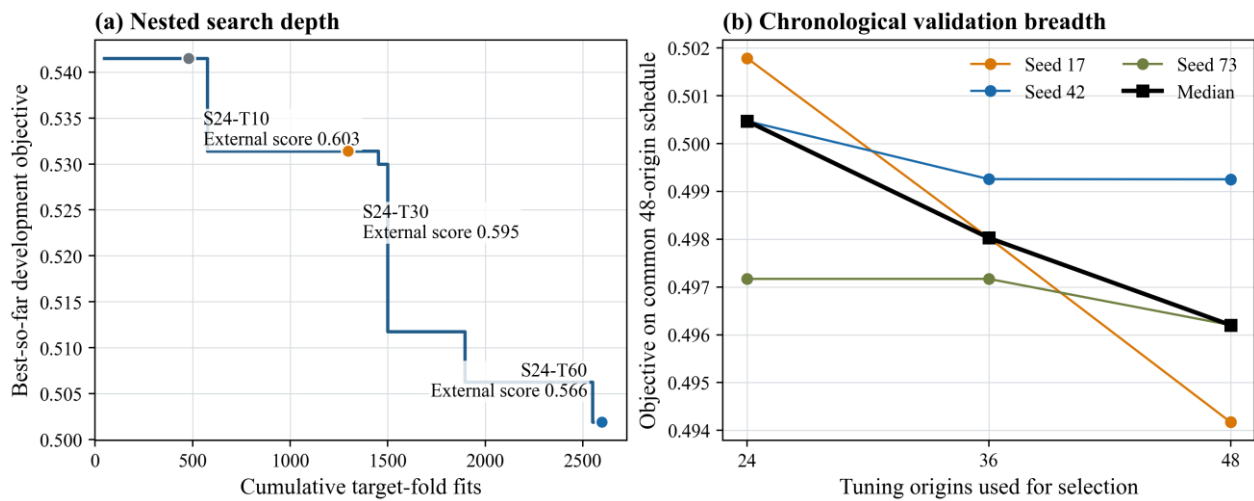


Figure 1. Search depth and chronological tuning-origin breadth. (a) Best-so-far 24-origin tuning objective against cumulative target-fold fitting cost; markers identify nested 10-, 30-, and 60-trial seed-42 milestones. The printed 2022 fixed-scale paired RMSE scores are external-score annotations only and are not values on the tuning-objective axis. (b) Vectors selected on 24, 36, and 48 origins and rescored on the common 48-origin design for three sampler seeds. Thin lines connect matched seeds; the thick line is the median at each breadth, a descriptive center rather than an inferential estimate.

Source of the figure: authors' calculations based on archived Optuna and fold-rescoring outputs.

4.2 Tuning breadth

Figure 1(b) compares all selected vectors on the same 48 origins. Each point remains the RMSE-based development objective; the thick line takes the median of the three seed-specific points at each breadth only to describe their typical level without allowing one unusually high or low seed to dominate. It is neither a new tuning objective nor MAE. The individual trajectories remain visible, and no confidence interval or seed-level test is used because three seeds are too few for formal inference.

On that common sample, the median changes from 0.50047 for vectors selected on 24 origins to 0.49802 on 36 and 0.49620 on 48. The 24-to-36 transition improves two seed trajectories and ties one; 36-to-48 improves all three numerically, but every latter change is below 1%. Selected parameter vectors differ across breadths except for the identical seed-73 24- and 36-origin best-so-far vectors. These small descriptive differences are consistent with a broad near-optimal region.

4.3 External 54-day performance

Among the five frozen seed-42 specifications, S36-T60 is the numerical paired leader, with fixed-scale paired RMSE score 0.5581 and paired normalized CRPS 0.2942. S48-T60 has the smallest Q RMSE, 115.13 kVAr, but its P RMSE is higher than S36-T60 and its paired criteria are slightly worse. S24-T60 is less expensive and remains close. Neither squared-error nor CRPS breadth contrast survives its Holm adjustment; the smallest adjusted breadth p-value is 0.1544. S36-T60 is therefore a practical numerical compromise in this case study, not a statistically established optimum.

Table 2(a). Point-forecast performance over 54 primary origins

Configuration	P RMSE (kW)	Q RMSE (kVAr)	Fixed-scale paired RMSE score
S24-T10	125.70	126.50	0.6026
S24-T30	127.31	121.24	0.5953
S24-T60	120.10	116.34	0.5659
S36-T60	118.04	115.24	0.5581
S48-T60	119.15	115.13	0.5608
SNaive-24	185.80	172.04	0.8582
SNaive-168	265.00	149.90	1.0162

Table 2(b). Probabilistic performance over 54 primary origins

Configuration	P CRPS (kW)	Q CRPS (kVAr)	Paired normalized CRPS
S24-T10	67.11	66.73	0.3200
S24-T30	67.03	64.38	0.3146
S24-T60	63.97	60.34	0.2979
S36-T60	62.69	60.18	0.2942
S48-T60	63.33	60.69	0.2970
SNaive-24	96.84	86.37	0.4401
SNaive-168	163.57	77.40	0.5944

Lower values are better. Paired scores use fixed development scales of 192.005583 kW and 229.797998 kVAr with equal target weights. The 54-day primary interval is 1 January–23 February 2022; 24–28 February is excluded.

Table 3(a). Daily paired-loss comparisons for search depth

Contrast	Mean difference [95% CI]	Raw p	Holm p
SE: S24-T10 - S24-T30	0.00679 [-0.03735, 0.05094]	0.7588	0.7588
SE: S24-T10 - S24-T60	0.04199 [0.00207, 0.08191]	0.0396	0.1189
SE: S24-T30 - S24-T60	0.03519 [-0.00086, 0.07125]	0.0555	0.1189
CRPS: S24-T10 - S24-T30	0.00534 [-0.01270, 0.02339]	0.5552	0.5552
CRPS: S24-T10 - S24-T60	0.02210 [0.00569, 0.03851]	0.0092	0.0277
CRPS: S24-T30 - S24-T60	0.01676 [0.00389, 0.02963]	0.0117	0.0277

Table 3(b). Daily paired-loss comparisons for validation breadth

Contrast	Mean difference [95% CI]	Raw p	Holm p
SE: S24-T60 - S36-T60	0.00907 [-0.00006, 0.01820]	0.0515	0.1544
SE: S24-T60 - S48-T60	0.00576 [-0.00720, 0.01872]	0.3767	0.7534
SE: S36-T60 - S48-T60	-0.00331 [-0.01882, 0.01220]	0.6703	0.7534
CRPS: S24-T60 - S36-T60	0.00367 [-0.00109, 0.00844]	0.1279	0.3837
CRPS: S24-T60 - S48-T60	0.00089 [-0.00533, 0.00710]	0.7764	0.7764
CRPS: S36-T60 - S48-T60	-0.00279 [-0.00778, 0.00220]	0.2671	0.5343

SE and CRPS denote the daily paired normalized squared-error and CRPS losses defined in Section 3.4. Difference = first configuration minus second; negative values favor the first. Each design–loss block is a separate three-comparison Holm family; HAC lag = 3.

4.4 Complete forecast trajectories

Across the 54 primary origins, the learned forecasts track the dominant daily P cycle and the more irregular Q pattern; differences among configurations are small relative to this shared temporal movement. During 24–28 February, the fixed-scale paired RMSE score rises to 0.7202–0.7652 from 0.5581–0.6026 in the primary period. This descriptive interval discloses changed behavior and is not used for selection or inference.

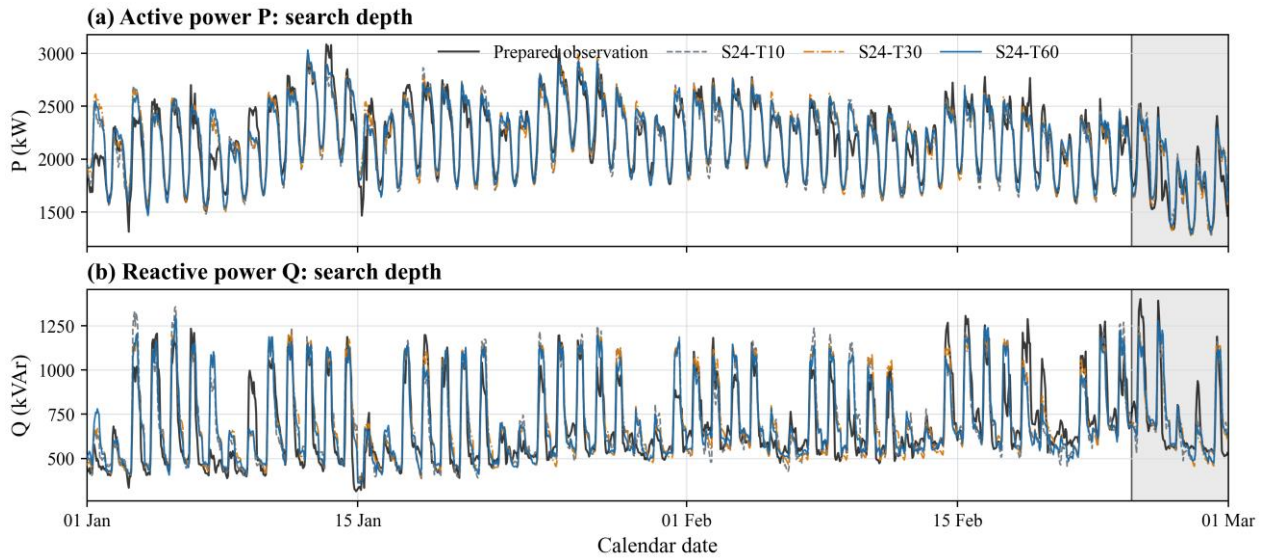


Figure 2(a–b). Leakage-safe P and Q forecasts for the nested search-depth comparison (S24-T10, S24-T30, and S24-T60) over all 59 midnight origins. Continued on the next page.

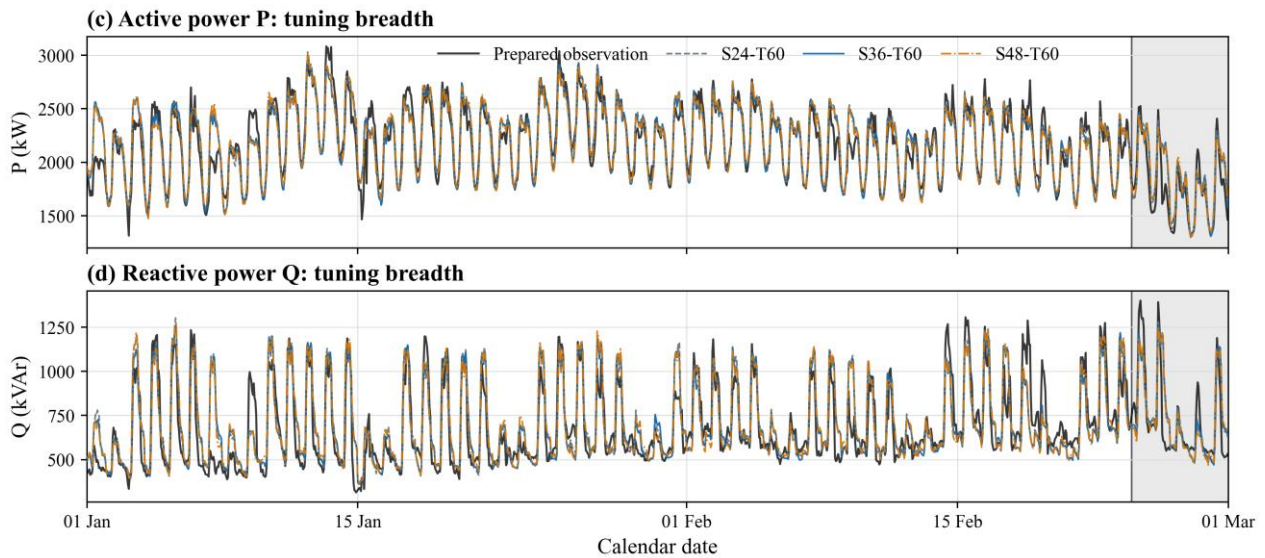


Figure 2(c–d), continued. P and Q forecasts for validation breadth (S24-T60, S36-T60, and S48-T60). Each origin refits through the prior 23:00 and uses synchronized 24-h recursion with future P and Q unavailable. The shaded 24–28 February interval is descriptive; inference uses 1 January–23 February.

Source of the figure: authors' calculations based on archived leakage-safe rolling-origin forecasts.

5. DISCUSSION AND LIMITATIONS

Within the nested seed-42 depth trajectory, T60 has lower paired normalized CRPS than T10 and T30 after Holm adjustment, while point-loss contrasts remain unresolved. Increasing breadth changed the selected vector and raised seed-42 trial time by 81% (1.25 to 2.26 h) from S24-T60 to S48-T60, yet external paired scores differed by less than 1.4% without monotonic improvement; added computation should therefore not be assumed to improve forecasts.

Several limits constrain interpretation. The study uses one substation, one forecasting architecture, and three descriptive sampler seeds. The primary/stress boundary is set at 24 February 2022 to separate the five origins following the onset of the full-scale invasion; this descriptive partition is not a prospective independent test. Target preparation was performed globally, and realized future weather rather than archived day-ahead forecasts supplies exogenous inputs. Q4 residual calibration changes uncertainty distributions but not LightGBM point forecasts. Finally, nonsignificance does not establish equivalence, and the numerical S36 result should not be generalized as an optimal number of tuning origins.

6. CONCLUSION

For a fixed mutual-history LightGBM architecture, deeper TPE exploration and broader chronological validation select different parameter vectors but produce comparatively modest external differences. Within the nested seed-42 search-depth trajectory, the T60 specification has the lowest observed fixed-scale paired RMSE score and lower paired normalized CRPS than T10 and T30 after Holm adjustment, while point-loss differences remain unresolved. At 60 trials, S36-T60 has the lowest observed fixed-scale paired RMSE score and paired normalized CRPS, but no breadth

contrast is statistically resolved. Three development seeds likewise show small common-sample breadth changes. The evidence supports a broad near-optimal region and argues against a universal trial or fold prescription; future stopping rules should be fixed using development-only criteria.

References

- [1] V. V. Kyryk and Y. O. Shatalov, “Load forecasting in electrical grids: analysis of methods and their trends,” *Problems of the Regional Energetics*, no. 1(65), pp. 12–36, 2025.
- [2] J. Qin et al., “Multi-task short-term reactive and active load forecasting method based on attention-LSTM model,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 135, art. 107517, 2022.
- [3] H. Dong et al., “Short-term residential household reactive power forecasting considering active power demand via deep Transformer sequence-to-sequence networks,” *Appl. Energy*, vol. 329, art. 120281, 2023.
- [4] G. Ke et al., “LightGBM: a highly efficient gradient boosting decision tree,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 30, pp. 3146–3154, 2017.
- [5] S. Ben Taieb, G. Bontempi, A. F. Atiya, and A. Sorjamaa, “A review and comparison of strategies for multi-step ahead time series forecasting based on the NN5 forecasting competition,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 8, pp. 7067–7083, 2012.
- [6] T. Akiba, S. Sano, T. Yanase, T. Ohta, and M. Koyama, “Optuna: a next-generation hyperparameter optimization framework,” in *Proc. 25th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min.*, 2019, pp. 2623–2631.
- [7] C. Bergmeir, R. J. Hyndman, and B. Koo, “A note on the validity of cross-validation for evaluating autoregressive time series prediction,” *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 120, pp. 70–83, 2018.
- [8] T. Gneiting and A. E. Raftery, “Strictly proper scoring rules, prediction, and estimation,” *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 102, no. 477, pp. 359–378, 2007.
- [9] F. X. Diebold and R. S. Mariano, “Comparing predictive accuracy,” *J. Bus. Econ. Stat.*, vol. 13, no. 3, pp. 253–263, 1995.
- [10] W. K. Newey and K. D. West, “A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix,” *Econometrica*, vol. 55, no. 3, pp. 703–708, 1987.
- [11] D. Harvey, S. Leybourne, and P. Newbold, “Testing the equality of prediction mean squared errors,” *Int. J. Forecasting*, vol. 13, no. 2, pp. 281–291, 1997.
- [12] S. Holm, “A simple sequentially rejective multiple test procedure,” *Scand. J. Stat.*, vol. 6, no. 2, pp. 65–70, 1979.

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО МІНІМІЗАЦІЇ ФАЗОВОЇ ПОМИЛКИ В ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМАХ СИНХРОНІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ПРИ АДИТИВНІЙ ПЕРЕШКОДІ НА ВХОДІ

Волошин Василь Олександрович

аспірант

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Анотація. У тезах розглянуто методичний підхід до мінімізації фазової помилки в імпульсних системах синхронізації телекомунікацій за наявності адитивної перешкоди на вході. Основна ідея полягає у використанні комбінованої структури синхронізації з додатковим розімкненим каналом, параметри якого визначаються за критерієм мінімізації середньоквадратичної фазової помилки. Такий підхід дозволяє підвищити точність імпульсно-фазової синхронізації без істотного ускладнення замкненого контуру регулювання.

Ключові слова: імпульсна система синхронізації, фазова помилка, адитивна перешкода, комбінована система синхронізації, Z-перетворення, дисперсія фазової помилки, телекомунікаційна система.

Вступ

Системи синхронізації є базовими елементами телекомунікаційних приймачів, демодуляторів, синтезаторів частот, пристроїв тактової синхронізації та цифрових систем передавання даних. У сучасних системах зв'язку дедалі ширше застосовуються структури з дискретною обробкою інформації, зокрема у синтезаторах частот, демодуляторах імпульсних сигналів з частотною та фазовою модуляцією, пристроях тактової синхронізації, а також у когерентних цифрових приймачах.

Проблема фазової помилки є принциповою для телекомунікаційних систем, оскільки похибка фазового або тактового узгодження безпосередньо впливає на точність демодуляції, імовірність бітової помилки, рівень джитеру та стійкість приймання в умовах шуму. Особливої актуальності це набуває для імпульсних систем синхронізації, де вхідна інформація надходить у вигляді дискретних відліків, а на вході системи діє адитивна перешкода.

Метою роботи є узагальнення методичного підходу до мінімізації фазової помилки в імпульсних системах синхронізації телекомунікацій шляхом використання комбінованої структури з додатковим розімкненим каналом та вибором його параметрів за критерієм мінімуму середньоквадратичної фазової помилки.

Постановка задачі

У загальному випадку фаза вхідного сигналу імпульсної системи синхронізації може бути подана як сума корисної фазової складової та шумової

складової, яка відображає вплив адитивної перешкоди на вході. Для дискретних відліків фази це можна записати у вигляді:

$$\varphi_{\text{вх}}(nT) = M(nT) + N(nT)$$

де $M(t)$ — корисна модуляція фази вхідного сигналу; $N(t)$ — шумова модуляція фази, зумовлена адитивною перешкодою; T — період дискретизації.

Таке подання дозволяє розділити вплив корисного інформаційного процесу та шуму на фазову помилку системи. У подальшому фазова помилка розглядається як випадковий процес, статистичні характеристики якого залежать від передаточних функцій замкненого контуру, параметрів фазового дискримінатора, фільтрів системи та додаткового розімкненого зв'язку.

Для більшості імпульсно-фазових систем автопідстроювання частоти припущення про сталість періоду регулювання є прийнятним, якщо відносне відхилення частоти дискретизації є малим. Це дає змогу застосовувати апарат дискретного Z -перетворення для аналізу та синтезу системи.

Структура імпульсної системи синхронізації

Методичний підхід передбачає порівняння двох структур: базової замкненої системи синхронізації та комбінованої системи синхронізації. У базовій структурі фазова помилка формується в замкненому контурі за участю імпульсно-фазового дискримінатора, фільтра системи та керованого генератора або інтегрувальної ланки.

У комбінованій структурі до основного замкненого контуру вводиться додатковий розімкнений канал. Він містить імпульсний елемент, фіксатор нульового порядку та неперервну коригувальну ланку $W_4(s)$. Такий канал не замінює основний контур синхронізації, а доповнює його, формуючи додатковий вплив на вихідну координату системи.

Нелінійна характеристика фазового дискримінатора в межах малих фазових відхилень може бути замінена пропорційною ланкою з коефіцієнтом K_1 . Таке лінеаризоване подання є обґрунтованим для режимів високоточної синхронізації, коли фазова помилка залишається в межах робочої ділянки дискримінаційної характеристики.

Методика мінімізації фазової помилки

Синтез комбінованої імпульсної системи синхронізації доцільно виконувати у декілька послідовних етапів.

1. Формалізація вхідного процесу. На цьому етапі задається модель вхідної фази як суми корисної складової $M(nT)$ та шумової складової $N(nT)$. Для випадку адитивної нормальної перешкоди необхідно врахувати її спектральну густину, перераховану до входу фазового дискримінатора.

2. Побудова лінійної дискретної моделі. Імпульсно-фазовий дискримінатор подається як послідовність нелінійної ланки, імпульсного елемента та фіксатора нульового порядку. За умов малої фазової помилки нелінійна ланка замінюється еквівалентним пропорційним коефіцієнтом K_1 .

3. Визначення Z -зображень сигналів. Для переходу до дискретного аналізу використовуються Z -перетворення корисної складової, шумової складової та сигналів у вузлах системи. Це дозволяє отримати імпульсні передаточні функції для фазової помилки та вихідної координати.

4. Отримання передаточних функцій фазової помилки. Для комбінованої системи фазова помилка формується під дією двох складових: корисної фазової модуляції $M(Z)$ та шумової складової $N(Z)$. У загальному вигляді її можна подати як:

$$\varphi(Z) = W_{\varphi}K(Z)M(Z) - WK(Z)N(Z),$$

де $W_{\varphi}K(Z)$ — передаточна функція системи за корисною фазовою складовою; $WK(Z)$ — передаточна функція за шумовою складовою.

5. Формування критерію оптимізації. Як критерій якості використовується дисперсія або середньоквадратична фазова помилка. Такий критерій є доцільним, оскільки він безпосередньо враховує статистичний характер адитивної перешкоди та дозволяє оцінити інтегральний вплив шуму на якість синхронізації.

$$\sigma_{\varphi}^2 = F(W_{\varphi}K(Z), WK(Z), GM(Z), GN(Z)),$$

де $GM(Z)$ — енергетичний спектр корисної дискретної фазової складової; $GN(Z)$ — енергетичний спектр шумової складової; $F(\cdot)$ — функціонал, що визначає дисперсію фазової помилки через спектральні характеристики вхідних процесів і передаточні функції системи.

6. Вибір параметра додаткового зв'язку. Параметри коригувальної ланки $W_4(s)$ або її дискретного еквівалента вибираються з умови мінімізації σ_{φ}^2 . Оскільки елементи виразу для дисперсії залежать від параметра додаткового зв'язку, зміна цього параметра дозволяє безпосередньо впливати на величину фазової помилки.

Науково-практичне значення

Запропонований методичний підхід має практичне значення для імпульсних демодуляторів фазоманіпульованих сигналів, цифрових систем тактової синхронізації, когерентних приймачів і пристроїв ущільнення каналів у телекомунікаційних системах. Його застосування дозволяє перейти від емпіричного налаштування параметрів синхронізатора до кількісного синтезу за критерієм мінімуму середньоквадратичної фазової помилки.

Додатковий розімкнений канал створює окремий ступінь свободи для зменшення шумової та перехідної складових фазової помилки. При цьому основний замкнений контур зберігає функції стеження та стабілізації, а коригувальна ланка забезпечує цілеспрямоване покращення статистичних характеристик помилки.

Перевагою такого підходу є можливість його використання як у системах, для яких допустиме наближення до неперервної моделі, так і в системах, де необхідний безпосередній дискретний синтез на основі Z -зображень. Це робить

метод придатним для сучасних цифрових телекомунікаційних пристроїв з імпульсною обробкою сигналів.

Висновки

1. Імпульсні системи синхронізації телекомунікацій доцільно аналізувати в дискретній області, розглядаючи фазу вхідного сигналу як суму корисної фазової модуляції та шумової складової, зумовленої адитивною перешкодою.

2. Для мінімізації фазової помилки ефективним є використання комбінованої системи синхронізації з додатковим розімкненим каналом, який впливає на формування вихідної координати та фазової помилки.

3. Методично обґрунтованим критерієм синтезу є мінімізація дисперсії або середньоквадратичного значення фазової помилки, що враховує вплив як корисного фазового процесу, так і адитивної перешкоди.

4. Використання Z-перетворення дозволяє отримати дискретні передаточні функції системи, оцінити спектральні характеристики фазової помилки та визначити параметри додаткового зв'язку.

5. Запропонований підхід може бути використаний для підвищення точності імпульсних систем фазової та тактової синхронізації в телекомунікаційних приймачах, демодуляторах ФМ-сигналів і цифрових системах когерентного приймання.

Список літератури

1. Mengali U., D'Andrea A. N. Synchronization Techniques for Digital Receivers. New York: Springer, 1997. 520 p.

2. Turovsky O. *Estimation of the possibilities of the combined synchronization system with open-link to minimize the dispersion of the phase error when tracking the carrier frequency under the conditions of the influence of additive noise*. Technology Audit and Production Reserves. 2020. Vol. 4, No. 1(54). P. 16–22. DOI: 10.15587/2706-5448.2020.210242

3. Lee E. A., Messerschmitt D. G. Digital Communication. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.

4. Mengali U., D'Andrea A. N. Synchronization Techniques for Digital Receivers. New York: Plenum Press, 1997.

5. Nasir A. A., Durrani S., Mehrpouyan H., Blostein S. D., Kennedy R. A. Timing and carrier synchronization in wireless communication systems: a survey and classification of research in the last 5 years. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2016.

6. ITU-T G.8271/Y.1366. Time and phase synchronization aspects of telecommunication networks. International Telecommunication Union.

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНОЇ НЕФЛУКТУАЦІЙНОЇ ЗАВАДИ НА СИГНАЛИ З БАГАТОПОЗИЦІЙНОЮ ІМПУЛЬСНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ

Туровський Олександр Леонідович

Завідувач кафедри Технічних систем кіберзахисту
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Бондаренко Євген Вікторович

Аспірант кафедри Технічних систем кіберзахисту
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Вступ

Сигнали з багатопозиційною фазовою маніпуляцією (БФМ, або M-PSK) широко застосовуються в цифрових телекомунікаційних і радіотехнічних системах, оскільки забезпечують підвищення інформаційної ефективності за рахунок передавання декількох бітів одним сигнальним символом. У таких системах інформація закодована у фазовому положенні елементарного сигналу, тому якість приймання істотно залежить від точності фазової синхронізації, стабільності опорного колювання, рівня шуму та наявності спеціально сформованих або природно виниклих нефлуктуаційних завад. Особливо небезпечною є імпульсна нефлуктуаційна завада, яка діє не постійно, а в окремі інтервали часу, має детерміновану або квазидетерміновану структуру та може співпадати з моментами приймання символів.

Актуальність оцінки впливу такої завади зумовлена тим, що класичні моделі завадостійкості часто будуються для флуктуаційної, переважно гаусової, завади. Проте в реальних каналах зв'язку, особливо у радіоканалах спеціального призначення, поряд із флуктуаційним шумом можуть діяти гармонічні, фазоманіпульовані, ретрансльовані, сканувальні, імпульсні та мультиплікативні нефлуктуаційні завади. Робота Туровського, Мелешко і Дробика присвячена саме методології оцінювання їх впливу на завадостійкість приймання дискретних сигналів з БФМ, а робота Швеця і Мелешко розвиває цей підхід для когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією за наявності нефлуктуаційних завад [1, 2].

Метою доповіді є узагальнення особливостей оцінки впливу імпульсної нефлуктуаційної завади на сигнали з багатопозиційною імпульсною фазовою маніпуляцією та визначення послідовності методичних дій, необхідних для кількісного оцінювання погіршення завадостійкості приймання.

1. Сутність багатопозиційної імпульсної фазової маніпуляції

У системах з багатопозиційною фазовою маніпуляцією множина сигнальних позицій формується як набір фазових станів, рівномірно розміщених на сигнальному колі. Для М-позиційної фазової маніпуляції сусідні сигнальні точки

відділені кутовою відстанню $2\pi/M$. Чим більше значення M , тим більша спектральна ефективність, але тим менша евклідова відстань між сусідніми сигнальними позиціями. Це означає, що зі збільшенням позиційності сигнал стає більш чутливим до фазових зміщень, синхронізаційної помилки та додаткових завадових впливів.

Імпульсний характер сигналу означає, що передавання відбувається у вигляді часової послідовності елементарних імпульсів або символів. У межах кожного символу фаза сигналу відповідає одному з дозволених інформаційних станів. На вході когерентного приймача виконується кореляційне або проєкційне порівняння прийнятого сигналу з еталонними опорними коливаннями. Рішення про переданий символ приймається за найближчою сигнальною позицією. Тому будь-яка імпульсна завада, яка змінює миттєву амплітуду, фазу або комплексну огинаючу сигналу в інтервалі спостереження, може перевести точку приймання через межу рішення.

Для BPSK або QPSK міжпозиційна відстань є відносно великою, тому однакова за енергією імпульсна завада може не призвести до суттєвого зростання помилки. Для 8-PSK, 16-PSK і вищих порядків фазові сектори значно звужуються, а отже навіть короткочасне фазове або векторне зміщення може спричинити помилкове рішення. Саме тому при оцінці впливу імпульсної нефлуктуаційної завади необхідно враховувати не лише енергетичне відношення сигнал/завада, а й позиційність M , фазу завади відносно корисного сигналу, момент її дії та тривалість імпульсу.

2. Імпульсна нефлуктуаційна завада як фактор погіршення приймання

Нефлуктуаційна завада відрізняється від флуктуаційного шуму тим, що її структура не зводиться до випадкового гаусового процесу з нульовим математичним сподіванням. Вона може мати визначену форму, повторюваність, фазову або частотну структуру, а також бути співмірною з корисним сигналом за амплітудою. Імпульсна нефлуктуаційна завада є окремим класом такого впливу: вона діє протягом обмежених часових інтервалів, але через велику миттєву потужність здатна різко змінювати результат демодуляції.

Для сигналів з БФМ така завада проявляється як додатковий вектор у комплексній площині приймання. Якщо корисний сигнал має фазу ϕ_m , а завада діє в межах символу з фазою ψ , то результуючий вектор на вході приймача вже не збігається з ідеальною сигнальною точкою. Його положення визначається векторною сумою корисного сигналу, флуктуаційного шуму та імпульсної нефлуктуаційної складової. У випадку короткої, але енергетично значущої завади інтегральний результат кореляційного прийому залежить від того, яку частину символу перекриває імпульс і наскільки його форма узгоджена з базисними функціями приймача.

Особливість імпульсної завади полягає в тому, що її вплив не завжди коректно оцінювати тільки через середню потужність. Два імпульси з однаковою енергією можуть мати різний ефект, якщо один із них збігається з найбільш інформативною частиною символу, а інший припадає на край імпульсу або частково відфільтровується приймачем. Тому в методиці оцінювання потрібно

вводити параметри тривалості імпульсу, часової затримки, інтенсивності, повторюваності, фази та частотного розстроювання завади.

3. Критерії оцінки впливу на завадостійкість

Основним показником завадостійкості приймання сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією є ймовірність символної або бітової помилки. Саме цей критерій найбільш безпосередньо характеризує практичну якість прийому, оскільки відображає наслідок дії завади на процес прийняття рішення в демодуляторі. Для когерентного приймача рішення формується після порівняння кореляційних відгуків або після визначення сектору, до якого належить прийнятий фазовий вектор.

Під дією імпульсної нефлуктуаційної завади ймовірність помилки доцільно оцінювати умовно: спочатку для заданих параметрів завади, а потім шляхом усереднення за можливими положеннями імпульсу, фазовими співвідношеннями та інформаційними символами. Такий підхід дозволяє перейти від окремого сценарію впливу до інтегральної оцінки завадозахищеності. У найпростішому випадку параметрами моделі є відношення енергії сигналу до спектральної густини шуму, відношення амплітуди завади до амплітуди сигналу, позиційність M , тривалість завадового імпульсу та його фазове положення.

Крім ймовірності помилки, додатковими критеріями можуть бути запас завадозахищеності, зсув меж прийняття рішення, еквівалентне зменшення відношення сигнал/шум, кількість уражених символів у пакеті та ймовірність пакетної помилки. Для імпульсних завад останній критерій є особливо важливим, оскільки коротка завада може незначно змінити середню ймовірність помилки на довгій послідовності, але повністю зруйнувати окремий інформаційний пакет або синхронізаційний фрагмент.

4. Методична послідовність оцінювання

Методичний підхід до оцінки впливу імпульсної нефлуктуаційної завади доцільно будувати у кілька етапів. На першому етапі задаються параметри телекомунікаційної системи: тип модуляції, позиційність M , тривалість символу, форма імпульсу, смуга приймача, спосіб когерентного приймання та правило прийняття рішення. Ці дані формують базову модель прийому сигналів з БФМ без нефлуктуаційної завади.

На другому етапі формується модель імпульсної нефлуктуаційної завади. Вона повинна описувати часову форму імпульсу, його амплітуду, фазу, тривалість, періодичність або випадковість появи, а також можливе частотне розстроювання. Для задачі оцінки завадостійкості важливо не лише задати математичний вираз завади, а й визначити, які її параметри є найнебезпечнішими для даної позиційності M . Наприклад, для 16-PSK навіть помірна за амплітудою завада з фазою, спрямованою до сусіднього сектору рішення, може бути істотно небезпечнішою, ніж більша за амплітудою завада з іншим фазовим напрямом.

На третьому етапі виконується перехід до векторної або кореляційної моделі приймання. Корисний сигнал і завада подаються в одному сигнальному просторі. Це дає змогу оцінити зміщення прийнятої точки відносно ідеальної сигнальної позиції та меж рішення. Якщо завада діє тільки на частині символу, її внесок у

кореляційний інтеграл масштабується коефіцієнтом перекриття, який залежить від тривалості імпульсу і часової позиції завади.

На четвертому етапі визначаються умовні ймовірності помилки для різних інформаційних символів. Оскільки сигнальне сузір'я М-PSK симетричне, у багатьох випадках достатньо розглянути один опорний символ і перейти до інших через поворот фазової площини. Проте за несиметричної або сканувальної імпульсної завади така симетрія може порушуватися, тому необхідно перевіряти всі можливі символи або групи символів.

На п'ятому етапі виконується усереднення отриманих оцінок за статистичними або сценарними параметрами. Якщо моменти появи імпульсної завади невідомі, можна розглядати рівномірний розподіл її затримки в межах символу або пакета. Якщо завада має цілеспрямований характер, доцільно аналізувати граничний, найгірший випадок, коли імпульс максимально збігається з інформативною частиною сигналу.

5. Особливості впливу позиційності сигналу

Позиційність сигналу є одним із головних факторів чутливості до імпульсної нефлуктуаційної завади. За збільшення M кутова відстань між сусідніми сигнальними позиціями зменшується, тому для переходу через межу рішення потрібне менше фазове зміщення. Звідси випливає, що одна й та сама завада може мати різний наслідок для BPSK, QPSK, 8-PSK і 16-PSK. Для малих M основний вплив часто проявляється лише при великих амплітудах завади або при несприятливому фазовому напрямі. Для великих M небезпечним стає навіть часткове перекриття символу завадовим імпульсом.

У роботах, покладених в основу доповіді, підкреслено необхідність оцінювати весь спектр нефлуктуаційних завад і пов'язувати ступінь погіршення якості приймання зі структурою корисного сигналу та структурою завади [1, 2]. Для імпульсної завади це означає, що її не можна розглядати лише як додаткову енергію в каналі. Вона має бути врахована як часово-фазовий вплив на сигнальне сузір'я, який може змінювати як амплітуду, так і фазу прийнятого вектора.

З практичного погляду для систем з високою позиційністю необхідно вводити обмеження на допустимі рівні імпульсних завад, використовувати адаптивні пороги виявлення імпульсних спотворень, передбачати інтерлівінг, кодування з виправленням помилок, фільтрацію імпульсних компонентів і контроль параметрів синхронізації. При цьому оцінка впливу завади має виконуватися не тільки для середнього випадку, а й для граничних сценаріїв.

6. Практичне значення результатів оцінювання

Результати оцінки впливу імпульсної нефлуктуаційної завади можуть використовуватися під час проєктування когерентних демодуляторів, вибору позиційності фазової маніпуляції, визначення енергетичного запасу каналу, оцінювання завадозахищеності телекомунікаційної мережі та розроблення засобів протидії навмисним завадам. Методика має прикладне значення для систем радіозв'язку, мереж передавання даних, спеціальних телекомунікаційних комплексів і каналів, де можливі імпульсні або квазідетерміновані впливи.

Важливою перевагою методичного підходу є можливість поєднання аналітичної моделі та імітаційного моделювання. Аналітичні співвідношення дають змогу визначити основні закономірності та небезпечні області параметрів, а імітаційна модель дозволяє перевірити складні сценарії, включаючи випадкову появу імпульсів, пакетну передачу, дію фільтрів приймача, похибки синхронізації та обмеження реальної апаратної реалізації.

Висновки

Імпульсна нефлуктуаційна завада є небезпечним чинником для сигналів з багатопозиційною імпульсною фазовою маніпуляцією, оскільки її вплив визначається не тільки енергією, а й моментом появи, тривалістю, фазовим напрямом і ступенем перекриття з корисним символом. Для оцінювання такого впливу доцільно застосовувати методику, що включає формування моделі сигналу, моделі завади, кореляційної моделі приймача, визначення умовних ймовірностей помилки та усереднення за можливими сценаріями дії завади.

Головним критерієм оцінювання є ймовірність бітової або символної помилки, а додатковими критеріями можуть виступати запас завадозахищеності, еквівалентне зменшення відношення сигнал/шум і ймовірність пакетної помилки. Зі збільшенням позиційності M чутливість до імпульсної нефлуктуаційної завади зростає, оскільки зменшується кутова відстань між сусідніми сигнальними точками. Отже, для високопозиційних БФМ-сигналів необхідне більш детальне моделювання завадових сценаріїв та використання засобів виявлення й компенсації імпульсних впливів.

Список літератури

1. Туровський О. Л., Мелешко Т. В., Дробик В. О. Методологія оцінки впливу нефлуктуаційних завад на завадостійкість прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Зв'язок. 2022. № 5 (159). С. 29–34. DOI: 10.31673/2412-9070.2022.053439.
2. Швець В., Мелешко Т. Оцінка завадозахищеності когерентного прийому сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією при наявності нефлуктуаційних завад. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2023. № 2. С. 167–178. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-21.
3. Мелешко Т. В. Методика оцінки завадостійкості прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу нефлуктуаційних завад: дисертація кандидата технічних наук. Київ, 2024.
4. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
5. Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

ІННОВАЦІЙНІ ТА ГІБРИДНІ МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНОГО ПОРИСТОГО ШАРУ НА ПОВЕРХНІ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ

Хо́да Рома́н Миха́йлович

Інженер-технолог
ВАТ «Статус»

1. Вступ

Пористий кремній (Por-Si) належить до матеріалів, що активно досліджуються для застосування у мікро- та нанoeлектроніці, сенсориці та фотовольтаїці. Інтерес до нього зумовлений розвиненою питомою поверхнею, можливістю регулювання морфології пористої структури та ефективного показника заломлення. Ці властивості дозволяють використовувати Por-Si як просвітлювальні покриття для кремнієвих сонячних елементів, чутливі шари газових і біосенсорів, а також функціональні елементи оптоелектронних пристроїв [1, 3].

Найпоширенішим способом отримання пористого кремнію залишається анодне електрохімічне травлення у фтористоводневих електролітах. Разом із тим цей метод має низку технологічних особливостей, пов'язаних із необхідністю використання зовнішнього джерела струму, забезпеченням рівномірного розподілу густини струму на підкладках великої площі та формуванням пористих структур на кремнії n-типу, що потребує додаткової генерації неосновних носіїв заряду [1]. У зв'язку з цим останніми роками значну увагу приділяють комбінованим методам формування Por-Si, які поєднують електрохімічні, фотохімічні та хімічні механізми травлення. Використання таких підходів дає змогу розширити діапазон керування морфологією пористого шару та підвищити відтворюваність технологічного процесу.

2. Мета дослідження

Метою роботи є аналіз і порівняння сучасних методів формування наноструктурованого пористого кремнію, зокрема метал-асистованого хімічного травлення (MACE), фотостимульованого та імпульсного анодування, а також оцінка їхнього впливу на морфологічні та оптичні характеристики сформованих структур з огляду на можливість їх використання у сенсорних і фотоелектричних пристроях.

3. Огляд та технологічні особливості гібридних методів

У роботі розглянуто три сучасні підходи до формування пористого кремнію на монокристалічних пластинах p-Si(100) та n-Si(100).

Хімічне травлення за участю металевих каталізаторів (MACE — Metal-Assisted Chemical Etching).

Метод ґрунтується на попередньому осадженні наночастинок благородних металів (Au, Ag або Pt) на поверхню кремнію з подальшим травленням у розчині HF/H₂O₂ [2]. Металеві наночастинок каталізують локальне окиснення кремнію, внаслідок чого процес розчинення відбувається переважно під каталізатором. Це

забезпечує формування вертикально орієнтованих пор і кремнієвих нанониток без застосування зовнішнього джерела струму.

Фотоелектрохімічне та фотостимульоване травлення.

Під час формування пористого кремнію на підкладках n-типу необхідна концентрація дірок створювалася шляхом опромінення поверхні світлодіодними джерелами у видимому та ультрафіолетовому спектральних діапазонах ($\lambda = 365\text{--}405\text{ нм}$) [1]. Зміна інтенсивності освітлення дозволяє впливати на швидкість електрохімічного розчинення кремнію, а також на геометричні параметри пористої структури.

Імпульсне анодування з ультразвуковою асистенцією.

Метод поєднує імпульсний режим подачі струму із впливом ультразвукових коливань частотою 40 кГц [1, 3]. Під час пауз між імпульсами відбувається вирівнювання концентрації реагентів у порах, тоді як ультразвукова обробка сприяє видаленню бульбашок водню та покращує транспорт електроліту в пористій структурі. Це позитивно впливає на рівномірність росту пористого шару.

Результати електронно-мікроскопічних досліджень показали, що застосування методу МАСЕ забезпечує формування впорядкованих масивів пор і кремнієвих нанониток діаметром 15–50 нм та глибиною до 10 мкм. Для досліджених режимів травлення характерна достатньо висока однорідність структури по всій площі зразків [2].

Під час використання імпульсного анодування з ультразвуковою обробкою спостерігалася більш рівномірне формування пористого шару порівняно зі стаціонарним режимом травлення. За близьких значень поруватості (близько 60 %) середня шорсткість поверхні зменшувалася приблизно у 1,8 раза [1]. Отриманий ефект можна пояснити покращенням масоперенесення електроліту та ефективнішим видаленням газових бульбашок із пор.

Спектрофотометричні дослідження показали, що пористі шари, сформовані методом МАСЕ з градієнтною зміною поруватості, характеризуються низьким коефіцієнтом відбиття у спектральному діапазоні 400–1000 нм. Для досліджених структур інтегральне відбиття становило 1,5–2,0 %, що підтверджує доцільність використання такого підходу для створення просвітлювальних покриттів кремнієвих фотоелектричних перетворювачів [2, 3].

Порівняльний аналіз досліджених технологій наведено в таблиці 1.

Табл 1. Порівняльна характеристика методів формування Por-Si

Параметр	Класичне анодування [1, 3]	Метод МАСЕ [2]	Імпульсне + УЗ анодування [1]
Джерело струму	Необхідне	Не потрібно	Імпульсне
Однорідність на великих площах	Середня	Висока	Дуже висока
Аспектне співвідношення пор	Помірне (<50)	Високе (>100)	Високе (>80)
Складність обладнання	Середня	Низька	Середня

4. Висновки

Проведено на основі літературних джерел порівняльний аналіз сучасних методів формування наноструктурованого пористого кремнію. Показано, що вважається що використання метал-асистованого хімічного травлення (МАСЕ) та імпульсного анодування з ультразвуковою обробкою дозволяє отримувати більш однорідні пористі структури з високим аспектним співвідношенням пор порівняно з традиційним електрохімічним анодуванням. Для сформованих градієнтних структур отримано низькі значення коефіцієнта відбиття світла (1,5–2,0 %), що свідчить про доцільність їх використання як просвітлювальних покриттів у кремнієвих фотоелектричних перетворювачах [2]. Результати дослідження також підтверджують перспективність застосування гібридних методів формування Por-Si під час створення чутливих елементів газових сенсорів та інших функціональних напівпровідникових структур.

Список літератури

1. Korotcenkov, G., & Cho, B. K. (2021). *Silicon Porosification: State of the Art and Prospects for Application in Electronic Devices*. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 46(5), 382–438.
2. Huang, Z., Geyer, N., Werner, P., de Boer, J., & Gösele, U. (2011). *Metal-Assisted Chemical Etching of Silicon: A Review*. Advanced Materials, 23(2), 285–308.
3. Bisi, O., Ossicini, S., & Pavesi, L. (2000). *Porous Silicon: A Quantum Sponge Structure for Silicon Based Optoelectronics*. Surface Science Reports, 38(1–3), 1–126.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ СТРІЛЯЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НЕБОЙОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЯК З ВНЕСЕНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ЗМІНАМИ, ТАК І БЕЗ НИХ

Гуцал Віктор,

головний судовий експерт сектору досліджень зброї відділу криміналістичних
видів досліджень Одеського НДЕКЦ МВС

Розглядаються питання щодо класифікації деяких видів стріляючих пристроїв із вогнепальним принципом метання снаряду, а також встановлення належності цих об'єктів до вогнепальної зброї та придатності їх до стрільби (проведення пострілів). Визначені основні підходи до вирішення зазначених питань в процесі дослідження. Порушено питання щодо «призначеності» об'єкта для ураження цілей та чіткої визначеності понятійного апарату щодо цього терміну. Проаналізовано суперечливі погляди на критерії належності зазначених об'єктів до категорії вогнепальної зброї з урахуванням тих чи інших властивостей та вивчено причини виникнення цих протиріч. Запропоновано рекомендації судовим експертам щодо особливостей дослідження вищевказаних стріляючих пристроїв за наявності або відсутності у них конструктивних змін, внесених саморобним способом. Наведено приклади цієї зброї.

Ключові слова: експертиза зброї, балістичне дослідження, сигнальний пристрій, газова зброя, пристрій травматичної дії, газо-шумовий пістолет, дробові пістолети і револьвери.

Під час досудових та судових розслідувань кримінальних проваджень, пов'язаних з незаконним обігом вогнепальної зброї все частіше виникають питання щодо віднесення тих чи інших об'єктів до категорії вогнепальної зброї, способу їх виготовлення та наявності конструктивних змін, внесених саморобним способом. Все частіше ці питання стосуються таких стріляючих пристроїв, що заявлені виробником як: сигнально-стартові, газові, газо-шумові і дробові. Як правило, у всіх випадках розслідувань, пов'язаних з цією зброєю, в обов'язковому порядку призначаються судово-балістичні експертизи за відповідною експертною спеціальністю. Вірна кримінально-правова оцінка вчинених діянь, пов'язаних із зазначеними об'єктами, насамперед залежить від правильної експертної оцінки таких об'єктів. Суперечності щодо їх класифікації та недостатня інформація про таку зброю обумовлюють проблемність та актуальність даної публікації.

Основні терміни, визначення, сфера застосування, загально-технічні і криміналістичні вимоги щодо таких пристроїв наведені у відповідних методиках досліджень [1-3] та державних і галузевих стандартах [9, 10]. У напрацюваннях Ігнат'єва І.В. і Мельника Р.В. [6, 8] розглянуті конструктивні особливості окремих зразків пістолетів і револьверів іноземного виробництва, які заявлені

виробниками як стартові. Попит на подібні стріляючі пристрої серед різних верств населення країни досить високий. Кількість цих виробів, що потрапляє до експертних установ, з кожним роком збільшується. Зростає й досвід дослідження таких об'єктів, однак і по теперішній час не втихають спори щодо правильності експертних висновків по ним. Проблематику протилежності поглядів щодо класифікації зазначених об'єктів слід розглядати у комплексі з такими факторами, як недостатня вивченість причин їх виникнення, так і відставання методологічних положень від реалій часу та повільності внесення у них відповідних змін і створення певних методичних рекомендацій.

Незаконне носіння, зберігання, придбання, виготовлення, ремонт, передача чи збут вогнепальної зброї (крім гладкоствольної мисливської) є кримінальним правопорушенням зі встановленою мірою відповідальності згідно ч.1 ст.263 КК України. До предметів цього складу злочину відноситься і вогнепальна зброя деяких моделей пристроїв, що заявлені виробниками як: сигнально-стартові, газові і дробові.

Під зброєю не смертельної дії розуміють пристрої, що призначені для ураження цілей снарядами (у тому числі речовини (суміші речовин) сльозоточивої та дратівної дії), що одержують направлений рух у стволі (за допомогою сили тиску газів, які утворюються в результаті згоряння метального заряду) та не мають достатньої кінетичної енергії для спричинення тяжких та смертельних ушкоджень людині, що знаходиться на визначеній відстані [9].

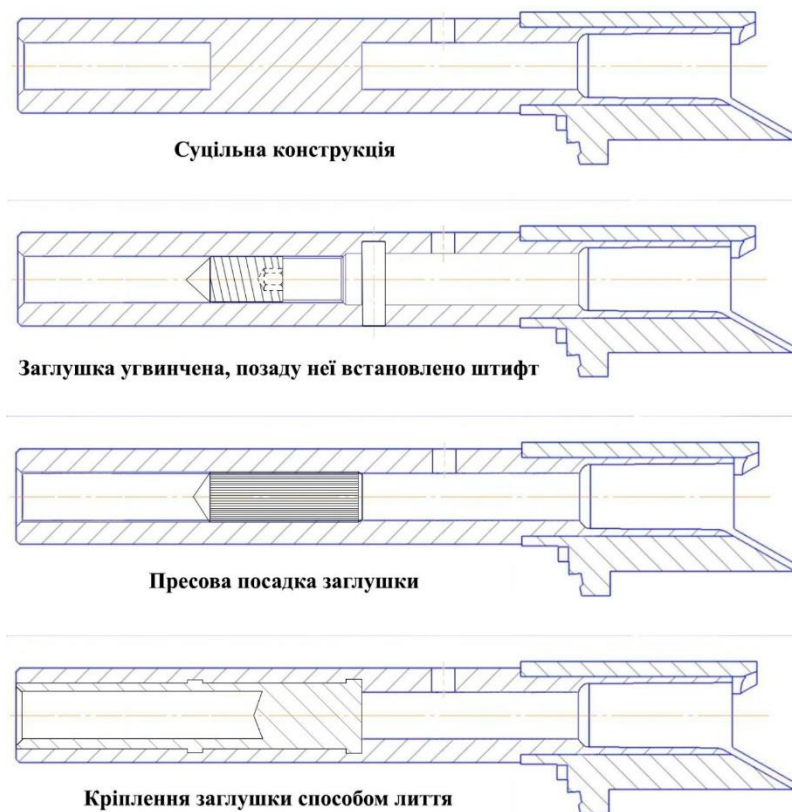
Газова зброя – вид зброї не смертельної дії, яка призначена для тимчасового виводу з ладу (ураження) живої сили шляхом викидання газодимної хмари з суміші речовин сльозоточивої чи дратівної дії за рахунок вибухового згоряння пороху, або речовини, яка його замінює [2].

До травматичної зброї з вогнепальним принципом метання снаряду належать пістолети, револьвери та інші ствольні і безствольні пристрої, призначені до стрільби патронами, спорядженими еластичними снарядами травматичної (несмертельної) дії [3].

Пістолети, револьвери та інші ствольні і безствольні пристрої, що призначені до стрільби патронами, спорядженими еластичними снарядами травматичної (несмертельної) дії, газові пістолети і револьвери, а також інші короткоствольні пристрої, що мають додаткову можливість стрільби патронами, спорядженими еластичними снарядами не смертельної дії, застосовуються для нейтралізації, а не поразки живої сили противника. Вказані пристрої використовуються як правоохоронними органами в якості спецзасобів, так і цивільними особами в якості зброї самозахисту. Використання й застосування цієї зброї має місце і при вчиненні злочинів різного ступеню тяжкості. Також до даної категорії зброї наближені і стартові пістолети та револьвери, що обумовлено широким спектром їх застосування. Вони використовуються як за своїм прямим призначенням – під час проведення спортивних змагань і для самозахисту від нападу людини або тварини, так і при вчиненні правопорушень.

Конструкція стартових пристроїв повинна унеможливлювати використання патронів з будь-яким металевим снарядом. Ствольні стартові пристрої

обов'язково повинні мати невід'ємний захисний елемент (чи їх сукупність), що розміщується безпосередньо у стволі та забезпечує неможливість залишення будь-яким кінетичним снарядом каналу ствола під час пострілу. За умовами відсутності захисних елементів у конструкції ствола, останній повинен бути виготовленим таким способом, при якому канал ствола відсутній (лиття, ковка, штампування, токарна обробка тощо). Кріплення захисних елементів ствола пристроїв, повинно здійснюватися способом, що унеможлиблює їх вилучення з каналу ствола за допомогою універсального інструменту загального вжитку (молоток, плоскогубці, викрутки тощо) без руйнування ствола або внесення видимих незброєним оком незворотних змін у його конструкцію [10]. Нижче наведені приклади конструкцій стволів стартових (шумових) пристроїв, що призначені виключно для подання звукових сигналів (Мал. 1).



Малюнок 1. Приклади будови стволів стартових (шумових) пристроїв, що призначені виключно для подання звукових сигналів.

Розробка автора.

Отже, стартові пристрої, що надходять на дослідження в експертні установи, які за своєю конструкцією відповідають зазначеним вимогам, не можуть бути віднесені до категорії вогнепальної зброї.

Стартові пристрої із внесеними конструктивними змінами, пов'язаними з видаленням захисного елементу (елементів), заміною ствола тощо, що надає можливість проведення пострілів патронами з кінетичними металевими снарядами, у т.ч. способом роздільного заряджання, досліджуються за

Методикою встановлення належності об'єкта до вогнепальної зброї та його придатності до стрільби (проведення пострілів) [1].

Характерними ознаками ствольних стартових пістолетів і револьверів, що призначені виключно до подачі звукових сигналів, як правило є наявність газовідвідного отвору в бічній стінці ствола (рідше дросельний отвір) для виведення порохових газів (Мал. 2), а кріплення насадок для запуску сигнальних ракет не передбачається.



Малюнок 2. Варіанти розташування газовідвідних отворів на стволах стартових пістолетів і револьверів.

Розробка автора.

Стандарт щодо стартових пістолетів і револьверів, не поширюється на пристрої, що для подачі світлових сигналів та вихолощену зброю [10]. Наряду зі стартовими (шумовими) пристроями найбільш розповсюдженими об'єктами дослідження, по яким найчастіше виникають суперечності щодо їх класифікації, є сигнально-стартові (для подачі звукових і світлових сигналів) й газо-шумові (для подачі звукових і світлових сигналів та викидання газової суміші) пістолети і револьвери, а також газова зброя з можливістю стрільби патронами, спорядженими еластичними снарядами не смертельної дії.

Суперечності щодо класифікації цих об'єктів виникають через різні погляди на основоположні критерії – «призначеності» і «придатності», за якими проводиться експертна оцінка. При дослідженні зазначених об'єктів експерт керується відповідними Методиками дослідження, державними і галузевими стандартами та іншими регламентуючими документами.

Так, належність об'єкта до вогнепальної зброї визначається за наявністю в нього сукупності наступних загальних криміналістичних ознак [1]:

- призначення для ураження цілей на відстані снарядами, що одержують направлений рух за рахунок енергії згоряння металевих зарядів, при відсутності прямого господарсько-побутового, виробничого, спеціального призначення;
- придатність для неодноразового ураження цілей.

Належність до газової зброї визначається за наявністю у досліджуваного екземпляру зброї сукупності двох криміналістичних критеріїв [2]:

- призначення для викидання суміші речовини сльозоточивої чи дратівної дії із застосуванням газового патрону;

- придатність для викидання суміші речовини сльозоточивої чи дратівної дії із застосуванням газового патрону, яка забезпечується конструкцією та властивостями зброї.

Вироби, які конструктивно схожі з газовою зброєю, але не відповідають повністю або частково вказаним критеріям, не є газовою зброєю.

Отже, поняття «призначеність» є домінуючим криміналістичним критерієм визначеності та класифікації досліджуваного об'єкта (об'єктів). Однак, понятійний апарат щодо цього терміну є слаборозвиненим та потребує значного розширення з докладним роз'ясненням тих чи інших властивостей досліджуваних об'єктів. Як показала судова практика, через оману, а інколи й відверту спекуляцію навколо цього терміну, нерідко надаються невірні кримінально-правові оцінки вчинених діянь, пов'язаних із зазначеними об'єктами, а поняття «придатності» зброї для неодноразового ураження цілей в таких випадках не враховується взагалі.

За класифікацією стрілецька вогнепальна зброя поділяється на: бойову, мисливську, спортивну, багатоцільову та вогнепальну зброю самозахисту. Згідно п. 2.4.1.1. Методики дослідження [1], до вогнепальної зброї самозахисту відноситься травматична зброя з вогнепальним принципом метання снаряду (пристрої для стрільби патронами, спорядженими еластичними снарядами травматичної (несмертельної) дії), яка відповідає загальним криміналістичним ознакам вогнепальної зброї. Серед виробів вітчизняного виробництва до такої зброї належать пістолети і револьвери моделей: ФОРТ-12Р, ФОРТ-14Р, ПМР, ВІЙ, СКАТ-1Р, Комбриг та інші. Також, існує багато кількості пристроїв для відстрілу патронів, споряджених металевими снарядами "несмертельної дії" іноземного виробництва.

Згідно положення № 4 Постанови Пленуму Верховного Суду України від 26.04.2002 № 3 пневматична зброя, сигнальні, стартові, будівельні, газові пістолети (револьвери), пристрої **вітчизняного виробництва** для відстрілу патронів, споряджених гумовими чи аналогічними за своїми властивостями металевими снарядами несмертельної дії, ракетниці, а також вибухові пакети й інші імітаційно-піротехнічні та освітлювальні засоби, що не містять у собі вибухових речовин і сумішей, не можуть бути віднесені до предмета злочинів, відповідальність за які настає за статтями 262, 263 КК України [11].

Таким чином, пристрої для відстрілу патронів, споряджених металевими снарядами "несмертельної дії", що виготовлені за межами нашої країни, відносяться до предметів злочину, за якими настає відповідальність за вказаними статтями кримінального кодексу.

Відомо, що для проведення пострілів вказаними пристроями можливо використання як шумових і газових патронів відповідного калібру, так і патронів з кінетичними снарядами: 9-мм дробові пістолетні (револьверні) патрони, патрони несмертельної дії, споряджені гумовими, або аналогічними за своїми властивостями металевими снарядами; патрони роздільного спорядження (шумовий, або газовий відповідного калібру та сферична куля, у т.ч. стандартна металева шротина або картечина діаметром не більше за мінімальний діаметр

каналу ствола зброї) чи перероблені унітарні патрони аналогічного комплектування.

У п. 7.3.11. Методики дослідження [1] зазначено: «якщо в досліджуваному виробі промислового виробництва, призначеному для ураження цілей, але не віднесеному виробником до вогнепальної зброї, встановлені конструктивні ознаки, що дозволяють використовувати його як вогнепальну зброю без внесення до конструкції яких-небудь незворотних змін, на даному етапі дослідження робиться висновок про наявність у досліджуваного об'єкта цих ознак і визначається найближчий аналог вогнепальної зброї певного типу й виду». Такими виробами можуть бути ті, що позиціонуються виробниками або реалізаторами (постачальниками) як:

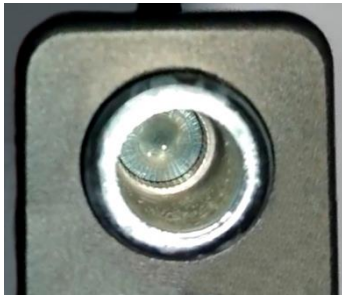
- сигнально-стартові, газові і газо-шумові пристрої, у яких захисні елементи (металеві заглушки, дросельні втулки) угвинчуються у канал ствола збоку дульного зрізу та вилучаються за допомогою універсального інструменту загального вжитку (плоскогубці, викрутка тощо) чи без нього, що конструктивно передбачено виробником. Прикладом таких пристроїв є 9-мм пістолети: RÖHM RG 88 ранніх випусків, ZORAKI мод. 911, 914, 914-S, 906-B, 914-B та ін. (Мал. 3). Наявність газовідвідного отвору у стволах пістолетів не завжди впливає на значне зменшення кінетичної енергії вистріляного металевий снаряду. Згідно п. 2.2 щодо функціонального призначення виробу «при наявності сукупності конструктивних елементів, які дозволяють використання патронів не одного, а декількох видів, за визначальний визнається патрон з найбільшою уражуючою дією. Наприклад, якщо конструкція досліджуваного екземпляру дозволяє використання як газових (шумових), так і шротових (кулевих) патронів, то його основне призначення необхідно визначати виходячи з можливості здійснення пострілів шротовим (кулевим) патроном» [2];



Малюнок 3. Захисні елементи та мортирка пістолета ZORAKI мод. 914-S.
Розробка автора.

- сигнально-стартові пристрої, у яких захисний елемент у каналі ствола закріплений не надійно та вилучається способом випресовування за допомогою універсального інструменту загального вжитку (молоток, викрутка тощо). Прикладом таких пристроїв є окремі виробничі партії деяких модифікацій пістолетів EKOL, RETAY та ін., у каналах стволів яких захисним елементом є

гартований сталевий стрижень, який закріплений пресовою посадкою з незначним натягом (Мал. 4, 5);



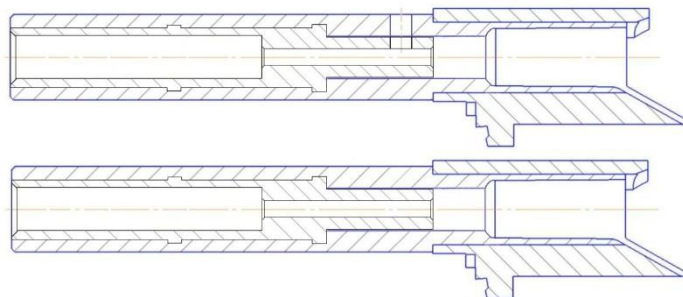
Малюнок 4. Дульний зріз ствола пістолета EKOL Gediz.



Малюнок 5. Захисний елемент, який був вилучений з каналу ствола пістолета без значного зусилля.

Розробка автора.

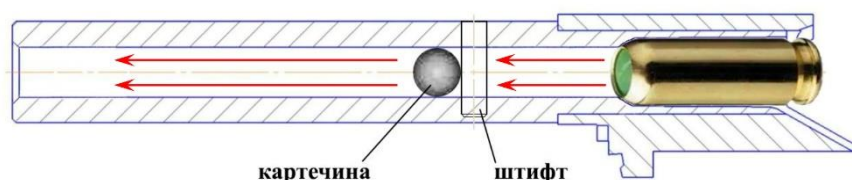
- сигнально-стартові (для подачі шумових і світлових сигналів) і газо-шумові пристрої (для подачі шумових і світлових сигналів та викидання газової суміші пістолетними патронами калібру 9 мм Р.А.К. /Р.А./), що з невід'ємними дросельними втулками з відносно малим внутрішнім діаметром (діафрагмами), що дозволяє проходу шротини (картечини) такого ж розміру, яку можливо використати в якості металевий снаряду при проведенні пострілу (Мал. 6). Наприклад, 8-мм пістолет MOLGORA Starter Automatic Pistol, 9-мм пістолети EKOL P29 Classic, UMAREX Grizzly Light тощо;



Малюнок 6. Деякі варіанти будови стволів пістолетів, що позиціонуються як сигнально-стартові та газо-шумові.

Розробка автора.

- газові і газо-шумові пристрої з невід'ємним захисним елементом у вигляді розсікача (штифта), або короткої перетинки (леєра), розташованих у каналі ствола на значній відстані від дульного зрізу, що дозволяє проводити стрільбу способом роздільного заряджання з використанням металевих картечин відповідного діаметру. Прикладом таких конструкцій стволів є 9-мм пістолети іноземного виробництва: KIMAR mod. 92 Auto, UMAREX Walther P88 Compact, Sport & Voltran mod. 99 та ін. (Мал. 7).

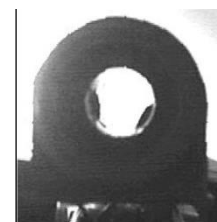


Малюнок 7. Схема будови ствола 9-мм пістолета KIMAR mod. 92 Auto та руху картечини в ньому при стрільбі способом роздільного заряджання.
Розробка автора.

Згідно п. 4.3.5.2.5 щодо криміналістичних вимог до газових пристроїв, відстань від дульного зрізу ствола до початку місцерозташування захисних елементів не повинна перевищувати 1,5 діаметра каналу ствола [2];

- дробові (газодробові) пристрої із захисними елементами в каналі ствола у вигляді 2-х виступів (напливів) метала, розташованих один навпроти одного, наприклад, пістолет італійського виробництва VALTRO mod. AP 92 Army калібру .35 GR (Мал. 8). Конструкція даного пістолета дозволяє здійснювати постріли спортивними пістолетними патронами калібру 7,62 мм [7], що суперечить криміналістичним вимогам Методики дослідження шротових пістолетів та револьверів, де у п. 2.2. зазначено: «досліджуваний екземпляр не може бути визнаним короткоствольною шротовою зброєю, якщо він дозволяє здійснення пострілів кулевими патронами, при цьому снаряду надається питома кінетична енергія понад 0,5 Дж/мм² (мінімальний енергетичний критерій ураження)» [4].

Малюнок 8. Дульний зріз ствола пістолета VALTRO mod. AP 92 Army cal. 35 GR.



Розробка автора.

Зазначені у наведеному переліку виробни промислового виробництва конструктивних змін не мають. Однак, у зв'язку з відсутністю комплексу ознак виключно для подачі шумових і світлових сигналів, викидання газової суміші чи метання множинного шротового снаряду, вони до категорії сигнальних, газових, сигнально-газових, дробових чи газодробових пристроїв не відносяться та мають конструктивні ознаки короткоствольної гладкоствольної вогнепальної зброї.

Як правило, вказані виробни потрапляють на територію України незаконно, без проходження обов'язкової сертифікації та не відповідають технічним регламентам і вимогам, що встановлюються відповідними стандартами.

До переліку стріляючих пристроїв не бойового призначення, що можуть мати конструктивні ознаки вогнепальної зброї без внесення будь-яких конструктивних змін, можна також віднести:

- пускові пристрої типу «Сигнал мисливця», які призначені до пострілів різьбовими 15-мм сигнальними патронами, з утвинченими в них саморобними стволами під малокаліберні набої, або капсуля чи будівельно-монтажні патрони для використання набоїв роздільного спорядження;
- стандартні зразки 26-мм сигнальних пістолетів з вкладними стволами під набої до гладкоствольних мисливських рушниць меншого калібру чи набої до нарізної вогнепальної зброї [5].

У більшості ж випадків до експертних установ потрапляють об'єкти вищевказаних категорій, що з внесеними конструктивними змінами: видалення захисних елементів з каналу ствола, перекриття газовідвідного отвору, заміна ствола чи його частини, розсвердлювання камор барабана, заміна барабана тощо.

Придатність вищевказаних об'єктів для ураження цілей при можливості неодноразового їх використання визначається за результатами проведення експериментальної стрільби. Відбір та підготовка необхідних для проведення експериментальної стрільби патронів і елементів заряджання, підготовка й заряджання досліджуваних об'єктів проводяться, виходячи з конструктивних особливостей цих об'єктів.

Проведений аналіз певної групи стріляючих пристроїв з вогнепальним принципом метання снаряду, спонукає до більш ретельного приділення уваги щодо класифікації цих об'єктів та реагування на гостроту цієї проблематики, яка є питанням не одного року. Наведені приклади вказаної зброї також є свідченням відсутності єдиного понятійного апарату стосовно термінології вагомої кількості об'єктів балістичного дослідження та явищ і процесів, пов'язаних з ними (починаючи з понять, що у підручниках відповідних навчальних закладів та закінчуючи тлумаченнями й трактуваннями деяких положень у нормативно-правових актах, зокрема понять, наведених у Кримінальному кодексі України і коментарі до нього). Матеріали даної статті допоможуть з визначенням фактичного призначення зазначених об'єктів судово-балістичної експертизи та їх класифікації для надання вірної експертної оцінки.

Список літератури

1. Методика встановлення належності об'єкта до вогнепальної зброї та його придатності до стрільби (проведення пострілів) / [Гамов, Д. Ю.]. (2012). Київ: ДНДЕКЦ МВС України, ДЕЗП МЮ України. С. 34.
2. Методика криміналістичного дослідження газових пістолетів та револьверів / [розробники проекту: Бернацький, С. Д., Михальов, В. О., Прохоров-Лукін, Г. В., Рибалко, Я. В., Самусь, В. Р., Чернов, В. О., Ягодін, О. П.]. (2000). Київ: ДНДЕКЦ МВС України, ДІУЦ "Спецтехніка" МВС України, КНДІСЕ МЮ України. С. 10.
3. Методика криміналістичного дослідження травматичної зброї з вогнепальним принципом метання снаряду / [розробники проекту: Гамов, Д. Ю., Коломійцев, О. В., Чорногор, П. А. та інші]. (2012). Київ: КНДІСЕ МЮ України. С. 27.

4. *Методика криміналістичного дослідження шротових пістолетів та револьверів* / [розробники проекту: Прохоров-Лукін, Г. В., Самусь, В. Р., Ягодін, О. П., Собакар І. С., Михальов, В. О., Бернацький, С. Д.]. (2002). Київ: КНДІСЕ МЮ України, НДІ спеціальної техніки МВС України, ХНДІСЕ МЮ України, ДНДЕКЦ МВС України. С. 8.
5. *Гамов Д. Ю., Єсін І. А., Кріулін К. В. 26-мм сигнальні пістолети: Довідник для судових експертів* / ДНДЕКЦ МВС України. – 2006. С. 31.
6. *Ігнат'єв І. В., Лопушанський А. В., Щирба Д. Є. Деякі конструктивні особливості пістолетів та револьверів виробництва Туреччини*. ДНДЕКЦ МВС України. – К., 2009. С. 19.
7. *Інформаційний лист щодо особливостей класифікаційного дослідження газодробового пістолету “VALTRO” MOD. AP 92 ARMY CAL. 35 GR (виробництва Італії)* / (1999). Київ: ДНДЕКЦ МВС України. С. 4.
8. *Мельник Р. В., Маклаков Б. О., Зайцев А. С. Особливості конструкції деяких зразків пістолетів калібру 9 мм (РА) та їх сліди на гільзах : Інформаційно-довідковий посібник*. К.: ДНДЕКЦ МВС України, 2012. С. 37.
9. *СОУ 78-19-001:2007. Пістолети, револьвери та інші короткоствольні пристрої несмертельної дії. Загальні технічні вимоги* [Чинний від 2008–01–01]. Вид. офіц. Київ : ДНДЕКЦ МВС України, 2007. С. 34.
10. *СОУ 78-19-002:2010. Пістолети та револьвери стартові. Загальні технічні вимоги, вимоги безпеки. Методи контролювання* [Чинний від 2010–04–22]. Вид. офіц. Київ : ДНДЕКЦ МВС України, 2010. С. 18.
11. *Про судову практику в справах про викрадення та інше незаконне поводження зі зброєю, бойовими припасами, вибуховими речовинами, вибуховими пристроями чи радіоактивними матеріалами* : Постанова Пленуму Верховного Суду України від 26.04.2002 № 3. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0003700-02#Text> (дата звернення: 16.06.2026).

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПУ ДО ПРАВОСУДДЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ У КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОВАДЖЕННІ: ПРАВОВІ ГАРАНТІЇ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ

Набільська Кіра Геннадіївна

курсант навчальної групи ННІ 1-24-201
Харківський національний університет внутрішніх справ

Пчеліна Оксана Василівна

доктор юридичних наук, професор,
професор кафедри кримінального процесу та організації досудового слідства
Харківський національний університет внутрішніх справ

Проблематика забезпечення доступу до правосуддя осіб з інвалідністю є однією з актуальних у правовій державі, оскільки без реальної можливості звернення до суду, участі в судовому процесі та отримання необхідної правничої допомоги конституційні права і свободи людини залишаються лише формально проголошеними. Особливого значення це питання набуває щодо осіб з порушеннями зору, слуху та мовлення, які через фізичні, інформаційні, комунікаційні й організаційні бар'єри нерідко стикаються з ускладненим доступом до судового захисту. У зв'язку з цим дослідження правових гарантій, практичних проблем та напрямів удосконалення механізму забезпечення доступу таких осіб до правосуддя має важливе теоретичне і прикладне значення.

Статтею 13 Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю закріплено обов'язок держав-учасниць забезпечувати особам з інвалідністю ефективний доступ до правосуддя на рівні з іншими особами, зокрема шляхом створення належних процесуальних умов, а також сприяти відповідній професійній підготовці працівників органів поліції та пенітенціарної системи [1]. Водночас відповідні гарантії кореспондують із положеннями статті 55 Конституції України, якою кожному гарантується право на судовий захист своїх прав і свобод, що має особливе значення для осіб з інвалідністю, які нерідко зазнають порушення своїх прав, зокрема в умовах воєнного стану [2].

З метою створення належних умов для реалізації особами з інвалідністю права на доступ до правосуддя національним законодавством України передбачено надання безоплатної правничої допомоги, спрямованої на забезпечення реалізації, захисту та відновлення прав і свобод людини та громадянина у разі їх порушення [3]. Крім того, законодавством встановлено звільнення від сплати судового збору під час розгляду справ в усіх судових інстанціях для окремих категорій осіб, зокрема осіб з інвалідністю внаслідок Другої світової війни, осіб з інвалідністю I та II груп, законних представників дітей з інвалідністю та недієздатних осіб з інвалідністю, осіб, які мають психічні розлади, а також їх представників у справах щодо захисту прав і законних

інтересів під час надання психіатричної допомоги, і позивачів у справах про відшкодування шкоди, заподіяної каліцтвом або іншим ушкодженням здоров'я [4].

Однак визначених гарантій недостатньо для подолання особами з інвалідністю бар'єрів на шляху доступу до правосуддя, серед іншого кримінального. Суттєвими недоліками системи правосуддя є те, що зазначені особи не володіють достатніми правовими знаннями. Причинами є: 1) бар'єри в доступі до освіти; 2) низький рівень фінансової забезпеченості, через що такі особи не мають доступу до інтернету, не в змозі придбати собі комп'ютер чи сенсорний телефон; 3) низький рівень використання жестової мови тощо; 4) відсутня довіра до судової системи; 5) розташування судових органів у багатьох випадках в орендованих приміщеннях чи дуже старих, які неможливо зробити безбар'єрними; 6) неможливість забезпечення повною мірою потреби осіб з порушеннями слуху, мовлення, зору в доступі до інформації в рамках судових процесів, а також на початковому етапі звернення до суду за захистом прав; 7) працівники системи правосуддя й пенітенціарної системи не обізнані належним чином у питаннях прав і потреб осіб з інвалідністю. Так, наприклад, такі особи не можуть належним чином у суді отримувати необхідну для них інформацію стосовно руху їхньої справи, не можуть вільно ознайомлюватися з матеріалами справи, самостійно представляти свої інтереси в судових засіданнях. Особи з такими порушеннями досить часто внаслідок відсутності акредитованих перекладачів жестової мови стають жертвами зловживань інших учасників процесу, що суттєво впливає на їх довіру об'єктивності розгляду судових справ [5].

Зазначені вище проблеми свідчать про наявність системних бар'єрів, які істотно ускладнюють для осіб з інвалідністю реалізацію права на судовий захист порушених прав, а їх подолання є необхідною передумовою забезпечення рівності учасників кримінального провадження, оскільки формальне закріплення правових гарантій не може вважатися достатнім без створення реальних організаційних, інформаційних, комунікаційних та архітектурних умов для їх практичного здійснення. У цьому контексті Міністерством юстиції України запропоновано окремі напрями вирішення проблеми відсутності в державі законодавчо визначеного механізму, який би забезпечував реальний доступ осіб з інвалідністю до правосуддя на рівні з іншими членами суспільства. Зокрема, щодо архітектурної доступності необхідним є вжиття заходів із забезпечення фізичної доступності будівель та приміщень, у яких розміщуються судові органи, з урахуванням державних будівельних норм і стандартів. До таких заходів належать забезпечення місць для паркування автомобілів осіб з інвалідністю поблизу будівель судів, пониження бордюрів на тротуарах, облаштування будівель пандусами, нанесення маркування перепадів підлоги та сходів, покращення освітлення у приміщеннях і на прилеглій території, належне облаштування санітарних кімнат, розташування канцелярій судів та залів судових засідань на першому поверсі, а також встановлення звукових орієнтирів і кнопок виклику персоналу чи охорони [5].

Окремої уваги потребує забезпечення інформаційної доступності судового процесу, процесуальної документації, офіційних веб-сайтів судових органів та відповідних інформаційних систем, оскільки така доступність є необхідною умовою реалізації особами з інвалідністю права на ефективну участь у судовому провадженні, своєчасне отримання відомостей про рух справи, зміст процесуальних документів і порядок здійснення судового захисту. З огляду на це офіційні веб-сайти судових органів мають відповідати вимогам ДСТУ EN 301 549:2022 «Інформаційні технології. Вимоги щодо доступності продуктів та послуг ІКТ», що визначає критерії доступності інформаційно-комунікаційних технологій для осіб з інвалідністю [6]. Водночас важливим напрямом забезпечення доступності правосуддя є навчання та підвищення кваліфікації працівників судових органів, поліції та пенітенціарної системи з питань прав осіб з інвалідністю, у тому числі відповідно до положень Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю. Реалізацію таких заходів передбачено Національним планом дій з реалізації Конвенції про права осіб з інвалідністю на період до 2025 року, затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 квітня 2021 р. № 285-р., яким, зокрема, визначено обов'язок Міністерства внутрішніх справ України та інших органів державної влади щодо проведення навчання працівників правоохоронних органів, суддів і прокурорів з питань застосування законодавства для захисту прав осіб з інвалідністю з урахуванням практики Європейського суду з прав людини [7]. Водночас практична реалізація зазначених заходів потребує подальшого вдосконалення, зокрема щодо системності, регулярності та якості відповідного навчання.

Важливими умовами забезпечення доступності правосуддя є належна етика професійної комунікації з особами з інвалідністю та підвищення їхньої правової обізнаності. Працівники судових і правоохоронних органів мають спілкуватися безпосередньо з особою, використовувати зрозумілу мову та забезпечувати точне доведення інформації з урахуванням її індивідуальних потреб. Водночас необхідним є системне поширення доступної правової інформації щодо права на судовий захист, порядку його реалізації та механізмів поновлення порушених прав.

Отже, ефективний доступ осіб з інвалідністю до правосуддя потребує поєднання належного правового регулювання з реальним усуненням архітектурних, інформаційних, комунікаційних та організаційних бар'єрів. Це сприятиме забезпеченню рівності, недискримінації та належному судовому захисту відповідно до міжнародних стандартів прав людини.

Список літератури

1. Конвенція ООН про права осіб з інвалідністю від 13 груд. 2006 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text.
2. Конституція України: Закон України від 26 черв. 1996 р. № 254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

3. Про безоплатну правничу допомогу: Закон України від 2 черв. 2011 р. № 3460-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3460-17#Text>.
4. Про судовий збір: Закон України від 8 лип. 2011 р. № 3674-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3674-17#Text>
5. Національна доповідь «Доступ осіб з інвалідністю до безоплатної правової допомоги, правосуддя та політичного життя». К., 2015. URL: https://naiu.org.ua/wpcontent/uploads/2016/02/Dopovid_MJ_invalidy_2015.pdf.
6. ДСТУ EN 301 549:2022. Інформаційні технології. Вимоги щодо доступності продуктів та послуг ІКТ (EN 301 549 V3.2.1 (2021-03), IDT): затв. Наказом ДП «УкрНДНЦ» від 5 трав. 2022 р. № 68. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=97742
7. Про затвердження Національного плану дій з реалізації Конвенції про права осіб з інвалідністю на період до 2025 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 7 квіт. 2021 р. № 285-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnogopla-a285r>.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАВА НА ЗАХИСТ ПІДОЗРЮВАНОВОГО/ОБВИНУВАЧЕНОГО З ПСИХІЧНИМИ РОЗЛАДАМИ У КРИМІНАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ УКРАЇНИ

Набільська Кіра Геннадіївна

курсант навчальної групи ННІ 1-24-201
Харківський національний університет внутрішніх справ

Пчеліна Оксана Василівна

доктор юридичних наук, професор,
професор кафедри кримінального процесу та організації досудового слідства
Харківський національний університет внутрішніх справ

Актуальність дослідження питання забезпечення права на захист підозрюваного та обвинуваченого з психічними розладами зумовлена особливою вразливістю цієї категорії учасників кримінального провадження, а також необхідністю поєднання завдань кримінального судочинства із належним дотриманням міжнародних і національних стандартів прав людини. У кримінальному процесі саме здатність особи усвідомлювати зміст процесуальних дій, користуватися наданими правами, брати участь у формуванні позиції захисту й ефективно взаємодіяти із захисником має принципове значення для справедливості провадження. Наявність психічного розладу може істотно обмежувати таку здатність, що об'єктивно потребує посилення процесуальних гарантій, особливого порядку кримінального провадження та підвищеної уваги з боку органів досудового розслідування, прокуратури й суду.

Більше за все, вказана проблематика набуває додаткового значення з огляду на те, що кримінальне провадження щодо осіб із психічними розладами перебуває на перетині кримінальних процесуальних, медичних і правозахисних аспектів. З одного боку, держава зобов'язана забезпечити належне реагування на суспільно небезпечні діяння та захист інтересів потерпілих і суспільства. З іншого боку, застосування кримінальних процесуальних механізмів до особи, яка через психічний стан не завжди здатна повною мірою реалізувати свої права, створює ризик формального, а не реального забезпечення права на захист. Саме тому участь захисника, законного представника, проведення судово-психіатричної експертизи, а також особливий порядок кримінального провадження щодо застосування примусових заходів медичного характеру мають розглядатися не як факультативні процесуальні елементи, а як необхідні гарантії справедливого судового розгляду.

Право на захист, закріплене у підпункті «с» пункту 3 статті 6 Європейської конвенції про захист прав людини і основоположних свобод (далі – Конвенція) [1], належить до фундаментальних гарантій справедливого судового розгляду. У

національній правовій системі зазначене право нормативно визначене статтями 7 і 20 Кримінального процесуального кодексу України (далі – КПК) [2], а також статтею 59 Конституції України [3]. Його зміст охоплює, зокрема, можливість особи самостійно захищати свої права та законні інтереси, а також право на професійну правничу допомогу захисника, у тому числі безоплатну правничу допомогу у випадках, передбачених законом.

Особливого значення право на захист набуває у кримінальних провадженнях, у межах яких вирішується питання про застосування примусових заходів медичного характеру (далі – ПЗМХ). Відповідно до статті 507 КПК України у таких провадженнях участь захисника є обов’язковою з моменту встановлення факту психічного розладу особи або виникнення сумнівів щодо її осудності. Зазначене положення кореспондується з пунктом 3 частини 2 статті 52 КПК України, яким передбачено обов’язкову участь захисника у кримінальному провадженні щодо осіб, які внаслідок психічного розладу не здатні повною мірою реалізувати свої процесуальні права. Встановлення відповідних обставин забезпечується, зокрема, шляхом обов’язкового проведення судово-психіатричної експертизи, що передбачено пунктом 3 частини 2 статті 242 та статтею 509 КПК України. Додатковою процесуальною гарантією забезпечення прав та законних інтересів особи у зазначеній категорії кримінальних проваджень є залучення її законного представника. Відповідно до статей 44 та 506 КПК України участь законного представника спрямована на посилення захисту особи, яка внаслідок психічного розладу може бути обмежена у здатності самостійно реалізовувати свої процесуальні права та належним чином відстоювати власну правову позицію [2].

Глава 39 КПК України визначає особливий порядок кримінального провадження щодо застосування ПЗМХ. Відповідно до статті 503 КПК України він застосовується до осіб, які вчинили суспільно небезпечне діяння у стані неосудності, а також до осіб, які після вчинення кримінального правопорушення захворіли на психічний розлад до постановлення вироку. Стаття 504 КПК України передбачає, що за наявності відповідних підстав слідчий чи прокурор змінює порядок досудового розслідування та продовжує його за правилами глави 39 КПК України, що забезпечує своєчасне застосування спеціальних процесуальних гарантій [2].

Водночас стаття 505 КПК України визначає особливості предмета доказування у кримінальному провадженні щодо застосування ПЗМХ. Зокрема, крім обставин вчинення суспільно небезпечного діяння або кримінального правопорушення, підлягають встановленню дані про психічний стан особи, ступінь і характер розладу психічної діяльності чи психічної хвороби, її поведінку до та після вчинення діяння, небезпечність для себе чи інших осіб, можливість заподіяння істотної шкоди, розмір завданої шкоди, а також обставини щодо майна, яке може підлягати спеціальній конфіскації [2].

Процесуальний статус особи, щодо якої передбачається застосування ПЗМХ або вирішувалося питання про їх застосування, визначається статтею 506 КПК України. Зазначена норма гарантує такій особі можливість користуватися

правами підозрюваного та обвинуваченого в обсязі, що визначається характером розладу психічної діяльності чи психічної хвороби відповідно до висновку судово-психіатричної експертизи, а також передбачає обов'язкову участь її законного представника. Водночас специфіка психічного стану особи зумовлює особливий підхід до застосування заходів забезпечення кримінального провадження. Так, відповідно до статті 508 КПК України до особи, щодо якої здійснюється кримінальне провадження про застосування ПЗМХ, можуть бути застосовані спеціальні запобіжні заходи у вигляді передання на піклування опікунам, близьким родичам чи членам сім'ї з обов'язковим лікарським наглядом або поміщення до закладу з надання психіатричної допомоги в умовах, що виключають її небезпечну поведінку [2].

Особливий процесуальний порядок зберігає своє значення і на завершальних стадіях кримінального провадження щодо застосування ПЗМХ. Відповідно до статті 511 КПК України досудове розслідування у такій категорії кримінальних проваджень може завершуватися складенням прокурором або слідчим за погодженням із прокурором клопотання про застосування примусових заходів медичного характеру або клопотання про закриття кримінального провадження. Судовий розгляд зазначеного клопотання здійснюється за правилами статті 512 КПК України у відкритому судовому засіданні, а у випадках, передбачених законом, – у закритому судовому засіданні, за обов'язкової участі прокурора, захисника та законного представника. Участь особи, щодо якої вирішується питання про застосування ПЗМХ, забезпечується з урахуванням характеру її психічного стану та наявності медичних протипоказань. За результатами судового розгляду суд відповідно до статті 513 КПК України постановляє ухвалу про застосування примусових заходів медичного характеру або про відмову в їх застосуванні та закриття кримінального провадження [2].

Подальший судовий контроль за застосуванням ПЗМХ також має важливе гарантійне значення. Стаття 514 КПК України передбачає можливість продовження, зміни або припинення застосування таких заходів у порядку, визначеному законом, з урахуванням висновку комісії лікарів-психіатрів. Водночас право на судовий захист забезпечується положеннями статті 516 КПК України, які передбачають можливість оскарження ухвали суду, постановленої за результатами розгляду питання про застосування ПЗМХ, в апеляційному порядку. Наявність таких процесуальних механізмів спрямована на перевірку законності, обґрунтованості та пропорційності застосованого заходу, а також на недопущення необґрунтованого обмеження прав і свобод особи [2].

Отже, забезпечення права на захист підозрюваного та обвинуваченого з психічними розладами є необхідною умовою справедливого кримінального провадження та належної реалізації гарантій, передбачених Конвенцією, Конституцією України й КПК України. Спеціальний порядок кримінального провадження щодо застосування ПЗМХ, обов'язкова участь захисника і законного представника, проведення судово-психіатричної експертизи, особливості предмета доказування, застосування спеціальних запобіжних заходів, а також судовий контроль і можливість апеляційного оскарження

утворюють комплекс процесуальних гарантій, спрямованих на реальний, а не формальний захист прав та законних інтересів таких осіб. Ефективність зазначених гарантій залежить від їх своєчасного й послідовного застосування на всіх стадіях кримінального провадження.

Список літератури

1. Європейська конвенція про захист прав людини та основоположних свобод від 04.11.1950. URL.: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_004#Text.
2. Кримінальний процесуальний кодекс України: Закон України від 13.04.2012 №4651-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465117#Text>.
3. Конституція України: Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

КРИМІНОЛОГІЧНЕ ПРОФІЛЮВАННЯ СЕРІЙНИХ ВБИВЦЬ: ІНТЕГРАЦІЯ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ

Нестерова Ірина Анатоліївна,

кандидат юридичних наук, доцент,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

У контексті сучасних суспільних перетворень та стрімкого розвитку кримінологічної науки особливої актуальності набуває дослідження особистості правопорушника як одного з ключових елементів механізму формування та реалізації злочинної поведінки. Серед різних категорій правопорушників найбільш складними для наукового аналізу залишаються особи, які вчиняють серійні вбивства. Хоча частка таких кримінальних правопорушень у структурі насильницької злочинності є відносно незначною, вони характеризуються винятково високим ступенем суспільної небезпеки. Це зумовлено особливою жорстокістю діянь, значним суспільним резонансом, труднощами їх своєчасного виявлення та розкриття, а також необхідністю залучення значних людських, технічних і процесуальних ресурсів під час проведення досудового розслідування.

Наукові напрацювання вітчизняних і зарубіжних дослідників сприяли формуванню нового напрямку психологічного забезпечення діяльності правоохоронних та інших правозастосовних органів. Його основу становить комплекс психологічних методів і методик, спрямованих на оцінювання та прогнозування поведінки особи шляхом аналізу найбільш інформативних індивідуальних ознак, особливостей зовнішності, а також вербальних і невербальних проявів. Такий підхід отримав назву профілювання (профайлінг) і сьогодні розглядається як один із сучасних інструментів запобігання та протидії злочинності.

У кримінології профайлінг – це інтегральна методика запобігання злочинам через виокремлення характерних рис осіб, які вчинили злочин або готуються його вчинити, на основі психологічних, кримінологічних, криміналістичних і соціологічних знань [1, с. 154]. Сучасні кримінологи та працівники правоохоронних органів використовують кримінальне профілювання як один із слідчих методів, який використовує поведінку та психологічний аналіз, щоб генерувати прогнози щодо особливостей найбільш ймовірних підозрюваних у злочині [2, с. 365]. Кримінологічне профілювання передбачає опрацювання матеріалів кримінального провадження та інтерпретування доказів. Результатом роботи профайлера є складання кримінального профілю – юридично значущого документу, у якому описано особистість і поведінку злочинця та жертви в контексті вчиненого злочину або серії злочинів. Зрозуміти, чому злочинець вбиває, – означає знайти шлях до розкриття злочину [3, с.184].

Особливого значення кримінологічне профілювання набуває під час розслідування серійних убивств, оскільки дозволяє виявити закономірності злочинної поведінки, визначити характерні риси особи правопорушника та

прогнозувати його подальші дії. У кримінологічному аспекті серійний убивця розглядається не як окремий вид суб'єкта кримінального правопорушення, а як особа, яка вчиняє два або більше умисних убивств, між якими існують часові проміжки та спільні поведінкові закономірності. Саме аналіз способу вчинення злочину (*modus operandi*), індивідуальних поведінкових особливостей (*signature behavior*), способу вибору жертви, встановлення контакту з нею та приховування слідів злочину становить основу побудови кримінологічного профілю невстановленого правопорушника [4, с. 31–42; 5, с. 81–95].

Але розвиток сучасних підходів до кримінального аналізу, цифрової криміналістики, географічного профілювання, методів опрацювання великих обсягів даних і систем штучного інтелекту суттєво змінив традиційні підходи до кримінологічного профілювання. Якщо раніше, наприкінці ХХ століття, створення профілю злочинця ґрунтувалося переважно на психологічному аналізі місця вчинення кримінального правопорушення та особливостей його вчинення, то нині такий профіль формується на основі комплексної оцінки поведінкових, соціально-демографічних, кримінально-правових, просторових і цифрових характеристик особи правопорушника. Поєднання досягнень кримінології, криміналістики, судової психології та сучасних інформаційних технологій створює нові можливості для більш точного встановлення закономірностей злочинної поведінки та підвищення результативності розслідування серійних кримінальних правопорушень.

Одним із центральних завдань кримінологічного профілювання є встановлення закономірностей формування особистості серійного вбивці. На відміну від кримінально-правової характеристики, що відображає юридично значущі ознаки кримінального правопорушення, кримінологічний портрет охоплює соціально-демографічні, психологічні, поведінкові, віктимологічні та кримінологічні характеристики особи. Комплексний аналіз цих елементів дозволяє прогнозувати подальшу злочинну поведінку, визначати ймовірні групи ризику та розробляти заходи запобігання серійній злочинності [5, с. 3–21; 8, с. 30–51].

У сучасній кримінології профілювання розглядається як процес побудови ймовірної моделі особистості невстановленого правопорушника на основі аналізу його поведінки під час підготовки, вчинення та приховування злочину. При цьому досліджуються не лише характеристики самого злочинця, а й взаємозв'язок між способом учинення злочину (*modus operandi*), індивідуальними елементами поведінки (*signature behavior*), особливостями потерпілого та просторовими характеристиками місця події [4, с. 41–67; 5, с. 17–42].

Водночас кримінологічне профілювання осіб, які вчиняють серійні вбивства, має низку характерних особливостей. На основі аналізу різних наукових підходів слід виділити такі ознаки серійних убивств: повторюваність злочинів, наявність «періоду охолодження» (тобто повернення злочинця до «звичайного» життя між епізодами вбивств), відсутність раціонального мотиву, типова методика скоєння злочину, психологічна трансформація після вчинення злочину (тобто зняття

певної психологічної напруги та отримання задоволення під час убивства, що стає подразником для вчинення наступного злочину) [6, с.76].

Поняття «серійний убивця» не належить до кримінально-правової класифікації суб'єктів кримінального правопорушення, а використовується як кримінологічна категорія для позначення особи, яка здійснила два або більше умисних убивств, пов'язаних між собою спільними закономірностями злочинної поведінки та розділених певним часовим проміжком. Визначальне значення для побудови кримінологічного профілю невстановленого правопорушника мають характерні повторювані елементи його діяльності, зокрема сталість моделі поведінки, особливості вибору жертви, способу встановлення контакту з нею, методів підкорення потерпілого, а також характер дій, спрямованих на приховування слідів кримінального правопорушення.

Фундамент сучасного поведінкового аналізу був закладений у результаті досліджень Behavioral Science Unit ФБР. На підставі інтерв'ю із засудженими серійними вбивцями Дж. Дуглас, Р. Ресслер, Е. Берджесс та їхні колеги дійшли висновку, що повторюваність окремих поведінкових елементів дозволяє робити обґрунтовані припущення щодо психологічних і соціальних характеристик невстановленого злочинця. Ці напрацювання стали основою сучасного кримінального профілювання, яке використовується як допоміжний аналітичний інструмент під час розслідування насильницьких злочинів [7, с. 351- 389; 9, с. 18 - 25].

Тривалий час у науковій літературі домінувала класифікація серійних убивць на організований і дезорганізований типи, запропонована фахівцями ФБР. Організований правопорушник, як правило, ретельно планує злочин, заздалегідь обирає жертву, контролює розвиток подій та вживає заходів для приховування слідів. Натомість дезорганізований тип характеризується імпульсивністю, відсутністю чіткого планування та залишенням значної кількості доказової інформації на місці події [9, с. 18 - 25; 7, с. 351 - 389].

Разом із тим сучасні емпіричні дослідження засвідчили обмеженість такої дихотомічної моделі. Аналіз значної кількості кримінальних проваджень показав, що більшість серійних убивць поєднують ознаки організованої та дезорганізованої поведінки залежно від конкретної ситуації, досвіду злочинної діяльності, особливостей жертви та інших чинників. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають багатофакторні моделі кримінологічного профілювання, які ґрунтуються на комплексному аналізі поведінкових, психологічних та кримінологічних характеристик правопорушника [8, с. 30 - 51].

Отже, інтеграція теоретичних положень кримінології із сучасними практичними технологіями кримінального аналізу є необхідною умовою розвитку кримінологічної науки та підвищення ефективності протидії серійній насильницькій злочинності в умовах глобальної цифровізації. Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що кримінологічне профілювання серійних убивць належить до найбільш динамічних і перспективних напрямів сучасних кримінологічних досліджень. Його сутність полягає у всебічному вивченні особистості злочинця на основі комплексного використання досягнень

кримінології, криміналістики, психології, віктимології та сучасних методів інформаційно-аналітичної обробки даних. На відміну від традиційних підходів до характеристики особи правопорушника, сучасна модель профілювання орієнтована не лише на визначення індивідуально-психологічних і соціальних рис злочинця, а й на моделювання його ймовірної поведінки, прогнозування подальшої злочинної активності та розроблення ефективних заходів її попередження.

В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливої актуальності набуває застосування інноваційних інструментів кримінологічного аналізу. Використання географічного профілювання, цифрової криміналістики, аналітичних платформ, алгоритмів штучного інтелекту та технологій Big Data істотно підвищує можливості виявлення прихованих закономірностей злочинної поведінки, встановлення взаємозв'язків між окремими кримінальними епізодами та прогнозування подальших дій невстановлених серійних правопорушників.

Перспективним напрямом подальшого розвитку кримінологічної науки видається створення комплексної моделі кримінологічного профілювання серійних убивць, яка інтегруватиме класичні кримінологічні концепції, методи поведінкового аналізу, криміналістичні підходи, засоби цифрової криміналістики та сучасні інформаційно-аналітичні технології. Реалізація такої моделі сприятиме більш результативному виявленню й розкриттю серійних насильницьких злочинів, удосконаленню механізмів кримінологічного прогнозування, запобігання злочинності та оптимізації стратегічного планування діяльності правоохоронних органів.

Таким чином, подальший розвиток кримінологічного профілювання неможливий без поєднання фундаментальних теоретичних положень кримінології із сучасними цифровими технологіями кримінального аналізу. Саме інтеграція наукових підходів та інноваційних методів дослідження створює необхідні передумови для підвищення ефективності протидії серійній насильницькій злочинності, удосконалення механізмів її попередження та зміцнення наукового потенціалу кримінології в умовах цифрової трансформації суспільства.

Список літератури

1. Подільчак О.М. Кримінологічний профайлінг - реалізація вчення про особу злочинця. *Право і суспільство*. № 4. Частина 2. 2017. С. 154–157.
2. Kocsis R. Criminal Profiling: International Theory, Research, and Practice. New York, NY: Springer, 2007. p. 365–366.
3. Нестерова І. А., Мацола М.І. Кримінологічне профілювання як один із сучасних напрямів запобігання злочинності. *Порівняльно - аналітичне право*. 2019. № 3. С. 182–185.
4. Douglas J. E., Burgess A. W., Burgess A. G., Ressler R. K. Crime Classification Manual: A Standard System for Investigating and Classifying Violent Crimes. New York: Lexington Books, 1992.
5. Turvey B. E. Criminal Profiling: An Introduction to Behavioral Evidence Analysis. 4th ed. Amsterdam: Academic Press, 2012.

6. Лазаренко А. М., Федорова Ю. Методи кримінологічного профілювання та їх роль у запобіганні серійним убивствам. *Кримінально-виконавча система: Вчора. Сьогодні. Завтра*. № 1 (17), 2025. С.74-88. URL: [https:// sjcriminal.pau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/05/4-1.pdf](https://sjcriminal.pau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/05/4-1.pdf)

7. Douglas J. E., Burgess A. W., Burgess A. G., Ressler R. K. Crime Classification Manual: A Standard System for Investigating and Classifying Violent Crimes. 2nd ed. Jossey-Bass, 2006.

8. Taylor S., Lambeth D., Green G., Bone R., Cahillane M. Cluster Analysis Examination of Serial Killer Profiling Categories: A Bottom-Up Approach. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*. 2012. Vol. 9 (1). P. 30–51. DOI: 10.1002/jip.149.

9. Ressler R. K., Burgess A. W. Crime Scene and Profile Characteristics of Organized and Disorganized Murderers. *FBI Law Enforcement Bulletin*. 1985. Vol. 54(8). P. 18–25. URL: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/Digitization/99114-99117NCJRS.pdf>

MATHEMATICAL METHODS FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF THE TOWER CRANE

Japaridze Georgi

Professor
Georgian Technical University

Metreveli Aleqsandre

Assistant Professor
Georgian Technical University

Kelbakiani Lali

Associate Professor
SEU

One of the main technological devices of a machine-building enterprise are lifting machines, the safe operation of which is crucial. One of the most common types of lifting machines is a tower crane.

Tower cranes work while lifting and moving the weight on the outer perimeter of the crane's base, which is why they must have sufficient margin of stability against the loads caused by weight, inertia and wind.

Stability of such cranes is reached by their own weight and is increased by using a counterweight. The sum of the moments of forces that hold the crane from tipping over, should exceed the moment of forces that try to tip over the crane by a certain margin.

For further research we set the goal of determining the total moment of the crane's overturning resistance force and the moment created by the nominal lifting load towards the overturning side;

Figure 1 shows the calculation scheme of the tower crane.

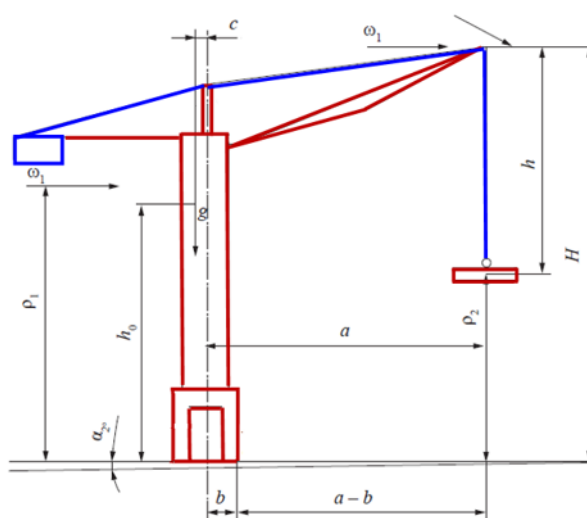


Figure 1. Calculation scheme of the tower crane.

- .1. Crane tower; 2. Lifting weight; 3. Creame boom; 4. Counterweight; 5. Crane head; 6. Crane supporting surface; 7. Lifting rope.

To assume the sustainability of the tower crane it is necessary to determine the total moment of the crane's overturning resistance force, which is calculated by the formula

$$M_I = M_G + \sum M_2 + M_3 \quad (1),$$

where M_G is the moment created by the gravity forces of the crane parts relative to the overturning side, kg.m;

$\sum M_2$ - the total moment caused by the inertial force and load exerted while brating the crane and rotating the crane by centripetal force and load, kg.m;

M_3 - the moment created by the wind load on the crane in its working position and the load performing in parallel with the surface on which the crane is standing, kgf;

$$M_G = G[(b + c)\cos \alpha - h_0 \sin \alpha] \quad (2),$$

where G is the crane weight, kg;

b - the distance from the crane's rotation axis to the overturning point, m;

c - the distance from the crane's rotation axis to its center of gravity, m;

$\alpha = 2^\circ$ - the angle of inclination of the crane runway;

h_0 - the distance from the crane's center of gravity to the surface passing through the point of the supporting contour.

$$\sum M_2 = M_{2-1} + M_{2-2} + M_{2-3}. \quad (3),$$

where M_{2-1} is the moment caused by the inertial force of the load exerted while braking the crane, kg.m;

M_{2-2} - the moment caused by the centripetal force while rotating the crane with load, kg.m.

$$M_{2-1} = F_{2-1}(a - b) \quad (4),$$

where F_{2-1} is the inertia force while braking with the permitted load, kg;

a - the distance from the load gravity center to the crane's rotation axis, m;

b - the distance from the crane's rotation axis to the overturning point, m,

$$F_{2-1} = QV_1(gt_1) \quad (5),$$

where Q is the load weight, kg;

V_1 - the speed of moving the load m/sc;

g - acceleration of freefall, m/sc²;

t_1 - braking time of the load, sc.

$$M_{2-2} = \frac{GV_2h_1}{gt_2} + \frac{QV_2H}{gt_2} \quad (6),$$

where V_2 is the moving speed, m/sc;

t_2 - braking time of the crane, sc;

h - the distance from the boom head to the load center of gravity, m;

H - the distance from the boom head to the surface passing through the point of the supporting contour.

$$M_{2-3} = F_l H \quad (7),$$

where F_l is the horizontally directed centripetal force, kg.

$$F_l = Q \omega^2 r \quad (8),$$

where ω is the angular speed of the crane

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

where n is the rotation speed of the crane, turn/min;

$r = a + H \tan \beta$ – the deflection of the load considering its vertical deviation, m.

As a result of insertions and simplifications we get:

$$F_l = \frac{Q \pi^2 n^2 a}{900 - n^2 H}$$

$$M_{2-3} = \frac{Q \pi^2 n^2 a H}{900 - n^2 H} \quad (9)$$

$$M_3 = P_1 \rho_1 + P_2 \rho_2 \quad (10),$$

where P_1 is the wind pressure force acting on the surface area of the crane, kgf;

P_2 – is the wind pressure force acting on the surface area of the load, kgf;

ρ_1 - the distance from the surface passing through the point of the supporting contour to the point of the application of wind load on the crane, m;

ρ_2 - the distance from the surface passing through the point of the supporting contour to the point of the application of wind load on the crane load, m.

$$P_1 = \omega_1 F_1$$

$$P_2 = \omega_2 F_2$$

where ω_1 is the wind pressure acting on the crane tower;

ω_2 - the wind pressure acting on the load;

F_1 - the wind action area on the crane tower, m²;

F_2 - the wind action area on the lifting load, m².

The total moment of the tower crane's overturning resistance force can be calculated by summing up the formulas (2), (3) and (10).

CONCLUSION

The paper deals with the sustainability of high-risk lifting machines, tower cranes, in particular. A calculation scheme has been developed and mathematical methods have been used in order to determine the formulas for calculating the total moment of the tower crane overturning resistance force. This will allow us to assess the sustainability of the tower cranes during their exploitation.

References

- [1]. B. d'ANDREA-NOVEL, F. BOUSTANY, B.P. RAO, Control of an Overhead Crane : Feedback Stabilization of an Hybrid PDE-ODE System, submitted to the European Control Conference, July 1991, Grenoble, France.
- [2] B. d'ANDREA-NOVEL, J. LEVINE, Modelling and Nonlinear Control of a Overhead Crane, MTNS Amsterdam, 1989.
- [3] G. Japaridze, A. Metreveli; Research of the Bearing Metal Constructions of High-risk Machines. Transport and Mechanical Engineering, GTU, N3 (55) 2022, pages 10-19 (In Geo).

ДУАЛЬНА ОСВІТА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОДОЛАННЯ КАДРОВОГО ДЕФІЦИТУ В МАШИНОБУДІВНІЙ ТА АВТОТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗЯХ

Василишин В.Я.

канд.техн.наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Україна, Івано-Франківськ

Василишин Ю.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Україна, Івано-Франківськ

АНОТАЦІЯ

У роботі здійснено всебічний системний аналіз проблем кадрового забезпечення та трансформації системи професійно-технічної, фахової передвищої та вищої освіти в машинобудівному та автотранспортному секторах України. Обґрунтовано, що в умовах післявоєнної відбудови, релокації підприємств, міграційних викликів та євроінтеграції традиційні підходи до підготовки фахівців виявилися невідповідними динаміці технологічних змін. Розглянуто модель дуальної освіти як стратегічний інструмент ліквідації структурного кваліфікаційного розриву (Skill Gap). Проаналізовано європейські практики (Німеччина, Австрія, Швейцарія), виявлено критичні бар'єри (інституційні, економічні, методичні, психологічні) на шляху адаптації цих практик в Україні. Запропоновано деталізовану організаційно-економічну модель взаємодії «ЗВО / коледж — Підприємство — Студент», нормативно-процесуальний алгоритм впровадження та методику оцінювання ефективності дуального навчання.

Ключові слова: *дуальна освіта, машинобудування, автомобільний транспорт, кадровий дефіцит, ринок праці, стейкхолдери, практико-орієнтоване навчання, людський капітал, наставництво, технологічна трансформація.*

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Машинобудівний комплекс та галузь автомобільного транспорту утворюють базовий каркас національної економіки України. Вони забезпечують логістичну зв'язність регіонів, експортний потенціал, мобільність населення та критичну спроможність оборонно-промислового комплексу (ОПК). Проте сучасний стан обох секторів характеризується глибокою кадровою кризою, яка загрожує зупинити процеси відбудови інфраструктури та промислового зростання.

Складність ситуації зумовлена синергетичним ефектом кількох деструктивних чинників: **Демографічний тиск та зовнішня міграція:** масовий виїзд працездатного населення та молоді за кордон, відтік кваліфікованих

інженерних та робітничих кадрів. **Мобілізаційні процеси та дефіцит чоловічої сили:** суттєве зменшення кількості фахівців на традиційно «чоловічих» посадах (верстатники, зварювальники, автомеханіки, водії вантажного транспорту), що вимагає залучення нових категорій здобувачів освіти та їхньої швидкої перепідготовки. **Кваліфікаційний розрив (Skill Gap):** стрімкий розвиток технологій (впровадження верстатів з ЧПК, робототехніки, CAD/CAM/CAE систем, систем діагностики електромобілів та автономного транспорту) випередив освітні програми ЗВО та коледжів на 5–10 років.

Матеріально-технічна деградація освітніх лабораторій: більшість навчальних закладів не мають фінансової спроможності закуповувати сучасне промислове обладнання, вартість якого вимірюється сотнями тисяч євро.

У цих умовах академічна система підготовки, що базується на пріоритеті теоретичних лекційних курсів і короткострокових (2–3 тижні) ознайомчих практиках, повністю втратила ефективність. Випускник потрапляє на виробництво без практичних навичок і потребує від 6 до 18 місяців допідготовки за рахунок підприємства. Інструментом розв'язання цієї проблеми є **дуальна освіта**, де здобуття знань розділене між закладом освіти (30–40% часу) та реальним робочим місцем на підприємстві (60–70% часу).[1]

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ

Дослідженням дуальної системи присвячені праці багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців (Д. Ейлер, В. Ковтунець, Л. Гриневич, В. Радкевич). Європейська практика доводить, що країни з розвиненою дуальною системою мають найнижчі показники молодіжного безробіття та найвищу конкурентоспроможність промисловості.[1,2]

Компаративний аналіз світових моделей дуальної освіти:

Країна	Ключові риси моделі	Джерела фінансування	Роль бізнесу
Німеччина (Duale Ausbildung)	Жорстка нормативна регламентація, участь торгово-промислових палат (ІНК), обов'язкова сертифікація наставників.	75% — бізнес (виплата зарплат/стипендій, обладнання), 25% — держава (школи).	Визначає стандарти, формує замовлення, екзаменує разом із палатами.
Австрія	Тісний зв'язок із робітничими палатами, висока частка середнього та малого бізнесу.	Державно-приватне партнерство, податкові пільги для працедавців.	Надає робочі місця, бере участь у розробці кваліфікацій.

Країна	Ключові риси моделі	Джерела фінансування	Роль бізнесу
Швейцарія	Гнучкість, можливість переходу між академічним та професійним треками («безпидпиковий» розвиток).	Переважно кошти підприємств та галузевих асоціацій.	Повна інтеграція бізнесу в розробку навчальних стандартів.
Україна (поточний стан)	Пілотні проекти, змішана форма, відсутність системних пільг для бізнесу.	Переважно державний/регіональний бюджет + власні кошти підприємств.	Точкова зацікавленість окремих великих підприємств/мереж СТО.

СПЕЦИФІКА ДУАЛЬНОГО НАВЧАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА АВТОТРАНСПОРТІ

Машинобудування та автотранспорт належать до категорії високоризикових, технологічно складних і капіталоемних галузей. Це накладає специфічні вимоги на організацію дуального навчання.

Специфіка машинобудівного сектору

Сучасне машинобудування базується на концепції **Індустрії 4.0**. Студент-дуаліст повинен опанувати: **Цифрові двійники (Digital Twins)**: симуляція функціонування деталей до їх виготовлення. **Обробку на верстатах з ЧПК (CNC)**: володіння мовами програмування G-code, роботу з сучасним різальним інструментом. **Аддитивні технології**: 3D-друк металевих та полімерних автокомпонентів. **Роботизовані комплекси**: наналагодження та програмування промислових маніпуляторів (KUKA, ABB, Fanuc).

Освітній заклад не здатний моделювати це середовище у себе в аудиторіях. Лише безпосередня робота на машинобудівному заводі дозволяє студенту стати повноцінним оператором або інженером-технологом до моменту отримання диплома.

Специфіка автотранспортної галузі

Автомобільний транспорт переживає глобальну трансформацію, пов'язану з декарбонізацією та цифровізацією: **Електрифікація та гібридизація**: робота з високовольтними системами, батареями, інверторами. **Інтелектуальні системи (ADAS)**: калібрування радарів, лідарів, камер утримання в смузі. **Телематика та Smart-логістика**: супутникові системи моніторингу транспорту (FMS), електронний документообіг (e-TTN).

Обслуговування сучасного вантажного чи легкового автопарку вимагає від механіка знання електронних систем на рівні IT-фахівця. СТО та АТП

зацікавлені в тому, щоб студент працював із реальними сканерами (Bosch KTS, Texa) та стендами розвалу-сходження безпосередньо на робочому місці.

БАР'ЄРИ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

Деталізація ключових факторів стримування:

1. Економічні ризики для бізнесу: Підприємство виплачує студенту заробітну плату, виділяє ментора (який відволікається від основної роботи), виділяє витратні матеріали. При цьому існує ризик, що після закінчення навчання випускник перейде до конкурента або виїде за кордон.

2. Інституційно-правовий вакуум: Недостатність пільг за надання робочих місць студентам (наприклад, звільнення від частини ЄСВ або податку на прибуток у розмірі витрат на навчання).

3. Брак кваліфікованого інституту наставництва: Досвідчений інженер або автомеханік не завжди володіє педагогічними навичками для ефективної передачі знань і контролю безпеки праці.

4. Конфлікт навчальних планів: Жорсткість стандартів МОН України часто не дозволяє гнучко переносити теоретичні блоки на вечірній час або періоди вихідних днів, що створює накладки з графіком зміну виробництва[2].

ДОРОЖНЯ КАРТА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНА МОДЕЛЬ ВПРОВАДЖЕННЯ

Для забезпечення сталого функціонування дуального навчання пропонується п'ятиетапна дорожня карта взаємодії між освітніми закладами та підприємствами машинобудування/автотранспорту.

Етап 1. Аналіз потреб та аудит підприємства

Заклад освіти та підприємство проводять спільне оцінювання: Аналіз вакансій та кадрової потреби підприємства на 2–4 роки вперед. Технічний аудит робочих місць (чи відповідають вони вимогам безпеки та сучасному рівню технологій). Вибір освітньо-професійної програми (ОПП) для трансформації під дуальну форму.

Етап 2. Розробка адаптивного робочого навчального плану (РНП)

Робочий навчальний план переструктурується за блочно-модульним принципом: **Теоретичний блок (30–40%):** фундаментальні дисципліни (вища математика, опір матеріалів, теорія механізмів і машин, електротехніка) викладаються в ЗВО/коледжі. **Практичний блок (60–70%):** спеціалізовані дисципліни (технологія машинобудування, діагностика авто, ремонт систем) вивчаються безпосередньо на підприємстві у формі виконання реальних робіт.

Графік чергування навчання та роботи (можливі варіанти): **День через день:** 2 дні в ЗВО, 3 дні на підприємстві (оптимально для автосервісів). **Тиждень через тиждень:** 1 тиждень теорія, 1 тиждень практика (оптимально для машинобудівних заводів). **Семестровий блок:** 2 місяці інтенсивної теорії, 3 місяці роботи на виробництві.

Етап 3. Договірна фіксація та юридичний супровід

Укладається **Тристороння угода** (ЗВО — Підприємство — Студент), яка визначає: Статус студента як офіційного працівника (укладання строкового

трудового договору). Рівень оплати праці (не нижче мінімальної заробітної плати за фактично відпрацьований час). Закріплення персоніфікованого наставника від підприємства та куратора від кафедри/циклової комісії. Зобов'язання студента відпрацювати на підприємстві визначений термін (наприклад, 1–2 роки) після завершення навчання (за умови забезпечення належних умов праці).

Етап 4. Навчальний процес та контрольні точки

Наставник розробляє щоденний план робіт студента відповідно до освітніх результатів. Студент веде **Цифровий щоденник практики**, де фіксує виконані технологічні операції. Куратор від ЗВО здійснює щотижневий дистанційний або очний моніторинг.

Етап 5. Оцінювання результатів та кваліфікаційна атестація

Оцінювання здійснюється за двокомпонентною системою:

Підсумкова оцінка = 0.4 \t Оцінка ЗВО (Теорія) + 0.6 Оцінка Підприємства (Практичний демонстраційний екзамen)

Демонстраційний екзамen передбачає виконання конкретного виробничого завдання (наприклад, виготовлення деталі на верстаті з ЧПК за кресленням або проведення повної діагностики системи уприскування двигуна) у присутності спільної екзаменаційної комісії[1].

ЕКОНОМІЧНИЙ ТА СОЦІАЛЬНИЙ ЕФЕКТ ВПРОВАДЖЕННЯ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ

Впровадження дуальної системи створює синергетичний ефект для всіх учасників процесу (Win-Win-Win модель).

Економічний розрахунок для підприємства:

Традиційний підхід до найму випускника ЗВО передбачає витрати на його адаптацію:

Витрати_традиційні = Зарплата недосвідченого фахівця (12 міс) + Втрати від браку + Вартість часу наставника

При дуальному навчанні підприємство витрачає кошти під час навчання студента, але отримує готового фахівця, який з першого дня після випуску працює з 100% продуктивністю. Дослідження свідчать, що кожні \$1\$, інвестовані підприємством у дуальне навчання, повертають \$1.25–1.40\$ через підвищення продуктивності праці та відсутність витрат на рекрутинг.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ДЕРЖАВНОМУ ТА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНЯХ

Для переходу від точкових пілотних проєктів до системного функціонування дуальної освіти в машинобудуванні та автотранспорті необхідно реалізувати такі кроки:

1. **Законодавче та податкове стимулювання:** Запровадити податкові знижки для підприємств, які організовують дуальні робочі місця (наприклад, зменшення бази оподаткування податком на прибуток на суму, витрачену на оплату праці студентів-дуалістів). Звільнити підприємства від сплати ЄСВ з виплат студентам-дуалістам або зменшити його ставку до 50%.

2. **Створення Галузових кластерів та Центрів колективного користування:** Об'єднати зусилля малих і середніх підприємств (особливо в

сфері автосервісу) для спільного фінансування матеріальної бази навчальних центрів.

3. Сертифікація та мотивація наставників: Розробити короткострокові курси психолого-педагогічної підготовки для інженерно-технічних працівників підприємств. Запровадити державні та галузеві відзнаки для найкращих наставників молоді.

4. Гнучка акредитація освітніх програм: Спростити процедури акредитації НАЗЯВО для освітніх програм, які реалізуються за дуальною формою, надавши ЗВО більше автономії у зміні навчальних планів під операційні потреби ринку праці[2].

8. ВИСНОВКИ

Дуальна освіта є найефективнішим інструментом подолання кадрового дефіциту в машинобудівній та автотранспортній галузях України в умовах сьогодення та післявоєнної відбудови. Вона дозволяє вирішити ключове суперечність між академічною теорією та виробничою практикою, забезпечуючи підготовку фахівців, які відповідають вимогам сучасного високотехнологічного ринку.

Перехід на дуальну систему вимагає глибинної трансформації взаємовідносин між закладами освіти, бізнесом та державою. Створення сприятливого нормативно-правового та економічного клімату дозволить зберегти та примножити людський капітал України, забезпечивши стійкий розвиток її промисловості та транспортної інфраструктури.

Список літератури

1. Васишин В.Я. Спільна підготовка архітекторів та механіків як умова сталого розвитку міст та інклюзивного простору XII Міжнародна науково-практична конференція “GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION”, 15-17.12.2025, Київ, Україна

2. Школа наставника дуальної форми здобуття освіти у формі тренінг-стажування. 03-31.07.2025 Підвищення кваліфікації обсяг 60 год/2 кредити Сертифікат ГО “Науково-дослідний та консультаційно-практичний центр бізнесу, маркетингу та права”

THE ROLE OF SYNERGISTIC USE OF MINIMALLY INVASIVE TECHNIQUES IN THE STAGING OF LOCALLY ADVANCED AND METASTATIC COLORECTAL CANCER

Danylenko Oleksandr

PhD student, Department of Surgery with a Course in Abdominal Surgery,
Bogomolets NMU

Kolosovych Ihor

Head of the Department of Surgery with a Course in Abdominal Surgery, Doctor of
Medical Sciences, Professor
Bogomolets National Medical University

Introduction and relevance of the problem

Colorectal cancer (CRC) is one of the most common malignancies worldwide. According to estimates by the International Agency for Research on Cancer (IARC), approximately 1.9 million new CRC cases and more than 900,000 deaths occur worldwide each year, ranking it third in incidence and second in cancer-related mortality globally [1].

A major challenge in many healthcare systems is the high rate of advanced-stage disease at presentation. A significant percentage of patients seek specialized medical care for the first time only when the tumor process is locally advanced (stage III) or in the presence of clinically manifested distant metastasis (stage IV). The traditional diagnostic algorithm, based on routine non-invasive imaging methods (CT, MRI, PET-CT), has objective physical and spatial limitations. A major limitation of current imaging modalities is their inability to reliably detect lesions smaller than 10 mm. Computed tomography demonstrates low sensitivity (7–28%) for such lesions, leading to the underdiagnosis of occult peritoneal carcinomatosis. Positron emission tomography (PET-CT) has a high rate of false-negative results in mucinous tumor subtypes due to their low metabolic activity [2].

Conversely, radiological assessment may overestimate thoracic metastatic disease because reactive lymphadenopathy and benign pulmonary granulomas can be misinterpreted as M1 disease. This dictates the necessity of utilizing minimally invasive surgical techniques for the definitive in vivo verification of the extent of the malignant process. Staging laparoscopy, combined with modern imaging methods, improves the accuracy of disease staging, allows for the timely detection of occult peritoneal metastases, and optimizes the choice of treatment strategy [3].

Objective of the study

To improve the diagnostic accuracy of locally advanced and metastatic colorectal cancer by developing a staging algorithm that integrates conventional non-invasive imaging with minimally invasive techniques, including diagnostic laparoscopy, video-

assisted thoracoscopic surgery (VATS), and mediastinoscopy, to enable precise disease staging and individualized treatment planning.

Materials and Methods

This study was based on a combined retrospective and prospective analysis of 140 patients with morphologically confirmed colorectal cancer (CRC) ($n = 140$; mean age, 64.5 ± 10.4 years) who were classified as having clinical stage T3–T4 disease. Histopathological examination identified conventional adenocarcinoma in 75.0% of patients (105/140), whereas the remaining 25.0% (35/140) had prognostically unfavorable histological subtypes, including mucinous adenocarcinoma and signet-ring cell carcinoma.

Patients were stratified into three groups according to the staging strategy employed.

Group I ($n = 45$): the reference group, in which disease staging was performed exclusively using conventional non-invasive imaging modalities, including computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and positron emission tomography-computed tomography (PET-CT). Radiological findings alone determined the presence or absence of metastatic disease.

Group II ($n = 67$) comprised patients with suspected peritoneal carcinomatosis or distant metastatic disease who underwent one targeted minimally invasive staging procedure—diagnostic laparoscopy, video-assisted thoracoscopic surgery (VATS), or mediastinoscopy—following conventional imaging.

Group III ($n = 28$): patients with multiple indeterminate lesions who underwent a multimodal staging approach combining two or more minimally invasive procedures, such as diagnostic laparoscopy together with VATS.

The male-to-female ratio was 1.4:1, which is consistent with the global epidemiological distribution of colorectal cancer (Table 1).

Table 1. Gender structure of CRC patients

Study group	Men (Abs. value)	Men (%)	Women (Abs. value)	Women (%)
Overall cohort (N=140)	81	57.9	59	42.1
Group I (n=45)	26	57.8	19	42.2
Group II (n=67)	39	58.2	28	41.8
Group III (n=28)	16	57.1	12	42.9

Results

Comparison of radiological staging with subsequent histopathological verification showed that conventional imaging substantially underestimated disease burden. Conventional imaging modalities failed to detect 51.4% of liver micrometastases: non-invasive imaging identified 34 cases, whereas the combined use of minimally invasive procedures increased the number of confirmed cases to 70. Similarly, CT and MRI failed to identify 47.0% of cases of occult peritoneal carcinomatosis, detecting only 9

cases compared with 17 morphologically confirmed cases identified following minimally invasive assessment.

The radiological Peritoneal Cancer Index (rPCI) consistently underestimated the true extent of peritoneal disease. During direct intraoperative assessment, the median surgical PCI (sPCI) was 11, which was significantly higher than the preoperative radiological estimate (median rPCI = 4; $p < 0.001$).

Diagnostic laparoscopy. The incorporation of diagnostic laparoscopy, including intraoperative PCI assessment and peritoneal lavage, detected 76.7% of clinically occult cases of peritoneal carcinomatosis. This staging strategy reduced the absolute risk of unnecessary exploratory laparotomy by 40%. Diagnostic laparoscopy demonstrated a sensitivity of 92–98% and a specificity of approximately 99% for the detection of peritoneal metastases. Histological subtype independently predicted peritoneal dissemination, with mucinous adenocarcinoma being associated with a 2.5-fold higher likelihood of detecting peritoneal implants (odds ratio [OR] = 2.472). Identification of extensive occult peritoneal carcinomatosis (PCI > 20) enabled timely referral of patients for systemic palliative chemotherapy, thereby avoiding non-therapeutic laparotomy.

Video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) and mediastinoscopy. Radiological assessment alone resulted in false-positive findings in up to 18.2% of patients, primarily because reactive lymphadenopathy and benign fibrotic pulmonary nodules were misclassified as metastatic disease. For differential diagnosis, VATS demonstrated a sensitivity of 96–99% and a specificity of 99%, while cervical mediastinoscopy achieved a sensitivity of 75% and a specificity of 98% for the assessment of mediastinal lymphadenopathy. Histopathological confirmation of benign mediastinal lesions resulted in downstaging, allowing these patients to remain eligible for radical surgical treatment, including extended D3 lymph node dissection. Immunohistochemical analysis using the CK20(+)/CDX2(+)/CK7(–) marker profile accurately confirmed the colorectal origin of metastatic lesions in all examined cases.

Clinical Effectiveness of the Diagnostic Algorithm

The combined diagnostic algorithm (Group III) achieved an overall diagnostic accuracy of 96.4%, with a specificity of 98.2%. Integrating conventional imaging with minimally invasive staging techniques resulted in disease stage reclassification and changed the initial treatment strategy in 42.1% of patients (odds ratio [OR] = 3.85, $p < 0.01$). Accurate verification of metastatic (M) status enabled individualized treatment planning and was associated with improved overall survival (OS) and prolonged disease-free survival (DFS) (hazard ratio [HR] = 0.64, 95% confidence interval (CI): 0.48–0.85; $p = 0.032$).

Conclusions

Conventional non-invasive imaging modalities demonstrate limited sensitivity for detecting small peritoneal implants, failing to identify up to 47.0% of cases of occult peritoneal carcinomatosis. In addition, they overestimate mediastinal metastatic involvement by misclassifying reactive lymphadenopathy as metastatic disease in up to 18.2% of cases.

Incorporating diagnostic laparoscopy into the staging algorithm for locally advanced colorectal cancer enables detection of 76.7% of clinically occult peritoneal carcinomatosis and reduces the incidence of unnecessary exploratory laparotomy by 40%.

Video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) and mediastinoscopy provide reliable histopathological verification of indeterminate thoracic lesions, preventing false-positive diagnoses of metastatic disease (downstaging) and allowing eligible patients to undergo radical surgical treatment.

A multimodal staging algorithm integrating conventional imaging with minimally invasive techniques changed the initial treatment strategy in 42.1% of patients. Accurate disease staging and individualized treatment planning were associated with improved overall survival (HR = 0.64).

References

1. Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, Jemal A. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74(3):229-263. doi:10.3322/caac.21834.
2. Szadkowska MA, Pałucki J, Cieszanowski A. Diagnosis and treatment of peritoneal carcinomatosis – a comprehensive overview. *Pol J Radiol.* 2023;88:e89-e97. doi:10.5114/pjr.2023.125027.
3. Rijsemus CJV, Kok NFM, Aalbers AGJ, et al. Staging peritoneal metastases in colorectal cancer: The correlation between MRI, surgical and histopathological peritoneal cancer index. *Eur J Surg Oncol.* 2024;50(12):108611. doi:10.1016/j.ejso.2024.108611.

ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ З КЕРОВАНОЮ ПОРУВАТИСТЮ ДЛЯ СЕНСОРИКИ ТА ФОТОВОЛЬТАЇКИ

Притчин Сергій Емільович,

Доктор технічних наук, професор

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Янчук Ігор Валерійович

аспірант

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Ведмідь Дмитро Сергійович

аспірант

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Регада Валерій Олександрович

аспірант

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Непорада Данило Сергійович

аспірант

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Пористий кремній (Por-Si) є наноструктурованим матеріалом, що складається з кремнієвого каркаса та системи взаємопов'язаних пор. Залежно від умов формування розміри кремнієвих нанокристалітів можуть становити кілька нанометрів, що призводить до прояву квантово-розмірних ефектів [1, 3]. Якщо характерний розмір кристалітів стає співрозмірним із борівським радіусом екситона в кремнії, енергетичний спектр матеріалу змінюється: спостерігається збільшення ширини забороненої зони та зміна його оптичних властивостей [3].

Поєднання розвиненої питомої поверхні з нанорозмірною структурою визначає специфіку фізичних процесів у пористому кремнії. З одного боку, матеріал характеризується вираженими оптичними ефектами, а з іншого — високою чутливістю до стану поверхні та процесів адсорбції. Саме тому Por-Si розглядають як перспективний матеріал для створення просвітлювальних покриттів, фоточутливих структур і сенсорних елементів [1, 2]. Дослідження взаємозв'язку між оптичними, електронними та поверхневими процесами є важливим для розроблення багатофункціональних напівпровідникових пристроїв.

Метою роботи є аналіз взаємозв'язку між оптичними, електронними та адсорбційними процесами у наноструктурованому пористому кремнії, а також

оцінка їхнього впливу на характеристики матеріалу при використанні у фотоелектричних перетворювачах і мультисенсорних системах.

Оптичні властивості пористого кремнію визначаються як розмірами кремнієвих нанокристалітів, так і морфологією пористого шару.

Відбиття світла на межі двох середовищ визначається рівнянням Френеля

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

де n_1 та n_2 — показники заломлення суміжних середовищ.

Зменшення характерних розмірів кремнієвого каркаса приводить до прояву квантово-розмірних ефектів, що супроводжується зміною спектра поглинання та фотолюмінесценції [3]. Одночасно структура пористого шару істотно впливає на ефективний показник заломлення матеріалу.

Формування шару з градієнтною поруватістю забезпечує плавну зміну показника заломлення від кремнієвої підкладки до поверхні. Унаслідок цього зменшується перехід між повітрям і кремнієм, що сприяє зниженню втрат на відбиття. За даними літератури, використання таких структур дозволяє отримати інтегральний коефіцієнт відбиття менше 2 % у спектральному діапазоні 400–1000 нм без застосування додаткових діелектричних покриттів [1, 2].

Перенесення фотогенерованих носіїв заряду в пористому кремнії визначається морфологією кремнієвого каркаса, наявністю поверхневих станів та процесами рекомбінації. Значний вплив має стан поверхні пор, оскільки саме поверхневі дефекти є центрами безвиpromінювальної рекомбінації. Термічне або хімічне пасивування поверхні сприяє зменшенню концентрації таких центрів, що приводить до збільшення часу життя носіїв заряду та покращення фотоелектричних характеристик матеріалу [1].

Завдяки великій питомій площі поверхні пористий кремній характеризується високою чутливістю до процесів адсорбції газів і парів різних речовин. Взаємодія адсорбованих молекул із поверхневими станами змінює зарядовий стан поверхні та електронні характеристики пористого шару, що лежить в основі роботи сенсорів на основі Por-Si [1, 2].

Адсорбція газових молекул на поверхні Por-Si може бути описана ізотермою Ленгмюра

$$\theta = \frac{KP}{1 + KP}$$

де

□ θ — ступінь заповнення поверхні; K — константа адсорбції; P — парціальний тиск газу.

Одним із проявів цієї взаємодії є зміна фотолюмінесцентних властивостей матеріалу. Після збудження світлом із енергією, достатньою для генерації електронно-діркових пар, у нанокристалітах відбувається випромінювальна рекомбінація. Адсорбція молекул може впливати на ефективність цього процесу внаслідок зміни поверхневих електронних станів, що проявляється у зміні інтенсивності або положення максимуму спектра фотолюмінесценції [1, 3].

Такий ефект може бути використаний для оптичного контролю складу газового середовища.

Поряд із фотолюмінесцентними властивостями змінюються електричні параметри пористого шару. Адсорбція молекул впливає на електропровідність, імпеданс і роботу виходу електронів. Для структур із розвиненим рельєфом поверхні можливе також спостереження польової емісії за відносно невеликих напруженостей електричного поля [1]. Поєднання оптичного та електричного способів реєстрації сигналу дає можливість створювати мультисенсорні системи, у яких інформація про стан середовища формується одночасно за кількома незалежними параметрами.

Розглянуто фізичні процеси, що визначають оптичні, електронні та адсорбційні властивості наноструктурованого пористого кремнію. Показано, що квантово-розмірні ефекти разом із можливістю формування шарів із градієнтною поруватістю забезпечують сприятливі умови для зменшення оптичних втрат у кремнієвих фотоелектричних структурах [2]. Аналіз літературних даних також свідчить, що процеси адсорбції істотно впливають на фотолюмінесцентні та електрофізичні характеристики матеріалу, що відкриває можливості для використання пористого кремнію як функціонального матеріалу в мультисенсорних системах [1, 3].

Список літератури

1. Moretta, R., De Stefano, L., Terracciano, M., & Rea, I. (2021). Porous Silicon Optical Devices: Recent Advances in Biosensing Applications. *Sensors*, 21(4), 1336.
2. Oksanich, A. P., Pritchinn, S. E., Mashchenko, M. A., & Bobryshev, A. Yu. (2020). *Effect of the Porous Silicon Layer Structure on Gas Adsorption. Journal of Nano- and Electronic Physics*, 12(4), 04020.
3. Tumram, P. V., Moharil, S. V., & co-authors. (2021). *Enabling High-Porosity Porous Silicon as an Electronic Material*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 312, 110808

The authors of the XXXI International Scientific and Practical Conference «Frontiers of modern knowledge: integration of theory and practice» were representatives of the following educational institutions:

Odesa Polytechnic National University; National University “Kyiv Aviation Institute”; National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Dnipro State Medical University; Florida Institute of Technology; National Transport University; State University of Information and Communication Technologies; Kharkiv National University of Internal Affairs; Uzhhorod National University; Georgian Technical University; Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas; O. O. Bogomolets National Medical University; Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University and others.

FRONTIERS OF MODERN KNOWLEDGE: INTEGRATION OF THEORY AND PRACTICE

Scientific publications

Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference
«Frontiers of modern knowledge: integration of theory and practice»,
Sofia, Bulgaria. 96 p.
(August 4–7, 2026)

UDC 01.1

ISBN – 979-8-90600-154-2

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.31

Text Copyright © 2026 by the International Science Group (isg-konf.com).

Illustrations © 2026 by the International Science Group.

Cover design: International Science Group (isg-konf.com)©

Cover art: International Science Group (isg-konf.com)©

All rights reserved. Printed in the United States of America.

No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required. Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighboring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

The recommended citation for this publication is: Fedorov O., Kustovska A. Acid-activated bentonite production. Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference. Sofia, Bulgaria. 2026. Pp. 13-14 URL: <https://isg-konf.com/frontiers-of-modern-knowledge-integration-of-theory-and-practice/>