

International Science Group

ISG-KONF.COM

**XXVI International Scientific and Practical Conference
«Scientific research: challenges and ways to overcome
them in modern realities»**

**June 30–July 3, 2026
Paris, France**

ISBN - 979-8-90383-416-7

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.26

SCIENTIFIC RESEARCH: CHALLENGES AND WAYS TO OVERCOME THEM IN MODERN REALITIES

Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference

Paris, France
June 30 – July 03, 2026

UDC 01.1

The 26th International scientific and practical conference “Scientific research: challenges and ways to overcome them in modern realities” (June 30 – July 03, 2026) Paris, France. International Science Group. 2026. 208 p.

ISBN – 979-8-90383-416-7

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.26

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 Mykolaiivna</u>	Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

TABLE OF CONTENTS

APPLIED MECHANICS		
1.	Несін В.В., Лежнін К.В., Маєтний М.І., Лахтадир С.Л. МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ РОЗЩАРУВАННЯ У ТЕКСТОЛІТОВИХ СТРИЖНЯХ	7
ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING		
2.	Василишин В.Я., Василишин Ю.В. АРХІТЕКТУРА З НУЛЬОВИМ РІВНЕМ ВИКИДІВ (NET ZERO BUILDINGS): ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ	10
3.	Осиченко Г. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛІВ	16
CHEMISTRY		
4.	Koshchii I., Klimko Y. AMIDOALKYLING AGENTS IN THE SYNTHESIS OF SPIRO- DERIVATIVE NITROGENOUS HETEROCYCLES WITH A FRAMEWORK FRAGMENT	19
CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING		
5.	Gvozdetskyi O. ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OPPORTUNITIES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS OF HOSPITAL COMPLEXES	21
6.	Pivnenko Y. MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER IN HYBRID THREE-PHASE FLUIDIZED BED REACTORS FOR INDUSTRIAL GAS CLEANING	29
ECONOMICS		
7.	Honcharov O. GUIDELINES FOR UKRAINE’S PARTICIPATION IN THE GLOBAL ELECTRIC MOBILITY ECOSYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERNATIONAL COMPETITION	32

EDUCATION		
8.	Konul A. DIGITAL TRANSFORMATION OF THE EDUCATION SYSTEM: NEW OPPORTUNITIES AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES	38
9.	Білецька Л.С., Ковальська Ю.О. РЕАЛІЗАЦІЯ ІДЕЇ РОЗВИВАЛЬНОГО НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СЮЖЕТНИХ ЗАДАЧ УЧНЯМИ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ	41
10.	Рибкіна Т., Переворська О. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФОНЕТИКО- ФОНЕМАТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ З ПОРУШЕННЯМ СЛУХУ	52
INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES		
11.	Скрипаль О.Ю. ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН	55
12.	Крюков В.А., Фратавчан Т.М., Івасюк Г.П. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЗВУЧЕННЯ ДІАЛОГІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	59
LAW		
13.	Бугайчук К.Л. ПРАВОВИЙ СТАТУС ТА ПОВНОВАЖЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СЛУЖБ ПІДТРИМКИ ОСІБ, ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВІД ДОМАШНЬОГО НАСИЛЬСТВА	61
14.	Франкова А. ЗНАЧЕННЯ МЕДІАЦІЇ У ВИРІШЕННІ КОРПОРАТИВНИХ КОНФЛІКТІВ	66
MEDICINE		
15.	Abdualiyeva M.E., Akshekina A.K., Kozbekova A.T., Nurumova N.B., Seifolla M.T. GESTATIONAL DIABETES MELLITUS IN WOMEN WITH PMOS: RISK FACTORS AND LONG-TERM OUTCOMES	70

16.	Adilbekova A.N., Utegenova A.A., Bakira O.T., Kozhantayeva A.K., Zainulinov D.K. OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA IN CHILDREN WITH ADENOTONSILLAR DISEASE: CONTEMPORARY APPROACHES TO DIAGNOSIS AND TREATMENT	78
17.	Amanbayeva N.A., Kamalilzaman A.Z., Khussyneden A.A., Ospanova Z.N., Uskenbay A. PERFUSION COMPUTED TOMOGRAPHY IN ACUTE PYELONEPHRITIS: OPPORTUNITIES FOR EARLY DETECTION OF COMPLICATIONS	87
18.	Aripova L.E., Bashirov B., Maden M., Manash A.K., Nursapayeva D.G. PREDICTORS OF PREECLAMPSIA IN PREGNANT WOMEN WITH SUBCLINICAL CARDIOVASCULAR DISEASE: THE ROLE OF ECHOCARDIOGRAPHY AND BIOMARKERS	95
19.	Astemirova M.N., Ainabekova D.N., Argynbekova D.Z., Jones S.P., Konysbayeva A.Y. ALLERGIC DERMATITIS AS A SYSTEMIC DISEASE: DERMATOLOGICAL AND ALLERGOLOGICAL ASPECTS	103
20.	Azimkhan A.B., Grunev K., Nurmakhanova N.B., Onerbek A.B., Zharas M.A. IMPACT OF BRONCHIAL ASTHMA AND THE DEGREE OF ASTHMA CONTROL ON PREGNANCY AND PERINATAL OUTCOMES	111
21.	Bilalova A.A., Ussipashim Z., Durdyev S.S., Kainarbayeva G.S., Yachshenko Y.Y. THE ROLE OF THE GUT MICROBIOME IN THE COURSE AND OUTCOMES OF INFECTIOUS DISEASES IN CHILDREN	119
22.	Bilimzhanov D.B., Dzhuldybaeva G.T., Maratova D.Z., Gizatova M.Y., Ualiyeva A.S. IMPACT OF CHRONIC ALLERGIC DISEASES ON CARDIOVASCULAR RISK	128
23.	Daniyarbek N.O., Tynyshbayeva D.B., Kenesarieva M.S., Menlibay R.K., Zhilkayeva L.T. PRECANCEROUS GASTRIC CONDITIONS AND THE RISK OF GASTRIC ADENOCARCINOMA: CONTEMPORARY STRATEGIES FOR EARLY DETECTION, INSTRUMENTAL DIAGNOSIS, AND SURVEILLANCE	137

24.	Ilyassova R., Rozakhunova D.D., Sagatbayev Y.Y., Toktaubayeva A.K., Tynyshtykova Z.E. CHRONIC LOWER LIMB ISCHEMIA IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS: CURRENT APPROACHES TO MEDICAL AND SURGICAL TREATMENT	145
25.	Jambulova A.B., Dilnaz A., Kuchshanova D.D., Mautkhanova A.K., Tastanbekova A.S. PROGNOSTIC ROLE OF NLR, PLR, AND SII IN DIABETIC RETINOPATHY	153
26.	Mamriyeva M.D., Sadivakhassova D.N., Tabigat A.A., Zamanova A.A., Zhaparkulov N.T. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ENDOSCOPIC DIAGNOSIS OF OTORHINOLARYNGOLOGICAL DISEASES	162
27.	Serheta I. LEADING CHARACTERISTICS OF THE PROCESSES OF PROFESSIONAL ADAPTATION OF YOUNG WOMEN AND YOUNG MEN IN MODERN CONDITIONS	171
28.	Shaifulin D., Bakhayeva A.N., Muzarap S.A., Omirbayeva N.Y., Tazhi A.A. PROGNOSTIC ROLE OF EARLY KIDNEY INJURY BIOMARKERS IN PATIENTS WITH UROLITHIASIS FOLLOWING ENDOUROLOGICAL INTERVENTIONS	173
OCCUPATIONAL SAFETY		
29.	Пилипенко О.В. ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ РІВНИННИХ ПРОМИСЛОВИХ МАЙДАНЧИКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ	181
PSYCHOLOGY		
30.	Kerdyvar V. LEGAL FRAMEWORK GOVERNING THE ACTIVITIES OF THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE UNDER MARTIAL LAW	195
TRANSPORT		
31.	Захарченко Л.Л. ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ	200

МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ РОЗШАРУВАННЯ У ТЕКСТОЛІТОВИХ СТРИЖНЯХ

Несін Віталій Володимирович,

провідний науковий співробітник,
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

Лежнін Костянтин Володимирович,

начальник відділу,
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

Маєтний Михайло Ігорович,

старший науковий співробітник,
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

Лахтадир Сергій Леонідович,

старший науковий співробітник,
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

Шари бавовняної тканини просочуються термореактивним полімером при виготовленні текстоліту. В процесі намотування [1] або формування валиками з листової заготовки [2] поверхні окремих просочених шарів можуть втратити активність до взаємодії через адсорбцію газоподібних компонентів повітря (кисню чи азоту) або дрібних твердих часток (пилу), тощо. При намотуванні чи пресуванні валиками окремі шари втратять схильність до взаємодії. Можуть утворитися несплавлення між шарами.

Задача дослідження

Задачею наукової роботи є визначення можливих причин та механізму утворення розшарувань в структурі текстолітових стрижнів малого діаметру (до 10 мм).

Основна частина

Як в процесі формування текстолітового стрижня намотуванням так і при формуванні стрижня пресуванням паралельних шарів фігурними валиками, взаємодія між шарами і утворення суцільного текстоліту можливе за умови достатньої активності поверхонь сусідніх шарів. Відсутність з'єднання між

бавовняними просоченими полімерами шарами призводить до несплавлення та проявляється при експлуатації у вигляді розшарування.

Термореактивний полімер, що просочує бавовняну основу кожного шару, і зокрема його поверхня, втрачає активність в результаті охолодження й полімеризації. Полімер повторно до активного стану нагріванням не повертається. Важливо витримати баланс температури і часу між просочуванням основи шару і його з'єднання з іншими шарами в процесі виробництва текстоліту (Рис 1.).

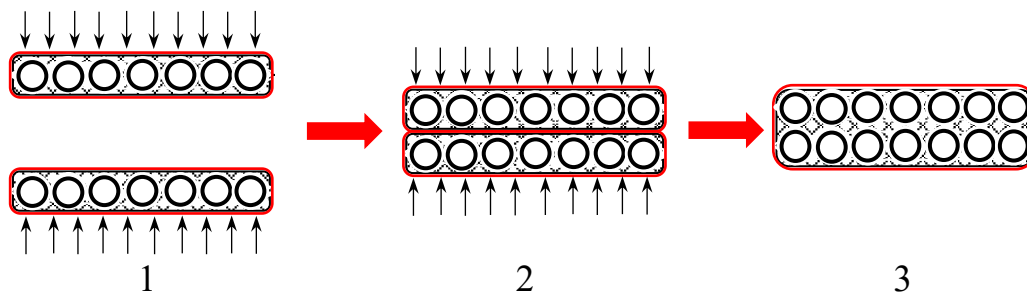


Рис. 1. Схема формування з'єднання між шарами бавовни, просоченої термоактивним полімером

1 та 2 – процес притискання шарів з активованими поверхнями,
3 – утворення суцільного матеріалу

Джерело рисунка: дослідження авторів та за матеріалами [1, 2, 3].

Компоненти атмосфери, зокрема азот, може наситити поверхню шару, зменшивши її активність в нагрітому стані. Кисень здатний утворити оксидну плівку, яка унеможливить з'єднання шарів. Забруднення робочої атмосфери пилом теж призводить до загального або локального пригнічення активності нагрітих шарів, що з'єднуються (Рис. 2.).

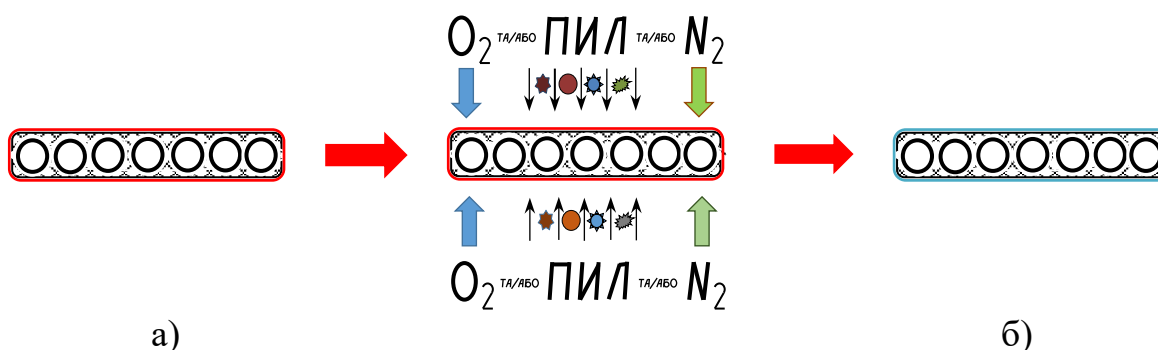


Рис. 2. Схема зниження поверхневої активності до взаємодії шару бавовни, просоченої термоактивним полімером

а) шар з активною поверхнею; б) шар зі зменшеною поверхневою активністю
Джерело рисунка: дослідження авторів.

За схожою схемою відбувається пригнічення активності поверхні шарів при виробництві текстоліту органічними забрудненнями, вологою або іншим рідким компонентом.

Перепона з'єднання шарів у вигляді будь-якої газової, рідкої чи твердої компоненти призводить до несплавлення (плоского дефекту) чи розшарування (порожнинного дефекту в текстоліті). Схема формування несплавлення представлена на Рис. 3.

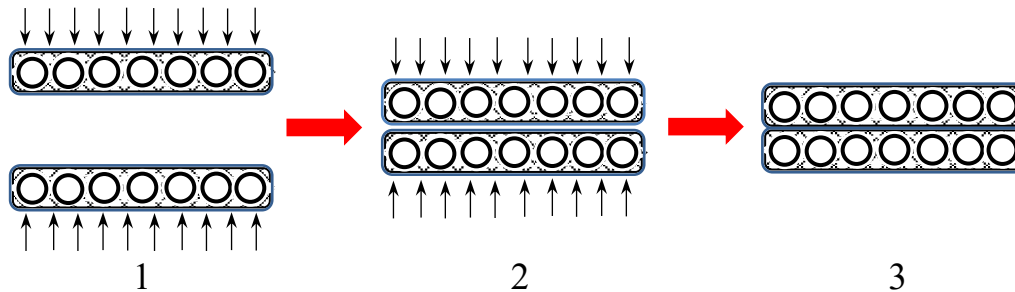


Рис. 3. Схема формування несплавлення між шарами бавовни, просоченої термоактивним полімером

1 та 2 – процес притискання шарів з дезактивованими поверхнями,
3 – утворення матеріалу з суцільним або локальним розшаруванням
Джерело рисунка: дослідження авторів.

Висновок

В структурі текстолітових стрижнів, як і в структурі текстолітових пластин, основною причиною утворення розшарувань є дезактивація поверхонь бавовняних шарів, просочених термоактивним полімером, в момент стискання (формування) багатошарового матеріалу.

Список літератури

1. Текстоліт. URL:<https://eldi.com.ua/tekstolit?page=1> [Дата звертання 04.06.2026 р.]
2. Несін В.В., Лежнін К.В., Маєтний М.І., Лахтадир С.Л. Визначення за характерними ознаками структури та форми перерізу текстолітових стрижнів особливостей технології їх виготовлення. С. 10-13. / The 23th International scientific and practical conference “Digital transformation: modern technologies for people and education” (June 9-12, 2026) Sofia, Bulgaria. International Science Group. 2026. 265 p. URL: <https://isg-konf.com/digital-transformation-modern-technologies-for-people-and-education/>
3. Несін В.В., Лежнін К.В., Маєтний М.І., Лахтадир С.Л. Вплив будови та форми перерізу текстолітових стрижнів на утворення задирок при токарній обробці. С. 14-17. / The 24th International scientific and practical conference “Interdisciplinary discourse: the latest theories, ideas and developments” (June 16-19, 2026) Warsaw, Poland. International Science Group. 2026. 147p. URL: <https://isg-konf.com/interdisciplinary-discourse-the-latest-theories-ideas-and-developments/>

АРХІТЕКТУРА З НУЛЬОВИМ РІВНЕМ ВИКИДІВ (NET ZERO BUILDINGS): ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

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

ВСТУП

Будівельний сектор є одним із найбільших споживачів енергії та джерел викидів парникових газів у світі. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), на стадію будівництва та експлуатацію споруд припадає майже 40% глобальних викидів вуглецю (CO₂). В умовах стрімкої зміни клімату та поглиблення глобальної енергетичної кризи традиційні підходи до проектування стають екологічно і економічно неприйнятними. Концепція будівель із нульовим рівнем викидів (Net Zero Buildings, або NZB) перетворилася з експериментального архітектурного напрямку на ключовий нормативний та етичний стандарт сучасного зодчества.

Для України цей вектор має подвійне значення. Окрім необхідності інтеграції до європейського екологічного простору (European Green Deal) та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань, країна постала перед проблемою масштабної повоєнної відбудови житлового та громадського фонду. Відновлення міст за застарілими енерговитратними технологіями означатиме консервацію економічної відсталості на десятиліття вперед. Впровадження принципів Net Zero є стратегічним інструментом забезпечення енергетичної незалежності, національної безпеки та створення високоякісного, здорового середовища для життєдіяльності людини.

Метою цих розширених тез є системний аналіз методологічних засад проектування будівель із нульовим балансом викидів, ідентифікація критичних викликів (технологічних, економічних, ментальних) на шляху їх впровадження в Україні, а також окреслення перспектив та архітектурно-планувальних інструментів для масового переходу до сталого будівництва.

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ БАЗИС ТА КЛАСИФІКАЦІЯ NET ZERO КОНЦЕПЦІЙ

В архітектурній науці та практиці термін «Net Zero» має кілька взаємопов'язаних дефініцій, що відрізняються методологією підрахунку енергетичного та екологічного балансу. Основним критерієм є досягнення

рівноваги між спожитою будівлею енергією та енергією, згенерованою з відновлюваних джерел (ВДЕ) безпосередньо на ділянці або за її межами за певний часовий проміжок (зазвичай за один рік).

Сучасна класифікація виділяє чотири основні рівні реалізації цієї концепції:

- **Net Zero Energy (Нульовий енергетичний баланс):** будівля виробляє стільки ж відновлюваної енергії, скільки споживає за рік експлуатації.

- **Net Zero Carbon (Нульовий вуглецевий слід експлуатації):** використання енергоносіїв, які не призводять до викидів парникових газів (повна відмова від викопного палива на користь локальних ВДЕ).

- **Net Zero Site Energy:** генерація енергії відбувається суворо в межах архітектурного об'єкта (дахи, фасади, прилегла ділянка).

- **Life-Cycle Net Zero (Повний життєвий цикл):** найпрогресивніший підхід, який враховує не лише експлуатаційні викиди, але й «втілений вуглець» (Embodied Carbon) — емісію газів під час видобутку сировини, виробництва будівельних матеріалів, їх транспортування, монтажу та майбутньої утилізації споруди.

Математично загальний баланс емісії вуглецю для будівлі Net Zero за життєвий цикл (C_{total}) виражається формулою:

$$C_{total} = C_{embodied} + C_{operational} - C_{avoided} \leq 0$$

де $C_{embodied}$ — втілений вуглець будівельних конструкцій та систем;

$C_{operational}$ — експлуатаційні викиди за весь період функціонування споруди; $C_{avoided}$ — обсяг викидів, уникнутих завдяки генерації надлишкової чистої енергії та її передачі у загальноміську мережу.

АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ТА ІНЖЕНЕРНІ ІНСТРУМЕНТИ ПРОЕКТУВАННЯ

Створення об'єктів Net Zero вимагає кардинальної зміни алгоритму проектування. Архітектор більше не може спочатку створити довільну форму, а потім передати її інженерам для «насичення» кліматичним обладнанням. Досягнення нульового балансу можливе лише за умови інтегрованого проектування (Integrated Design Process), де форма, орієнтація, конструкції та системи розробляються одночасно за допомогою BIM-технологій та інструментів параметричного моделювання інсоляції й аеродинаміки.

Етапи оптимізації архітектурного об'єкта

Стратегія досягнення Net Zero базується на чіткій ієрархії проектних рішень, відомій як «Трикутник сталого проектування» (Пасивні методи → Активні системи → Відновлювана генерація).

Рівень проектування	Архітектурно-містобудівні заходи	Очікуваний ефект та значення
Пасивна архітектура	Оптимальна широтна орієнтація споруди (максимізація південного скління); надвисокий рівень теплоізоляції огорожувальних конструкцій; ліквідація містків холоду; використання термічної маси стін для акумуляції тепла; природне затінення (перголи, зелені насадження, виноси дахів).	Зниження базового попиту на опалення та охолодження на 60–75%. Мінімізація потреби в штучному мікрокліматі.
Високоєфективні активні системи	Механічна вентиляція з рекуперацією тепла (ефективність >85%); геотермальні та повітряні теплові насоси; інтелектуальні LED-системи освітлення з датчиками присутності та природної освітленості; динамічні адаптивні фасади.	Максимально ефективно використання залишку необхідної енергії. Автоматизоване керування через системи Smart House.
Інтегрована відновлювана генерація	BIPV-технології (фотоелектричні панелі, інтегровані в конструкції фасадів та дахів); мікро-вітрогенератори на покрівлях; колектори сонячного нагріву води; системи накопичення енергії (акумуляторні станції).	Покриття 100% залишку енергетичних потреб об'єкта. Перетворення будівлі з енергоспоживача на мікро-електростанцію.

Особливу роль у сучасній практиці відіграє використання біокліматичного потенціалу території. Архітектурна форма будівлі моделюється таким чином, щоб уловлювати панівні літні вітри для природного наскрізного провітрювання, але водночас протидіяти зимовим тепловтратам через холодні повітряні потоки. Форма стає результатом компромісу між аеродинамікою та площею покрівлі, придатною для встановлення сонячних панелей[4,5].

КЛЮЧОВІ ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ NET ZERO

Незважаючи на очевидні екологічні переваги, масове поширення архітектури з нульовим рівнем викидів стикається з комплексом серйозних перешкод. Їх можна класифікувати на чотири блоки: технологічні, фінансово-економічні, регуляторні та соціокультурні.

Технологічні виклики. Головною проблемою залишається висока залежність відновлюваної генерації (сонце, вітер) від погодних умов та часу доби. Архітектурний об'єкт потребує потужних систем акумулювання енергії, які

наразі мають високу вартість та обмежений термін експлуатації. Крім того, існує проблема «втіленого вуглецю»: виробництво високоефективних утеплювачів (наприклад, екструдованого пінополістиролу) чи сонячних панелей само по собі є вуглецевоємним, що частково нівелює майбутній екологічний ефект будівлі.

Фінансово-економічні бар'єри. Початкова вартість проектування та будівництва об'єкта Net Zero (CapEx) на 15–30% вища порівняно з традиційними будівлями. В умовах дефіциту довгострокового пільгового кредитування та високої вартості капіталу в Україні девелопери часто не готові йти на такі витрати, орієнтуючись на швидкий прибуток від продажу нерухомості, а не на її довгострокову експлуатаційну окупність (OpEx).

Регуляторні та нормативні недоліки. Українська нормативна база у сфері архітектури та містобудування хоч і адаптується до європейських вимог, все ще має прогалини щодо стимулювання Net Zero. Наприклад, законодавство про «зелений тариф» та розподілену генерацію потребує спрощення для приватних комерційних та багатоквартирних житлових будинків, які хочуть віддавати надлишок енергії в мережу. Відсутні жорсткі податкові санкції за високий вуглецевий слід матеріалів[7,8].

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА СПЕЦИФІКА ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Перспективи архітектури з нульовим рівнем викидів в Україні парадоксальним чином посилюються фактором воєнних руйнувань та необхідністю повної модернізації інфраструктури. Стратегія «Build Back Better» (Відбудувати краще, ніж було) має стати основним драйвером розвитку. Повоєнна реконструкція відкриває унікальне «вікно можливостей» для створення цілих еко-районів та Net Zero кварталів.

Важливим вектором є використання локальних, відновлюваних будівельних матеріалів з низьким рівнем втіленого вуглецю. Замість традиційного залізобетону та цегли, виробництво яких супроводжується колосальними викидами $\$CO_2\$, перспективним є впровадження конструкцій із масивної деревини (CLT-панелі), коноплебетону (hempcrete), солом'яних еко-панелей та геополімерного бетону. Ці матеріали мають від'ємний або нульовий вуглецевий слід, оскільки в процесі росту рослинна сировина абсорбує вуглець із атмосфери, «консервуючи» його в тілі будівлі.$

Іншим перспективним напрямом є децентралізація та концепція «будівель-просьюмерів» (prosumer — виробник і споживач одночасно). В умовах постійної загрози руйнування централізованих енергомереж, будівля Net Zero, обладнана сонячними дахами та тепловими насосами, стає автономним безпековим хабом. У масштабах міста такі об'єкти можуть об'єднуватися у локальні інтелектуальні мікромережі (Microgrids), обмінюючись надлишками енергії між собою (наприклад, житловий будинок передає надлишкову денну енергію офісному центру і навпаки), що кардинально підвищує живучість міської системи загалом[8].

Висновки

Перехід до архітектури з нульовим рівнем викидів є неминучим етапом еволюції містобудування під тиском екологічних та геополітичних реалій. Головний висновок дослідження полягає в тому, що Net Zero будівлі не є суто інженерним завданням — це глибока архітектурна трансформація, яка вимагає переосмислення форми, матеріальності та ролі будівлі в структурі міста. Об'єкт архітектури трансформується з пасивного споживача ресурсів на активний елемент міської екосистеми, що генерує енергію та мінімізує антропогенний тиск на довкілля.

Для успішної реалізації концепції Net Zero в Україні в межах повоєнної відбудови рекомендується:

Розробити державну дорожню карту переходу до стандартів Nearly Zero Energy Buildings (NZEБ) та Net Zero з чіткими часовими етапами для об'єктів державного та приватного секторів.

Впровадити архітектурні конкурси на створення типових проектів Net Zero житлових та громадських будівель із використанням локальних еко-матеріалів.

Створити фінансові інструменти підтримки (наприклад, звільнення від податку на майно або пільгове кредитування для сертифікованих Net Zero об'єктів).

Інтегрувати курси з параметричного екологічного моделювання та оцінки життєвого циклу будівель (LCA) до програм вищої архітектурної освіти України.

Список літератури

1. Козяр М.М., Васишин В.Я., Довган С.І Інноваційні методики викладання комп'ютерної графіки в інженерній освіті України «Наука і техніка сьогодні» (Серія Техніка)»: журнал. 2025. № 8(49) 2025. С. 1879, (ст.1479-1495)

2. Васишин В.Я., Довган С.І Нарисна геометрія як основа підготовки студентів ІФНТУНГ спеціальності «архітектура та містобудування» The 13th International scientific and practical conference “Science in the modern world: innovations and challenges” (September 4-6, 2025) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2025. 294 p (132-137)

3. Васишин В.Я., Васишин Я.В. Вплив дуальної освіти на формування професійних компетентностей майбутніх інженерів в Україні Педагогічна академія: Наукові записки №20 (2025) ст.1-22, 24.07.2025

4. Васишин В.Я., Васишин Я.В. Архітектурне матеріалознавство. Архітектурне матеріалознавство. Збірник тестових завдань - Івано-Франківськ:ІФНТУНГ-2025.-73с

5. Васишин В.Я., Васишин Я.В. Конструкції будівель та споруд. Розрахунок залізобетонних конструкцій на міцність. Практикум. Івано-Франківськ.ІФНТУГ,2025-65с.

6. Васишин В.Я., Васишин Я.В. Концептуальні засади проектування енергоефективної житлової забудови The 1st International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (October 19-21, 2023) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2023..207-213

7. Васишин В.Я. Нарисна геометрія – основа технічного розвитку студентів архітекторів та будівельників “ScientificWorldJournal” Bulgaria, Svishtov, Issue №33, September, 2025. Ref. BG33-097 September 22, 2025

8. Васишин В.Я., Ітченко Д. М., Гаврик О. Ю. Інклюзивна архітектура відкритих міських просторів у контексті урбаністичної рівності Теорія та практика дизайну. Архітектура та будівництво. К.: КАІ, 2025. № 4 (38) 2025

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛІВ

Осиченко Галина,

доктор архітектури, професор,
професор кафедри міського будівництва і архітектури,
Запорізький національний університет, Запоріжжя

Залізничні вокзали традиційно належать до найважливіших громадських споруд міста, поєднуючи транспортні, комунікаційні та репрезентативні функції. Протягом ХХ століття розвиток транспортних систем, зміна мобільності населення та зростання пасажиропотоків спричинили необхідність постійної модернізації вокзальних комплексів. У ХХІ столітті реконструкція вокзалів виходить за межі суто технічного оновлення будівель і дедалі більше набуває характеру комплексної просторової трансформації, що охоплює як саму споруду, так і прилеглі міські території.

Вагомий внесок у формування підходів до реконструкції пасажирських вокзалів зробила Міжнародна асоціація залізниць AREMA [1,2]. У її рекомендаціях наголошувалося на необхідності забезпечення комфорту пасажирів, економічної доцільності реконструкції, інтеграції різних видів транспорту, модернізації платформ і комунікацій, а також урахування архітектурного контексту та національних особливостей. Особлива увага приділялася зміні потреб пасажирів, скороченню часу очікування та підвищенню якості громадських просторів вокзалів.

Аналіз сучасних європейських проєктів реконструкції дозволяє виділити кілька провідних тенденцій.

Першою тенденцією є перетворення вокзалів на багатофункціональні транспортно-громадські комплекси. Вокзал перестає бути виключно місцем посадки та висадки пасажирів і набуває функцій торговельного, культурного та сервісного центру. Характерним прикладом є реконструкція Центрального вокзалу Ганновера [3] (реконструкція 1995-2000, 2004-2006). Під час модернізації, пов'язаної з проведенням виставки Ехро 2000, було значно розширено підземний рівень, модернізовано систему вертикальних комунікацій та сформовано дворівневий громадський простір із розвиненою мережею торговельних і сервісних функцій. Вокзал інтегрувався з метро, велосипедною інфраструктурою та міською транспортною системою, перетворившись на складний багаторівневий вузол.

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING
SCIENTIFIC RESEARCH: CHALLENGES AND WAYS TO OVERCOME THEM IN MODERN
REALITIES



Рисунок 1. Реконструкція Центрального вокзалу в м. Ганновер: а) головна площа; б-г) види пішохідної еспланади. Світлини автора; д) вид зверху на багаторівневу транспортно-пішохідну еспланаду. Джерело: Google Earth

Другою тенденцією є посилення інтеграції вокзалів із міським середовищем. Найбільш показовим прикладом є проєкт реконструкції Північного вокзалу в Парижі, розроблений архітектурним бюро Valode & Pistre [4,5] (проєкт 2018). Метою проєкту стало створення нового типу міського комплексу, що поєднує транспортні, торговельні, культурні та спортивні функції. Автори проєкту прямо декларують перехід від концепції «вокзал у місті» до концепції «місто у вокзалі». Реконструкція передбачає формування нової внутрішньої вулиці, розвиток громадських просторів, інтеграцію зелених зон, удосконалення зв'язків із метро, автобусним та велосипедним транспортом. Таким чином, реконструкція охоплює не лише будівлю вокзалу, а й значну частину прилеглого міського середовища.

Третьою тенденцією є поєднання збереження історичної спадщини з упровадженням сучасних архітектурних рішень. У проєкті реконструкції вокзалу Кінгс-Крос у Лондоні історичні корпуси були ретельно відреставровані, а втрачені елементи відновлені [6] (2005-2012). Водночас головним композиційним акцентом став новий Західний зал із велико пролітним покриттям сучасної конструкції. Подібний підхід демонструє прагнення не до заміни історичної архітектури новою, а до формування діалогу між історичним і сучасним шарами забудови.

Четвертою тенденцією є розвиток інтермодальності та багаторівневої транспортної інтеграції. Сучасний вокзал розглядається як вузол взаємодії різних видів транспорту: залізничного, метрополітену, автобусного, велосипедного та пішохідного. У результаті реконструкція охоплює не лише будівлю вокзалу, а й транспортно-пересадочні системи навколишньої території.

П'ятою тенденцією стає екологізація вокзальних комплексів. У сучасних проектах активно використовуються озеленені покрівлі, енергоефективні технології, сонячні батареї, природне освітлення та засоби скорочення вуглецевого сліду. Екологічна складова поступово перетворюється на один із визначальних критеріїв реконструкції великих транспортних об'єктів.

Розглянуті приклади свідчать про глибоку трансформацію уявлень про роль залізничного вокзалу в структурі міста. Якщо модерністська модель розглядала вокзал насамперед як ефективний транспортний механізм, то сучасні проекти демонструють ознаки контекстуальної ідеальної моделі. У межах цієї моделі вокзал виступає не ізольованою спорудою, а елементом складної міської системи, інтегрованим у культурний, просторовий і транспортний контекст.

Висновки. Таким чином, сучасна реконструкція залізничних вокзалів характеризується переходом від об'єктно орієнтованої модернізації до комплексної містобудівної трансформації. Провідними тенденціями стають багатофункціональність, інтермодальність, інтеграція з міським середовищем, збереження історичної спадщини та екологічна модернізація. Ці процеси відображають формування нової контекстуальної моделі вокзалу як ключового громадського та транспортного центру сучасного міста. Вокзал стає не просто транспортною спорудою, а "міським інтерфейсом", через який відбувається взаємодія транспортної системи, громадського життя та міського простору.

Список літератури

1. American Railway Engineering Association. *Proceedings of the American Railway Engineering Association*. Washington, D.C., 1957–1959.
2. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA). *Manual for Railway Engineering*. Lanham, MD: AREMA, 2024.
3. Deutsche Bahn. *Hannover Hauptbahnhof*. Official website.
4. Valode & Pistre. *Gare du Nord Transformation*. ArchDaily, 2018. URL:
5. La rénovation de la gare du Nord. URL: aris-promeneurs.com/la-renovation-de-la-gare-du-nord/
6. McAslan J. King's Cross Station Redevelopment. ArchDaily, 2012. URL: <https://www.archdaily.com/219082/kings-cross-station-john-mcaslan-partners>

AMIDOALKYLING AGENTS IN THE SYNTHESIS OF SPIRO-DERIVATIVE NITROGENOUS HETEROCYCLES WITH A FRAMEWORK FRAGMENT

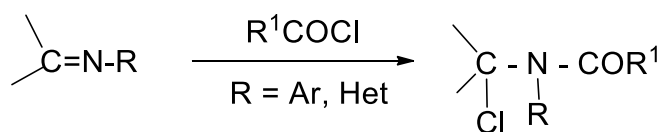
Koshchii Iryna

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 using 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 unique spiro derivatives of nitrogen heterocycles. There are no reports of such syntheses in the literature.

The aim of this study is to attempt to synthesize 1-(Spiro[adamantane-2,1'-isoindolin]-2'-yl)ethanone (4) starting from adamantane-2-one (1).

General synthesis procedure.

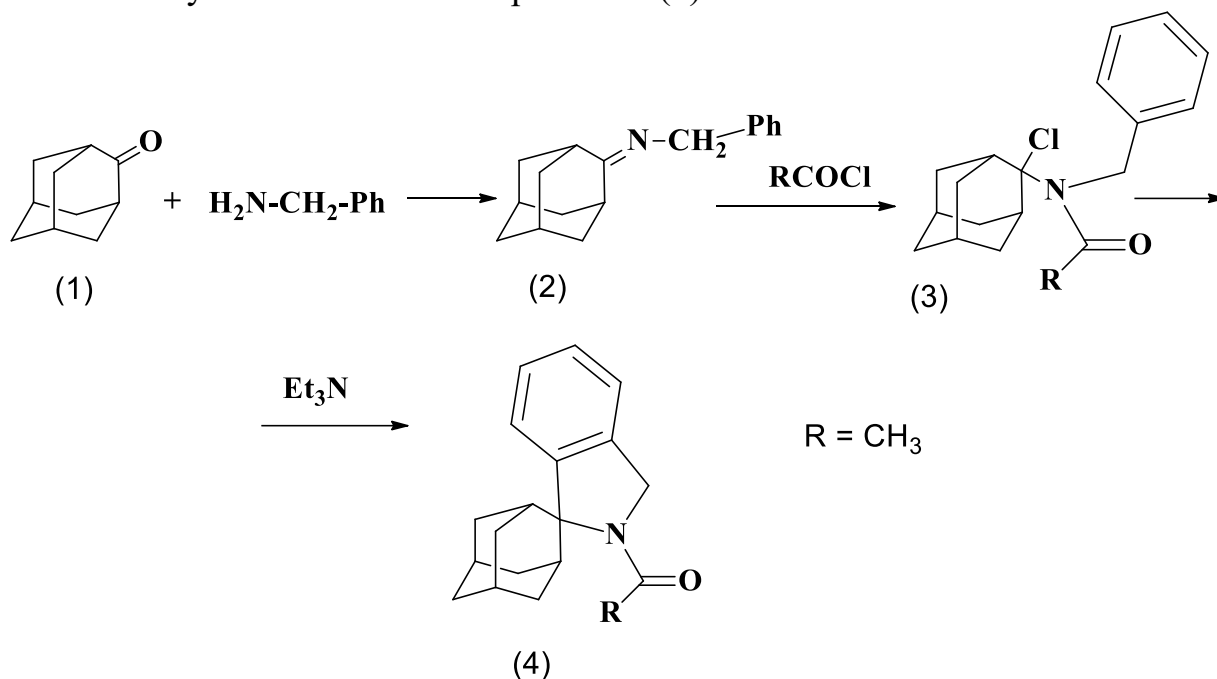
1) Synthesis of the Schiff base. N-((5R,7S)-adamantan-2-ylidene)-1-phenylmethanamine (2). An equivolic amount of benzylamine was added to a solution of 0.05 mol of adamantane-2-one (1) in dry toluene, and the mixture was refluxed with a Dean-Stark trap until the calculated amount of water was released.

2) Synthesis of the amidoalkylating reagent. N-benzyl-N-(2-chloroadamantan-2-yl)acetamide (3). 0.05 mol of acetyl chloride was added to a solution of the resulting compound (2), and the mixture was left at room temperature for 24 hours.

3) Synthesis of 1-(Spiro[adamantane-2,1'-isoindolin]-2'-yl)ethanone (4). An equimolar amount of triethylamine was added to a solution of compound (3), and the

mixture was refluxed for 7 hours. Toluene was removed under vacuum. The residue was crystallized from ethanol-hexane. Yield 78%. M.p. 243-245 °C.

The synthesis of compound (4) is shown in the scheme:



The structure of compound (4) was confirmed based on ^1H and ^{13}C NMR, IR and mass spectra.

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.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OPPORTUNITIES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS OF HOSPITAL COMPLEXES

Gvozdetskyi Oleksandr,

PhD, Associate Professor

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Ukraine

Introductions. In Ukraine, the issue of improving the efficiency of heat supply systems is of particular importance, as it is associated with the strategic objectives of reducing energy consumption, decreasing dependence on conventional fuel and energy resources, and adapting district heating networks to the principles of sustainable development. In this context, national regulatory documents establish criteria for assessing the efficiency of thermal energy transportation, including the level of heat losses in networks, specific water consumption, and electricity consumption, all of which are directly dependent on the hydraulic operating conditions of the system [1].

The increasing cost of energy resources, along with more stringent energy efficiency requirements and environmental regulations, necessitates the modernization of heat supply systems. Such systems are characterized by significant costs associated with thermal energy production and distribution, substantial network heat losses, and a high degree of equipment deterioration. Improving their efficiency requires the implementation of a comprehensive set of technical, organizational, and operational measures. The main solutions include the reconstruction of heating networks using pre-insulated pipelines, the introduction of automated individual heating substations with weather-compensated control and modern metering systems, optimization of temperature schedules in combination with building thermal modernization, integration of renewable energy sources and secondary energy resources, and the use of pumping equipment with variable-frequency drives. The comprehensive implementation of these measures contributes to reducing heat losses and operating costs, saving electricity, increasing system reliability and service life, creating conditions for the transition to fourth-generation district heating, and ensuring energy security, sustainable development, and improved quality of services for consumers.

Certain aspects related to the minimization of hydraulic and thermal losses during heat carrier transportation have been addressed in studies [2, 3, 4]. Reference [5] presents an analysis of the factors determining the energy efficiency level of heat supply systems, particularly equipment obsolescence, deficiencies in existing heat supply schemes, and the need for their modernization. The study reported in [6] demonstrates an integrated approach to improving the efficiency of heat supply system operation using a residential building as a case study. This approach considers measures for the thermal modernization of building envelopes, the application of pre-insulated pipelines, and the upgrading of individual heating substation equipment through the implementation of modern control and metering technologies. Reference

[7] provides a comparison between conventional high-temperature heat supply systems and systems operating according to reduced temperature schedules, enabling the identification of their advantages and limitations in the context of improving energy efficiency and promoting sustainable development.

Aim. The aim of this study is to analyze the economic feasibility and identify opportunities for improving the energy efficiency of the heat supply system of a hospital complex located in the Kharkiv district. Particular attention is focused on assessing the effectiveness of replacing worn steel pipelines of the heating network and modernizing boiler equipment. Achieving this objective will make it possible to determine the potential level of heat loss reduction, decreases in operating costs, and improvements in system reliability, thereby creating prerequisites for ensuring the sustainable development and energy security of the healthcare facility.

Materials and methods. The object of the study is the heat supply system of a hospital complex with a maximum heat load of 0.8 MW. The heat source is a boiler house equipped with four NIISTU-5 boilers, each having a thermal capacity of 300 kW, including one standby boiler.

Initial Data

- Heat source: boiler house;
- Maximum consumer heat load: 0.8 MW;
- Diameter of the existing steel heating network pipelines: 159×4.5 mm;
- Existing temperature schedule for qualitative control: 90/70 °C;
- Existing network pump: K 65-50-160;
- Length of the heating network section pipelines: $L = 63$ m;
- Existing pipeline thermal insulation: mineral wool boards;
- Heating network installation method: underground;
- Natural gas price: UAH 25.84 per m^3 according to [8, 9];
- Electricity price: UAH 8.13 per kWh according to [10].

Results and discussion. The existing heat supply system of the hospital complex is characterized by a high level of deterioration and operational unreliability. The thermal insulation of the pipelines is partially damaged, resulting in significant heat losses, while the steel heating network pipelines are subject to frequent failures and require continuous repair interventions. The efficiency of the boiler equipment does not exceed 70%, the network pumps operate without variable-frequency control, and weather-compensated control of the system operating modes is absent. Collectively, these factors lead to low energy efficiency and high operating costs.

For the purpose of modernization, a comprehensive set of measures is proposed, including the replacement of the existing heating network pipelines with non-metallic pipelines featuring improved thermal insulation characteristics; the installation of modern Vitocrossal 300 CI3 condensing boilers manufactured by Viessmann [11] with an efficiency of 97.7%; and the implementation of network pumps equipped with variable-frequency drives. In addition, a transition to a reduced heat carrier temperature schedule (from 90/70 °C to 60/40 °C) is planned, which will significantly reduce heat losses during heat transportation.

As part of the study, a comparative analysis of the thermal and hydraulic characteristics of the system is carried out for both the existing and the reconstructed configurations. For this purpose, the heat carrier flow rate, t/h, is determined using the following equation:

$$G_h = \frac{Q_h}{c \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2)}, \quad (1)$$

where: G_h – heat carrier flow rate for the heating system, L/s;
 Q_h – maximum heating load of the heating system, kW;
 c – specific heat capacity, J/(kg·°C);
 T_1 – heat carrier temperature in the supply pipeline, °C;
 T_2 – heat carrier temperature in the return pipeline, °C;
 ρ – heat carrier density, t/m³.

The hydraulic pressure losses in the heating network are calculated by considering both frictional and local resistances using the Darcy–Weisbach equation:

$$R = \lambda \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} + \Sigma \xi \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (2)$$

where: R – specific pressure loss, Pa/m;
 λ – hydraulic resistance coefficient;
 L – length of the pipeline section, m;
 D_i – internal diameter of the pipeline, m;
 ρ – density of the heat carrier, kg/m³;
 w – heat carrier velocity, m/s;
 $\Sigma \xi$ – sum of local resistance coefficients.

The calculation results are presented in Table 1.

Table 1.
Calculation of Hydraulic Losses

Option	Q, kW	T1, °C	T2, °C	G, t/h	L, m	Di, mm	w, m/s	R, Pa/m	ΔP, Pa	ΣΔH, mH ₂ O
Existing	800	90	70	34,4	63	150	0,54	42,4	3 473	0,64
Proposed	800	60	40	34,4	63	130,8	0,71	31	2 534	0,53

A comparison of heat losses during the heating season is performed based on the calculation of specific heat losses, which are determined using the following equation:

$$q = \frac{T_{avg} - T_g}{r_{tot}}, \quad (3)$$

where: T_g – average ground temperature during the heating season, °C;
 T_{avg} – average heat carrier temperature during the heating season, °C;
 r_{tot} – total thermal resistance, m·°C/W.

The total thermal resistance of the insulation layer and other additional thermal resistances along the heat flow path is determined as follows:

$$r_{tot} = \frac{\ln B}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_k} + \frac{1}{a_e \cdot \pi \cdot (D_{3TP} + 1)}, \quad (4)$$

where: λ_k – thermal conductivity of the thermal insulation layer, W/(m²·°C); assumed as 0.0199 for PEX (PEXa) pipes with polyurethane foam (PUF) insulation, and 0.04 for mineral wool boards [12, 13];

a_e – heat transfer coefficient from the outer surface of the thermal insulation, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

The ratio of the outer diameter of the pipeline, including the insulation thickness, to the outer diameter of the pipe is determined as follows:

$$B = \frac{2 \cdot \delta_k}{D_o} + 1, \quad (5)$$

where: δ_k – thickness of the thermal insulation layer, m;
 D_o – outer diameter of the pipe, m.

The calculated heat losses for the considered variants are summarized in Tables 2 and 3.

Table 2.
Determination of specific heat losses of district heating pipelines

Pipeline	D_{out} , m	δ_k , M	T_{avg} , $^\circ C$	λ_k , $W/(m \cdot ^\circ C)$	lnB	r_{tot} , $m \cdot ^\circ C/W$	q , W/m
Existing option							
T1	0,159	0,04	57,1	0,04	0,41	1,76	31
T2	0,159	0,04	49,9	0,04	0,41	1,76	25,4
Proposed option							
T1	0,160	0,045	42,2	0,0199	0,45	3,71	10,0
T2	0,160	0,045	32,4	0,0199	0,45	3,71	7,4

Table 3.
Determination of heat losses of a district heating network section during the heating season (4,296 hours)

Option	Length, m	Heat Losses, W	
		Hourly	During the Heating Period
Existing	63	4 262	18 309 552
Proposed	63	1 317	5 657 832

The gas consumption during the heating season is determined using the following equation, m^3 :

$$B_p = \frac{Q_o \cdot 10^6}{Q_{LHV} \cdot \eta} \cdot \frac{(t_i - t_{avg})}{(t_i - t_o)} \cdot T, \quad (6)$$

where: Q_{LHV} – lower heating value of fuel, assumed as 8,000 kcal/ m^3 ;
 η – boiler efficiency;
 t_i – indoor air temperature, assumed as 22 $^\circ C$;
 t_{out} – average outdoor air temperature, assumed as -1 $^\circ C$;
 t_o – design outdoor air temperature for heating, assumed as -23 $^\circ C$;
 T – duration of the heating period, 179 days.

The calculated gas consumption of the boiler house is presented in Table 4. The gas consumption required to cover heat losses of the heating network for different variants is presented in Table 5.

Table 4.

Gas Consumption of the Boiler House Before and After Modernization

Option	Gas Consumption, m ³	
	Maximum Hourly	During the Heating Period
Existing	122,84	269 724
Proposed	88,01	193 225

Table 5.

Gas consumption for compensating heat losses in the heating network.

Option	Gas Consumption, m ³	
	Maximum Hourly	During the Heating Period
Existing	0,46	1 976,2
Proposed	0,14	601,44

In addition, within the framework of the boiler house modernization, it is planned to replace the existing network pump of type K 65-50-160, which has an electrical power consumption at the operating point of 1.2 kW, with a modern pump equipped with a variable-frequency drive manufactured by Wilo [14], model Stratos MAXO 50/0.5-16 PN6/10. The new unit is characterized by higher energy efficiency and has a power consumption of 0.81 kW at the operating point. The use of frequency control ensures optimization of the hydraulic operating regime of the system, reduction of energy consumption, and improved operational reliability. Thus, this technical solution contributes not only to reducing operating costs but also creates prerequisites for integrating the system into the concept of fourth-generation energy-efficient district heating.

Therefore, the study is aimed at a comprehensive assessment of the economic feasibility and energy efficiency of the modernization of the hospital complex heat supply system. The obtained results make it possible to justify the necessity of reconstruction, confirm its significant potential for reducing operating costs, decreasing heat losses, and improving system reliability, which is of strategic importance for ensuring sustainable development and energy security of healthcare facilities.

Figure 1 presents a comparative diagram of monetary costs over the heating season for two scenarios: the existing system and its reconstructed variant. The diagram takes into account costs associated with the consumption and distribution of natural gas, as well as the cost of electricity generation, transmission, and distribution.

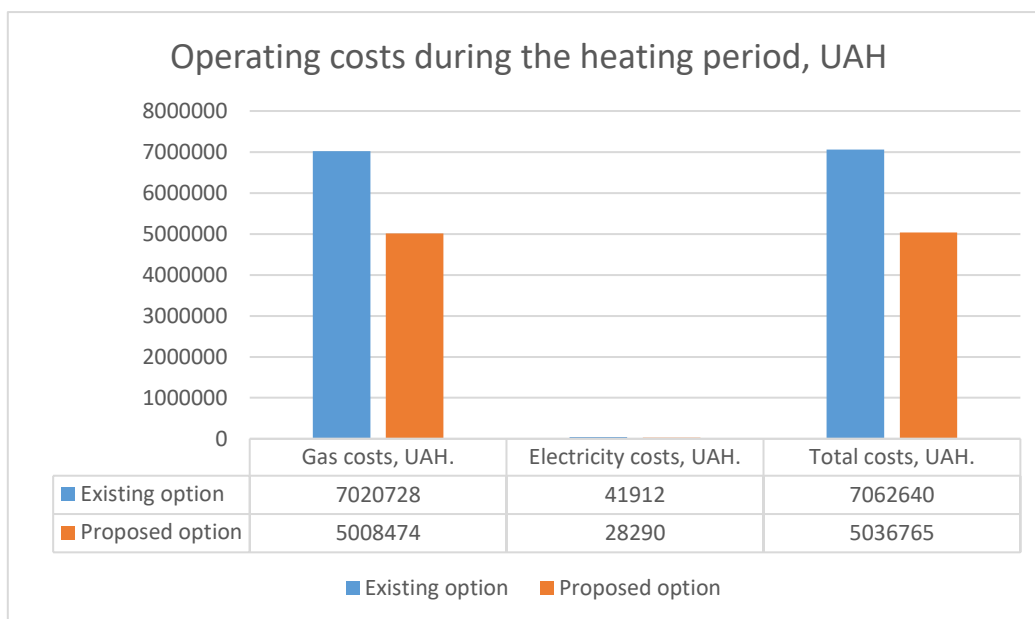


Fig. 1. Comparative diagram of costs in monetary terms over the heating season
 Source of the figure: author's development.

Conclusions. A comparative analysis of the heat supply system performance in its existing state and after reconstruction demonstrates a significant economic effect. According to the calculations, the modernization will provide savings of approximately 2 million UAH per heating season, which corresponds to about 29% of the current operating costs.

The main contribution to cost reduction is ensured by the replacement of the boiler equipment with modern condensing boilers with a higher efficiency coefficient, resulting in a 28% reduction in natural gas consumption. An additional effect is achieved through the transition to a reduced temperature regime (60/40 °C instead of 90/70 °C) and the use of polymer pipelines with factory-made thermal insulation, which allows heat losses in the network to be reduced by 69.1%. An important element of the modernization is also the implementation of network pumps with variable-frequency drives, ensuring optimization of the hydraulic regime and a 32.5% reduction in electricity consumption.

Thus, the reconstruction of the heat supply system not only ensures a substantial reduction in operating costs but also improves the overall energy efficiency, reliability, and environmental sustainability of the system’s operation. The obtained results confirm the economic feasibility of the modernization and its strategic importance for healthcare facilities, where the stability and quality of heat supply are directly related to patient comfort and the efficient functioning of infrastructure. In addition, the implemented measures create prerequisites for a further transition to fourth-generation district heating systems.

References

1. Про затвердження Методики розроблення схем теплопостачання населених пунктів України. (n.d.). Офіційний Вебпортал Парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z1144-20?utm_source#Text
2. Dänschel, H., Mehrmann, V., Roland, M., & Schmidt, M. (2023). Adaptive nonlinear optimization of district heating networks based on model and discretization catalogs. *SeMA Journal*, 81(1), 81–112. <https://doi.org/10.1007/s40324-023-00332-6>
3. Danfoss. (n.d.). *Modern district heating enables transition to smart energy system in Ukraine*. <https://www.danfoss.com/uk-ua/about-danfoss/articles/dhs/modern-district-heating-enables-transition-to-smart-energy-system-in-ukraine/>
4. Алексахін, О. О., Єна, С. В., & Гордиєнко, О. П. (2017). Розрахунок теплових втрат подавальними трубопроводами розгалужених теплових мереж. *Інтегровані технології та енергозбереження*,(3), 51–56. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/86de994b-f4eb-4c45-b44f-1e16aced1f0d/content>
5. Сасько, М. М., & Розін, В. П. (2025). Територіальна диференціація енергетичних навантажень у мережах теплопостачання: системний підхід. *Енергетика: економіка, технології, екологія*,(4), 30–36. <https://energy.kpi.ua/article/view/341302/329348>
6. Гвоздецький, О. В., & Рожанський, А. О. (2026). Підвищення енергоефективності системи теплопостачання шляхом реалізації комплексу заходів на прикладі житлового будинку в місті Харкові. У *Current trends in the development of science and society: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference* (pp. 31–36). <https://isg-konf.com/uk/current-trends-in-the-development-of-science-and-society/>
7. Gvozdeckyi, O., Milanko, O., Tkachenko, R., Yuzbashyan, A., & Romanenko, S. (2025). Operation of heat networks under conditions of «reduced» heating temperature schedule. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 211, 60–74. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.211.2025.327173>
8. Газопостачальна компанія «Нафтогаз України». (n.d.). *Нафтогаз*. Retrieved May 30, 2026, from <https://gas.ua/>
9. АТ «Харківгаз». (n.d.). *АТ «Харківгаз»*. Retrieved May 30, 2026, from <https://khgas.naftogaz.com/>
10. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. (n.d.). *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. Retrieved May 25, 2026, from <https://www.nerc.gov.ua/>
11. Viessmann. (n.d.). *Viessmann Ukraine*. Retrieved May 30, 2026, from <https://www.viessmann.ua/>
12. Brugg Pipes. (n.d.). *Official website*. Retrieved May 30, 2026, from <https://www.bruggpipes.com/>

13. Всеукраїнський будівельний портал. (n.d.). *Всеукраїнський будівельний портал*. Retrieved May 30, 2026, from <https://mybud.com.ua/tovary-poslugy/0/0/25>
14. Wilo. (n.d.). *Pump equipment*. Retrieved May 30, 2026, from <https://wilo.com/ua/uk/>

MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER IN HYBRID THREE-PHASE FLUIDIZED BED REACTORS FOR INDUSTRIAL GAS CLEANING

Pivnenko Yurii
PhD

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The tightening of environmental regulations has increased the demand for highly efficient gas cleaning technologies capable of removing several classes of pollutants simultaneously. Hybrid three-phase fluidized bed reactors provide an attractive solution because they combine gas absorption, adsorption, particulate capture, and intensive mixing within a single process unit [1,2].

Compared with conventional scrubbers and packed columns, fluidized systems exhibit higher interphase contact areas, improved heat and mass transfer rates, and lower susceptibility to clogging [3]. However, industrial implementation remains limited because reactor performance strongly depends on complex hydrodynamic interactions that are not yet fully understood.

Most engineering design methods still employ empirical coefficients obtained under laboratory conditions, making reliable prediction difficult when operating conditions or reactor dimensions change [4].

Hydrodynamic Complexity

Gas–liquid–solid reactors are characterized by simultaneous interactions among bubbles, liquid circulation, suspended particles, and local turbulence. Bubble coalescence, breakup, particle aggregation, and heterogeneous flow structures continuously modify local mass transfer conditions throughout the reactor volume [5].

Existing computational approaches, including Euler–Euler and Euler–Lagrange formulations, have considerably improved the understanding of multiphase systems. Nevertheless, their practical application often requires numerous closure correlations and experimentally determined parameters, reducing their predictive capability [6].

Furthermore, many published models assume simplified particle distributions or neglect dynamic changes in local porosity, leading to discrepancies between simulations and industrial observations [7].

Mass Transfer Modeling

Mass transfer in hybrid reactors is controlled by coupled transport processes occurring at gas–liquid, liquid–solid, and gas–solid interfaces. The presence of porous adsorbents significantly increases the complexity of transport mechanisms because external diffusion, internal diffusion, adsorption equilibrium, and possible chemical reactions may occur simultaneously [8].

Recent investigations indicate that advanced porous materials, including metal–organic frameworks (MOFs), offer remarkable adsorption capacities for volatile organic compounds and sulfur-containing gases [9]. However, existing reactor models rarely incorporate the influence of sorbent morphology and adsorption kinetics on reactor hydrodynamics.

Therefore, further studies should integrate hydrodynamic modeling with adsorption theory to improve prediction accuracy under realistic operating conditions.

Future Perspectives

Future research should focus on developing generalized mathematical models capable of describing the interaction between reactor hydrodynamics, interphase mass transfer, and adsorption processes. Such models should combine experimental validation with computational fluid dynamics and dimensionless similarity analysis.

Attention should be given to:

- development of generalized hydrodynamic correlations;
- coupling CFD simulations with adsorption kinetics;
- investigation of structured and porous sorbents;
- validation under pilot-scale operating conditions;
- scale-up methodologies for industrial reactors.

The integration of these approaches will enable transition from empirical reactor design toward predictive engineering methodologies suitable for modern environmental technologies.

Conclusions

Hybrid three-phase fluidized bed reactors represent an important direction in advanced gas purification. However, their further development requires generalized mathematical descriptions capable of linking hydrodynamic behavior with interphase mass transfer and adsorption phenomena. The creation of unified predictive models will improve reactor optimization, facilitate industrial scale-up, and enhance environmental performance.

References

1. Fan, L. S., & Zhu, C. (2005). *Principles of Gas–Solid Flows*. Cambridge University Press.
2. Yang, W. C. (Ed.). (2003). *Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Marcel Dekker.
3. Grace, J. R., Bi, H. T., & Golriz, M. R. (2020). Hydrodynamics of gas–liquid–solid fluidized beds: A review. *Powder Technology*, 366, 863–884.
4. Krishna, R., & van Baten, J. M. (2018). Mass transfer in multiphase reactors. *Chemical Engineering Science*, 176, 205–220.
5. Kunii, D., & Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
6. Gidaspow, D. (1994). *Multiphase Flow and Fluidization*. Academic Press.

7. Deen, N. G., Annaland, M. V. S., van der Hoef, M. A., & Kuipers, J. A. M. (2007). Review of discrete particle modeling of fluidized beds. *Chemical Engineering Science*, 62(1–2), 28–44.

8. Ruthven, D. M. (1984). *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. Wiley.

9. Li, J.-R., Sculley, J., & Zhou, H.-C. (2012). Metal–organic frameworks for separations. *Chemical Reviews*, 112(2), 869–932.

GUIDELINES FOR UKRAINE'S PARTICIPATION IN THE GLOBAL ELECTRIC MOBILITY ECOSYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERNATIONAL COMPETITION

Honcharov Oleksii

PhD student of the Department of
International Economic Relations and Logistics
V.N. Karazin Kharkiv National University

Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem under conditions of international competition is a multidimensional process associated with the adaptation of the national transport, energy, infrastructure, innovation and regulatory systems to the requirements of the global electric mobility market. For Ukraine, this process cannot be reduced to the direct production of electric vehicles, since the current state of national industry requires a cautious identification of possible forms of involvement in global market processes. A more substantiated approach is to focus on those segments of the electric mobility ecosystem in which existing competencies, investment opportunities, domestic market needs and the potential for international cooperation can be combined.

The development of electric mobility in the global economy is shaped by the interaction of market dynamics, technological innovation, climate commitments and public policies aimed at supporting low-carbon transport [1]. The transition to electric transport is associated with the decarbonisation of the transport sector, reduced dependence on fossil fuels, modernisation of energy infrastructure and the spread of digital solutions in the field of mobility [2]. For Ukraine, these processes have practical significance, as they outline not only the prospects for the domestic electric vehicle market, but also possible directions for participation in international technological, infrastructure, energy and service chains.

For Ukraine, participation in the global electric mobility ecosystem is linked to the tasks of economic recovery, industrial modernisation, energy transformation and gradual approximation to the European economic area [3]. War-related destruction, limited investment resources and structural imbalances in the national economy complicate the rapid formation of a full production cycle in the field of electric vehicle manufacturing. Under these conditions, the identification of guidelines becomes particularly important, as it makes it possible to consider electric mobility not only as an area of consumption of imported vehicles, but also as a direction for developing new infrastructure, technological, service and cooperation opportunities [3].

Within the study, a set of interrelated groups of guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem has been identified: target-priority, regulatory-institutional, financial-resource, technological-innovation, production-industrial, infrastructure-energy and information-digital guidelines. Their

sequential consideration makes it possible to link the tasks of domestic electric mobility development with the need for Ukraine's gradual involvement in international technological, investment, service and production processes.

The target-priority guidelines define the general logic of Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem and link the development of electric mobility with the tasks of national economic recovery. Their content consists in identifying those areas in which the country's internal needs can be aligned with global market trends: the formation of demand for electric transport, the development of charging infrastructure, support for technological competencies, the search for specialised niches in international cooperation and the approximation of national policy to European standards of sustainable mobility.

The identification of priorities should be based on the key trends shaping the global electric mobility industry: transport decarbonisation, the digitalisation of production and service processes, the spread of energy-efficient technologies and the increasing role of industrial policy under conditions of international competition. For Ukraine, these trends are important in view of the need for reindustrialisation, since the restoration of industrial potential should be oriented not towards the reproduction of outdated production models, but towards the search for technological niches compatible with the future structure of global demand. In the field of electric mobility, such niches may include engineering solutions, electronic components, software, battery management systems, charging infrastructure and energy management services.

The guidelines for the development of electric mobility in Ukraine should be aligned with European and international green transformation programmes, in particular the provisions of the European Green Deal, Horizon Europe initiatives, transport decarbonisation policies and requirements for sustainable energy infrastructure [4; 5]. Of practical importance is the adaptation of these provisions to the state of the national economy, investment capacity, infrastructure constraints and the needs of post-war recovery. The alignment of regulatory, technological and investment priorities with the European agenda increases the predictability of public policy and creates clearer conditions for the participation of Ukrainian enterprises, research institutions and infrastructure operators in international projects.

The regulatory-institutional guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem are associated with the gradual approximation of the national regulatory framework to the rules governing the European and global electric mobility markets. This involves the adaptation of international norms with due regard to the state of Ukrainian industry, the institutional capacity of public authorities, the level of domestic market development and the resource constraints of the war and post-war periods. Particular importance should be attached to the harmonisation of technical standards, environmental requirements, certification procedures, rules for the operation of charging infrastructure and mechanisms for the protection of intellectual property rights.

The financial-resource guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem are related to the concentration of investment, budgetary, credit

and organisational resources in areas capable of generating the greatest economic and technological effect. For Ukraine, it is essential to move from fragmented incentives to systematic support for projects focused on the development of charging infrastructure, energy solutions, innovative services, component production and technological cooperation with international partners. The limited availability of domestic financial resources increases the importance of blended financing, in which public support is combined with private capital, funds from international financial institutions, grant programmes and instruments for insuring investment risks.

Financial instruments supporting the development of the electric mobility ecosystem in Ukraine may include tax incentives for innovative enterprises, state guarantees for infrastructure projects, preferential lending, grant funding for research and technological development, as well as participation in international programmes for green energy and sustainable mobility. These instruments should be directed not only towards stimulating final consumption of electric vehicles, but also towards the development of related segments, including charging infrastructure, energy storage systems, digital services, maintenance services, engineering solutions and component production. This financing model shifts the focus from short-term demand support to the creation of economic conditions for Ukraine's long-term participation in international technological and production processes.

Special attention should be paid to the selection of financing priorities in the field of electric mobility, since limited resources require the concentration of support on areas with the highest potential for economic return and international cooperation. Such areas may include infrastructure projects along transport corridors, energy storage technologies, digital platforms for managing charging networks, engineering developments, service solutions and the production of individual components. The effectiveness of financial-resource support should be assessed using indicators of investment activity, technological upgrading, infrastructure development and the involvement of Ukrainian actors in international projects.

The technological-innovation guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem are associated with the development of research potential, technology transfer and the inclusion of Ukrainian institutions in international research and engineering networks. For the national economy, it is important not only to adopt ready-made technological solutions, but also to develop domestic competencies in battery systems, energy management, digital platforms, software, charging infrastructure and engineering support for electric mobility. Participation in international consortia, joint research projects and technological cooperation programmes provides access to knowledge, standards, experimental facilities and financial instruments needed to strengthen Ukraine's position in selected segments of the electric mobility industry.

The development of the technological-innovation component requires the establishment of research centres, laboratories, testing sites and platforms for piloting solutions in the field of electric mobility. Cooperation models involving universities, research institutions, businesses, public authorities and international partners are of practical value, since it is at this level that the link between scientific developments

and market needs is formed. The commercialisation of innovations may be carried out through technology licensing, joint ventures, start-up projects, engineering contracts and the inclusion of Ukrainian developers in international technology platforms.

The production-industrial guidelines should be based on the principle of selective specialisation, whereby Ukraine gradually establishes its presence in those segments of the electric mobility industry where existing competencies can be combined with technological potential and opportunities for international cooperation. This does not imply the rapid formation of a full electric vehicle production cycle, but rather participation in specific stages of value creation: the production of individual components, electrical engineering solutions, software for managing transport and energy systems, maintenance services, engineering support, logistics solutions and the modernisation of charging infrastructure.

The prospects for Ukraine's production participation are also linked to the development of innovation ecosystems around universities, engineering centres, technology companies and start-ups. In this dimension, production capacity is not the only relevant factor; equal importance should be attached to the ability to create applied solutions, adapt international technologies to domestic market needs, provide engineering support for projects and participate in joint research and development initiatives. Ukrainian companies can strengthen their presence in global value chains through specialised software, energy management solutions, technical services and digital monitoring of electric transport operation.

The infrastructure-energy guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem are related to the development of charging, energy, logistics and service infrastructure. An extensive network of charging stations, technical compatibility of equipment, integration of charging infrastructure with renewable energy sources and electricity storage systems determine the practical capacity of the domestic market to expand the use of electric transport. For Ukraine, the placement of charging infrastructure along international transport corridors, in large urban agglomerations, logistics hubs and border regions is of particular importance, since these spatial points provide a link between the domestic market, the European transport network and potential directions for international cooperation.

Electric mobility infrastructure is not limited to a network of facilities serving the end consumer. It forms the basis for the development of economic linkages between transport, energy, digital technologies and the service sector. Charging stations, logistics centres, energy storage systems, digital load management platforms and service networks create conditions for attracting investment, localising selected operations and disseminating technological solutions. The combination of charging infrastructure with renewable energy, smart management systems and energy monitoring expands opportunities for the development of battery technologies, energy management, technical services, software and digital analytics.

The development of electric mobility infrastructure affects the investment attractiveness of the domestic market, as it demonstrates its readiness for the practical use of electric transport, the introduction of related services and the location of selected technological operations. For international companies, the availability of charging,

energy and service infrastructure is an important condition for testing business models, developing partnership projects, organising maintenance services and gradually localising specific functions. For Ukrainian enterprises, infrastructure development opens up opportunities to participate in the maintenance of charging networks, logistics solutions, energy monitoring, digital load management and technical support for electric transport.

The development of electric mobility infrastructure affects the investment attractiveness of the domestic market, as it demonstrates its readiness for the practical use of electric transport, the introduction of related services and the location of selected technological operations. For international companies, the availability of charging, energy and service infrastructure is an important condition for testing business models, developing partnership projects, organising maintenance services and gradually localising specific functions. For Ukrainian enterprises, infrastructure development opens up opportunities to participate in the maintenance of charging networks, logistics solutions, energy monitoring, digital load management and technical support for electric transport.

Digital support for the electric mobility ecosystem should cover the monitoring of market, infrastructure and technological changes. Its practical significance lies in the accumulation of data on electric vehicle registrations, charging station utilisation, spatial disparities in infrastructure development, consumer needs, import dynamics, investment projects and changes in international regulation. On the basis of such data, demand forecasts can be developed, the effectiveness of public support can be assessed, priorities for the development of the charging network can be identified and instruments for stimulating electric mobility can be adjusted. For Ukraine, this is particularly important due to uneven regional development, limited resources and the need for an evidence-based selection of directions for international cooperation.

The guidelines for Ukraine's participation in the global electric mobility ecosystem should be formed with due regard to the actual state of national industry, infrastructure constraints, investment opportunities and the needs of post-war recovery. Regulatory approximation to European norms, the development of charging and energy infrastructure, support for technological development, digital analytics, service solutions and selective inclusion in value chains define practical directions for strengthening Ukraine's position in the field of electric mobility. This logic makes it possible to consider electric mobility not only as a segment of consumption of imported vehicles, but also as a space for the development of engineering, energy, digital, service and cooperation competencies within the national economy.

References

1. International Energy Agency. (2026). *Global EV outlook 2026*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/857aa690-2a43-453f-9f12-147cc8f0a1dd/GlobalEVOutlook2026.pdf>
2. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. (2020). *Sustainable and smart mobility strategy: Putting European transport on track for the future*. European Commission.

https://transport.ec.europa.eu/document/download/be22d311-4a07-4c29-8b72-d6d255846069_en

3. European Commission, & Government of Ukraine. (2024). *Ukraine Facility / Ukraine Plan 2024-2027*. <https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/ukraine-facility-plan.pdf>

4. Honcharov, O., & Goncharenko, N. (2025). EU strategy for the electric mobility development in the context of the green economy transition. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University Series "International Relations. Economics. Country Studies. Tourism"*, (21), 28-37. <https://doi.org/10.26565/2310-9513-2025-21-03>

5. Honcharov, O., & Goncharenko, N. (2025). Green energy technologies implementation in the EU electric vehicle market in the context of the green smart transport concept. *Ekonomichnyi prostir*, (201), 288-296. <https://doi.org/10.30838/EP.201.288-296>

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE EDUCATION SYSTEM: NEW OPPORTUNITIES AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES

Konul Almuradova

English Teacher
Idrak Lyceum, Baku, Azerbaijan

In the modern era, the rapid development of digital technologies has led to fundamental changes in the education system. The digital transformation of education creates broad opportunities for improving the quality of the educational process, increasing the accessibility of educational resources, and improving management mechanisms. Electronic education platforms, artificial intelligence, cloud technologies, virtual and augmented reality systems create conditions for more efficient organization of the educational process. The article examines the main directions, advantages, and future development prospects of the digital transformation of the education system.

The formation of the information society and the development of the digital economy have necessitated the renewal of the education system [1, 2]. Digital transformation involves the reorganization of the activities of educational institutions on the basis of modern technologies, and the optimization of teaching and management processes. International organizations emphasize that digital technologies are an important tool for improving the quality of education, strengthening inclusion and expanding lifelong learning opportunities [3-5]. Digital transformation in the education system is primarily characterized by the application of electronic education platforms. These platforms facilitate the sharing of educational materials, task management and assessment of student achievements.

The application of artificial intelligence technologies creates conditions for the development of personalized education. Artificial intelligence-based systems analyze the knowledge level of learners and provide educational content tailored to their individual needs. UNESCO also notes that artificial intelligence has significant potential for improving the quality of education and personalizing learning.

Cloud technologies and digital databases facilitate the storage and sharing of educational resources. Virtual laboratories and simulation systems play an important role in the formation of practical skills [6].

Digital transformation increases the accessibility of education and eliminates geographical restrictions. Through online education platforms, students can study from anywhere, and teachers can organize the teaching process more flexibly. According to UNESCO, digital technologies strengthen the inclusiveness of education, increase the quality of learning, and help improve educational management. Digital technologies also create new opportunities for the professional development of teachers. Through online courses, webinars, and open educational resources, educators can constantly update their knowledge and skills.

In the future, it is expected that artificial intelligence, big data, blockchain, virtual and augmented reality technologies will be more widely integrated into the education system within the framework of the Education 5.0 concept. These technologies will allow for the personalization of the learning process, monitoring of educational outcomes, and training of personnel in accordance with the requirements of the labor market.

The concept of Smart Education also acts as one of the main directions of digital transformation. This approach serves to expand the application of innovative technologies in education, thereby ensuring more effective knowledge acquisition and the development of human capital [6-10].

The digital transformation of the education system is one of the essential conditions for the development of modern society. The application of digital technologies improves the quality of the educational process, expands the accessibility of education and creates new opportunities for professional development. In the future, the wider application of innovative technologies will significantly contribute to increasing the efficiency of the education system and the formation of a knowledge society.

Smart Education is an innovative educational model formed on the basis of the integration of modern information and communication technologies, artificial intelligence and digital platforms into the educational process. This concept envisages a more personalized, flexible, interactive and data-driven organization of education.

The main goal of smart education is to move away from the traditional “one size fits all” model and create a learning environment tailored to the individual needs of each student. This approach both increases the quality of education and makes the learning process more effective [11].

The concept of smart education is characterized by several main features:

Personalized learning - artificial intelligence-based systems analyze the student's knowledge level and provide appropriate educational materials.

Digital platforms - systems such as Moodle, Google Classroom facilitate the management of education.

Interactive environment - virtual laboratories, simulations and multimedia resources make learning more interesting.

Data-driven management - data collected from the educational process is analyzed and decision-making is improved.

Lifelong learning opportunity – enables individuals to learn at any age and place.

Smart Education is based on the following technologies:

- Artificial intelligence and machine learning
- Cloud technologies
- Big Data analytics
- Internet of Things (IoT)
- Virtual and augmented reality (VR/AR)

Together, these technologies make the education system more adaptive and flexible.

The concept of smart education offers a number of advantages:

EDUCATION
SCIENTIFIC RESEARCH: CHALLENGES AND WAYS TO OVERCOME THEM IN MODERN
REALITIES

- Improving the quality of education
- Global access to educational resources
- Increasing student motivation
- Optimizing teacher workload
- Transparent and effective management of the education system

The concept of smart education is considered an important stage in the development of the modern education system. It is formed as a result of digital transformation, making the educational process more effective, accessible and innovative. In the future, with the wider application of artificial intelligence and digital technologies, the Smart Education model is expected to become one of the main directions of education systems.

References

1. Ashton, K. That ‘Internet of Things’ Thing. RFID Journal, 2009.
2. Brynjolfsson, E., McAfee, A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York: W.W. Norton & Company, 2014.
3. Castells, M. The Rise of the Network Society. 2nd Edition. Oxford: Blackwell Publishing, 2010.
4. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) Report 2024. Brussels, 2024.
5. Floridi, L. The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities. Oxford University Press, 2023.
6. Marr, B. Artificial Intelligence in Practice: How 50 Successful Companies Used AI and Machine Learning to Solve Problems. Wiley, 2019.
7. OECD. Digital Economy Outlook 2024. Paris: OECD Publishing, 2024.
8. Porter, M.E., Heppelmann, J.E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review, 2014, Vol. 92(11), pp. 64–88.
9. Russell, S., Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition. Pearson, 2021.
10. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.
11. United Nations. E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development. New York: United Nations, 2024

РЕАЛІЗАЦІЯ ІДЕЇ РОЗВИВАЛЬНОГО НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СЮЖЕТНИХ ЗАДАЧ УЧНЯМИ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ

Білецька Любов Степанівна,
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка, Україна

Ковальська Юлія Олегівна,
студентка 2 курсу магістратури,
Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка, Україна

Процес оновлення суспільства є складним, суперечливим і тривалим процесом, який пов'язаний із пошуком нових шляхів та здійсненням різних перетворень у всіх сферах життєдіяльності людини, зокрема, в галузі освіти. Державі потрібні суспільно-активні, розвинені, мислячі та творчі особистості. Саме ці завдання постають перед закладами освіти різних типів, а головна їх мета полягає у створенні сприятливого освітнього середовища для здійснення загального розвитку особистості дитини, розкриття її природних задатків, нахилів та потенційних творчих можливостей.

У зв'язку з цим психолого-педагогічні науково-практичні дослідження спрямовані на пошук ефективних шляхів розв'язання актуальних проблем провадження освітнього процесу у сучасних умовах [1], зокрема, теоретично обґрунтувати та практично реалізувати таке навчання учнів початкової школи, яке забезпечило б цілісне формування особистості кожного учня з розвитком його розумових дій та навчально-пізнавальних здібностей, високими моральними та духовними потребами. Це в свою чергу диктує необхідність будувати пізнавальну діяльність учнів на уроці так, щоб забезпечити розвиток їх творчої активності.

Завданням розвитку творчої активності учнів відповідає Концепція розвивального навчання, у якій ставиться наголос на **розвивальному компоненті навчання** [2]. Йдеться про головне завдання навчання – не тільки забезпечити засвоєння дитиною необхідних програмових знань, умінь та навичок, але й домогтися того, щоб на кожному уроці учень оволодівав, а потім самостійно використовував здобуті знання. Ознаками такого навчання є його інтенсивність та реалізація поставленої мети. Комплексно такі дії призводять до розвитку учнів під час навчання.

Розвивальне навчання відкриває шлях успіху в педагогічній творчості тим вчителям, хто любить свою роботу та зацікавлений в отриманні її позитивних результатів у навчальній, виховній та розвивальній роботі з дітьми.

Успішне впровадження **ідеї розвивального навчання** у практику освітнього процесу початкової школи залежить від багатьох чинників:

- від педагогічної майстерності та професійного досвіду вчителя,
- від рівня творчого потенціалу як вчителя, так і учнів,
- від виявлення нахилів, задатків, здібностей, індивідуальних та вікових особливостей учнів,
- від створення та підтримки позитивної емоційної атмосфери на уроці,
- від оптимального вибору та практичного застосування організаційних форм, методів, прийомів, засобів навчання, новітніх креативних освітніх технологій тощо.

Розвивальне навчання забезпечує повноцінну пізнавальну діяльність учнів, а ця діяльність вимагає від учителя високого професійного рівня. Воно передбачає навчання учнів творчо здобувати знання, активно набувати вміння та навички, програмові компетентності, осмислено ставитися до пошуку відповідей на питання та виконання завдань, доцільно застосовувати отримані знання. Таке навчання якісно змінює ставлення вчителя до кожної дитини, піднімаючи рівень педагогічного партнерства та взаємодії на більш високий рівень.

На принципах та засадах розвивального навчання будується новий зміст освітнього процесу, передбачаються нові методи та форми роботи, які спрямовані на розкриття індивідуальних нахилів та здібностей учнів. Розвивальне навчання приваблює також своїм підходом до усвідомлення важливості навчання та розвитку кожного учня.

Багатогранність змісту освіти, різноманітність методів роботи вчителя, які базуються на особливих дидактичних принципах і типових методиках розвивального навчання, дають можливість забезпечувати різноманіття видів діяльності учнів на уроках, дозволяють вчителю спостерігати навчальні можливості кожної дитини в плані варіативності успішності навчання та розвитку її психічних процесів. Добрі довірливі стосунки між вчителем та учнями, насичені позитивними емоціями, атмосфера захопленості дітей навчанням – усе це дозволяє кожному учневі повноцінно реалізувати себе в навчально-пізнавальній діяльності.

Стрижнем розвивального навчання є досягнення максимального результату в загальному розвитку школярів під час навчання. Тому основний шлях спрямований на формування знань, умінь і навичок не великою кількістю вправ або завдань, а самостійним здобуванням нових знань учнями класу. Двигуном процесу пізнання стає бажання учнів пізнати нове, невідоме. Діти вже на самому початку навчання відчують задоволення від цілеспрямованої розумової діяльності, радість від виконання цікавих та нестандартних завдань.

Методи навчання, які будуються на основі відповідних дидактичних принципів розвивального навчання, діють як на інтелект, так і на чуття дітей, бо під час обговорення нового складного для них програмового матеріалу вони можуть вільно висловлювати свої здогадки, судження, думки та висновки.

Саме тому розвивальне навчання все частіше утверджується як ключовий психолого-педагогічний принцип організації сучасного освітнього процесу, від якого багато в чому залежить ефективність переорієнтації системи освіти на розвиток творчої особистості.

Теорія розвивального навчання бере свій початок ще у роботах І.Песталоцці, А.Дістервега, К.Ушинського та ін. Наукове обґрунтування цієї теорії подано в працях Л.Виготського, О.Леонтьєва, Д.Ельконіна, В.Давидова, Л.Занкова, П.Ерднієва, С.Рубінштейна, П.Гальперіна, Є.Ільєнкова, Н.Менчинської, Г.Селевко, І.Якиманської та ін. За результатами їх досліджень навчання та розвиток постають як система діалектично взаємопов'язаних сторін одного і того ж процесу. Навчання та розвиток не можуть виступати як окремі процеси, вони співвідносяться як форма і зміст єдиного процесу розвитку особистості.

Проблема реалізації ідей розвивального навчання, вивчення місця та ролі технологій розвивального навчання, відшукування ефективних шляхів розвитку учнів у процесі навчання в початкових класах перебуває у полі зору досліджень науковців.

Увага зосереджена на відшуванні ефективних шляхів розвитку учнів під час навчання, урахування індивідуальних вікових особливостей молодших школярів (творчого, критичного та логічного мислення, інтелекту, пам'яті, уваги, сприймання, мовлення), створення атмосфери творчості, самостійності, активності та умов для саморозвитку особистості. Це обґрунтовує **актуальність** обраної теми дослідження.

У науковій літературі вказано, що розвиток є процесом фізичної і психічної прогресивної зміни індивіда в часі, який передбачає вдосконалення, перехід його властивостей та параметрів від меншого до більшого, від простого до складного, від нижчого до вищого.

Вирішальна роль у розвитку дитини належить навчанню, тому навчання повинно передувати розвитку. Навчання має бути організоване так, щоб досягти за мінімальний час максимальних результатів розвитку. Воно повинно йти попереду розвитку, максимально використовуючи генетичні вікові передумови та вносячи в них суттєві корективи. Це забезпечується спеціальною педагогічною технологією розвивального навчання.

У зв'язку з цим серед сучасних наукових підходів система розвивального навчання та активізації навчально-пізнавальної, розумової, творчої, мисленнєвої діяльності молодших школярів займає одне з чільних місць у дослідженнях проблем теорії та практики початкової школи. Це пояснюється тим, що освітній процес повинен не тільки забезпечувати оптимальний розвиток дитини, її мотиваційних, когнітивних, емоційно-вольових, моральних дій, але й проєктувати їх взаємодію та взаємне підсилення в умовах організації самостійної та пошуково-творчої діяльності кожного учня.

Розвивальне навчання за системою В.Давидова протиставлене існуючій традиційній системі шкільного навчання, переважно спрямованій від часткового, конкретного, одиничного до загального, абстрактного, цілого; від випадку, факту

до системи; від явища до сутності. В.Давидов поставив питання про можливість теоретичної розробки нової системи навчання з напрямком, зворотним до традиційного: від загального до окремого, від абстрактного до конкретного, від системного до одиничного. Він сформулював основні положення, що характеризують не тільки зміст навчальних дисциплін, а й ті вміння та навички, які повинні бути сформовані в учнів при засвоєнні цих дисциплін у навчальній діяльності.

Зараз у рамках оновленої Концепції розвивального навчання розроблено ряд **розвивальних технологій**, які відрізняються цільовими орієнтаціями, особливостями змісту та методики проведення. Найбільш ефективними з них є:

- технологія Л.Занкова, яка спрямована на загальний цілісний розвиток особистості,
- технологія Д.Ельконіна-В.Давидова, яка акцентована на розвиток способів розумових дій,
- технології творчого розвитку, які надають пріоритет сфері естетичних і моральних якостей особистості,
- технологія Г.Селевко, яка орієнтується на розвиток саморегулюючих механізмів особистості,
- технологія І.Якиманської, яка орієнтується на розвиток сфери дієво-практичних якостей особистості.

Визначено, що ефективний освітній процес передбачає забезпечення всебічного розвитку особистості шляхом навчання та виховання, який ґрунтується на загальнолюдських цінностях та принципах науковості, систематичності, доступності, системності навчання.

Важливою передумовою успішного навчання та розвитку молодших школярів є зацікавленість і пізнавальний інтерес. Відомо, що основним шляхом підвищення ефективності навчання і виховання є взаємодія процесів розвитку мислення дитини та формування у неї знань, умінь та навичок. Домінуючим методом навчання молодших школярів є практичний метод. Він дає змогу дітям глибше усвідомити навчальний матеріал.

Навчання молодших школярів має бути не лише цікавим, радісним, але водночас воно повинно забезпечувати глибоке засвоєння навчального матеріалу. Завдання вчителя початкових класів не лише навчити, а й пробудити в дітей пізнавальний інтерес, емоційне задоволення, радість від отриманих знань і до самого процесу їх засвоєння. Потрібно формувати у дітей уміння вчитися, опрацьовувати різний матеріал, прищеплювати навички самостійної роботи, формувати практичні вміння та навички, які необхідні в житті. Учні повинні засвоїти не тільки математичні знання, але й оволодіти прийомами і методами розв'язування задач різних видів та типів, набути практичні вміння, користуватися вимірювальними, обчислювальними, креслярськими, технічними приладами, самостійно працювати і вдосконалюватися.

Освітній процес є складною динамічною системою, у якій в органічній єдності відбувається діяльність вчителя та учня. У цій системі під керівництвом

учителя учні оволодівають основами знань, способами діяльності та раціональними прийомами роботи.

Кожен із учасників освітнього процесу має свої власні функції в цій взаємопов'язаній діяльності. Завдання вчителя полягає не лише в тому, щоб подати знання, але й управляти процесом засвоєння знань та способами діяльності учнів. Завдання учня полягає в тому, щоб оволодівати системою знань, способами їх здобування, обробки, зберігання та застосування, виховуючи в собі необхідні якості особистості.

Особлива роль у загальному розвитку, а особливо у розвитку творчих здібностей, критичного, логічного та алгоритмічного мислення, вихованні навичок розумової праці (планування дій, пошук раціональних шляхів розв'язання, детальність, чіткість, креативність міркувань тощо) належить вивченню початкового курсу математики як важливого компонента освітньої діяльності. Серед різноманітних засобів формування особистості важливе місце належить урокам математики. Їх різноманітний вплив на виховання дітей набуває дедалі ширшого визнання у теорії та практиці навчання.

Початковий курс математики має як навчально-практичне, так і розвивально-виховне значення. Набуті знання та практичні навички потрібні дітям у повсякденному житті, у вивченні інших навчальних дисциплін. Молодші школярі одержують початкові уявлення про принципи і закони, які лежать в основі математичних фактів, що вивчаються далі. Розвивально-виховне значення вивчення початкового курсу математики виявляється у його внеску в розумовий, моральний та естетичний розвиток молодших школярів.

Дослідження науковців (Бурлака Я., Горобченко М. [3], Захарова А. [4], Костюк Т., Мандзюк М. [5], Савченко І., Мироновська Л. [6] та ін.), а також практичний досвід учителів засвідчують, що реалізація ідеї розвивального навчання підвищує ефективність вивчення математики у початковій школі.

Істотне значення для забезпечення реалізації ідей розвивального навчання має вивчення математичної освітньої галузі за п'ятьма змістовими лініями. Серед них важливою є **змістова лінія «Сюжетні задачі»**. Поетапному формуванню й розвитку умінь учнів розв'язувати сюжетні задачі відведено особливе місце, адже, з одного боку, ці задачі становлять специфічний розділ Навчальної програми з математики, матеріал якого учні повинні міцно засвоїти, а з іншого, вони виступають як дидактичний засіб навчання, виховання та розвитку молодших школярів.

На думку науковців (Богданович М., Козак М., Король Я. [7], Корчевська О. [8], Колягін Ю., Логачевська С. [9], Побірченко Н., Слєпкань З., Заїка М., Басангова Р. [10], Газдун М. [11], Ступак Г. [12], Скворцова С. [13] та ін.) **розв'язування сюжетних задач** є важливим засобом удосконалення творчих здібностей дітей, сприяє розвитку пізнавального інтересу учнів, опануванню ними різними прийомами мислення, формуванню умінь спостерігати і порівнювати, виконувати такі розумові дії, як аналіз, синтез, узагальнення, абстрагування, конкретизація, висловлювати свої судження і міркування.

Сюжетні задачі, які відображають конкретні життєві ситуації, використовуються для ознайомлення школярів з певними математичними поняттями та закономірностями, для з'ясування взаємозв'язків між словом і символом. У деяких випадках формування теоретичних знань через задачі може бути організоване у вигляді проблемної форми навчання.

Виховні функції задач сприяють зв'язку навчання з життям, ознайомлюють учнів з цікавими важливими фактами. У цьому плані сюжетні задачі різного спрямування відіграють велику навчально-практичну роль. Адже в умові сюжетних задач подаються значення заданих і шуканих величин і деякі залежності (відношення) між їх числовими значеннями. Процес роботи над такими задачами сприяє розумінню та усвідомленню залежностей між величинами.

Активізацією навчально-пізнавальної діяльності учнів передбачається створення **системи навчальних ситуацій**, спрямованих на формування в учнів прийомів розумової діяльності. Учні під час розв'язування сюжетних задач і навчально-пізнавальних завдань вчаться спостерігати, порівнювати, швидко сприймати, запам'ятовувати, класифікувати й узагальнювати ознаки об'єктів, абстрагуватись від конкретних ситуацій у задачах.

Оптимізація навчально-пізнавальної діяльності учнів на уроці у процесі розв'язування сюжетних задач забезпечується за умови, що кожному учневі надаватиметься можливість самостійно відкривати для себе знання, утверджувати рівень свідомості і міцності знань.

Ефективності процесу учіння сприяють такі види діяльності вчителя:

- оцінювання умов, спрямованих на формування основних понять;
- аналіз розумових дій і операцій, які виконувались учнями;
- співвіднесення методів роботи із змістом навчального матеріалу та інтелектуальними можливостями учнів;
- характеристика якостей розумової діяльності учнів, які виявлялися на уроці і які мають в них розвиватись;
- виділення суттєвого в навчальному матеріалі, узагальнення матеріалу;
- контроль за власним мовленням учнів (змістовність, словниковий склад мовлення, чіткість формулювань, їх виразність, образність, синтаксична структура речень тощо);
- створення умов для розвитку їх репродуктивної та творчої уяви;
- контроль за емоційним станом дітей на уроці та створення ситуацій для формування вольових якостей особистості;
- управління спілкуванням учнів на уроці та виховання в них дисциплінованості, організованості та діловитості.

Під активізацією навчально-пізнавальної та розумової діяльності учнів розуміють таку організацію процесу засвоєння знань, в результаті якої учні в основному на уроці оволодівають знаннями, способами дій, спеціально значущою ціннісною орієнтацією в навколишній дійсності, вчаться застосовувати здобуті знання на практиці, розвиваються багатопланово у процесі

вивчення нового матеріалу та закріплення сформованих умінь і навичок, що цілісно розвиває мислення, пам'ять, увагу та уяву учня. Усі зазначені аспекти діяльності учня на уроці мають перебувати у постійній взаємодії та взаємозв'язку, а це забезпечується комплексним підходом до створення навчальних ситуацій на уроці.

Розв'язання зазначених завдань учителем і учнем відбувається в часі й здійснюється відповідно до етапів, що входять у процес навчання:

- постановка учителем навчально-пізнавальної мети та організація її сприйняття учнем;
- організація діяльності учнів, спрямованої на осмислення навчальної інформації;
- закріплення інформації та поглиблення її осмислення з наступним запам'ятовуванням;
- перевірка знань учнів.

На всіх згаданих етапах має місце інформаційно-керівна діяльність учителя, здійснювана за допомогою спеціальних принципів, методів і прийомів навчання. Зусилля учителя повинні бути спрямовані на вироблення у школярів цілої системи вмінь – особистих і загальних.

Для того, щоб молодший школяр був активним, зацікавленим в процесі учіння, необхідно:

- забезпечити йому широкі можливості для прояву самостійності в навчальній діяльності;
- ознайомити його з ефективними методами і прийомами самостійної роботи;
- пробудити в нього прагнення до самостійності, тобто зробити для нього самого життєво необхідним його самостійний творчий підхід до розв'язання тих чи інших навчальних завдань.

Комплексним підходом до розробки та створення навчальних ситуацій на уроці передбачається диференціація навчальних завдань [14], керування процесом опанування учнями певним обсягом знань, організації їхньої самостійної мисленнєвої діяльності.

Звичайно, це не означає, що на кожному уроці мають виявлятися усі аспекти діяльності учнів. Йдеться про те, що коли на одному уроці навчальні ситуації спрямовувались на оволодіння певними знаннями, то на наступному уроці слід передбачити ситуації, які б стимулювали дослідницький пошук учнів чи сприяли організації їхньої самостійної навчально-пізнавальної діяльності.

Оптимізація навчально-пізнавального процесу у процесі розв'язування сюжетних задач передбачає створення умов для ефективного запам'ятовування навчального матеріалу. Тому необхідно організувати роботу з учнями так, що вона була цікавою, подавалась у незвичній формі, викликала позитивні емоції і глибокі почуття. Щоб учні добре запам'ятали навчальний матеріал, необхідно ставити перед ними конкретні завдання, вміло організувати повторення і творчу роботу над розв'язаною задачею, здійснювати контроль вивченого.

Закладені можливості в змісті та методах навчання успішно реалізуються лише за умови правильного педагогічного керівництва. Тому важливо, щоб вчитель не лише добре знав особливості психології учнів, закономірності їхнього розвитку в процесі навчання, але й правильно застосовував ці знання в освітньому процесі, використовував їх для отримання поставленої мети активізації розумової та навчально-пізнавальної діяльності учнів у процесі формування в учнів **умінь розв'язування сюжетних задач** [15].

Готовність учнів сприймати задачу залежить також від того, як організовує вчитель аналіз учнями задачного матеріалу. Зазначимо, що в процесі сприймання задачі учні повинні встановити логічний зв'язок між умовою та кінцевою вимогою задачі, усвідомити основне значення цієї вимоги.

Під час створення умов, які забезпечують формування в учнів готовності сприймати задачу, великої уваги заслуговує додержання принципу комплексності. Суть цього принципу полягає в тому, щоб у процесі аналізу сюжетної задачі учні формулювали певні судження, робили узагальнення, встановлювали раціональний спосіб розв'язання задачі.

Принцип комплексності у формуванні готовності сприймати задачу – це спеціальна організація процесу засвоєння прийомів розумової діяльності: осмислено сприймати та запам'ятовувати, аналізувати, порівнювати, узагальнювати та конкретизувати задачний матеріал, користуватися формулами. Сприймаючи задачу, учні виконують цілий ряд розумових і практичних дій: виділяють із змісту умови задачі важливу для її розв'язання інформацію, зіставляють між собою складові частини задачі, встановлюють між ними зв'язок, складають орієнтовний план розв'язування тощо.

Щоб скласти план розв'язання, учні повинні усвідомити **структуру сюжетної задачі**. Важливе значення для усвідомлення структури задачі мають спеціально розроблені моделі та схеми, які в наочній формі відображають істотні зв'язки між її об'єктами. Організація діяльності дітей з опорою на такі моделі дає можливість підвести їх до пізнання цих зв'язків. Орієнтування учнів у структурі задачі, що зображена за допомогою моделі, приводить до самостійного пошуку і встановлення її способу розв'язування.

Під час **розв'язування сюжетної задачі** учень здійснює такі розумові операції: аналіз – здійснює міркування від умови до запитання, виділяє дані і шукані числа, складаючи план розв'язування; синтез, користуючись при цьому конкретизацією (у думці формулює умову задачі); абстрагування (незалежно від конкретної ситуації вибирає потрібні арифметичні дії); узагальнення знань про зв'язки між даними величинами і шуканим шляхом багаторазового виконання розв'язування задач певного виду.

Усі перелічені знання та вміння можливо активізувати шляхом виконання різних видів навчальних завдань. Ефективність цього напрямку роботи передбачає ретельний добір навчальних завдань – сюжетних задач, які б відповідали певним загальним **методичним вимогам**:

- забезпечувати засвоєння учнями програмового матеріалу, формувати в них

знань про задачу, її структуру, процес розв'язування, вчити використовувати набуті знання в різних навчальних ситуаціях;

- зміст завдань має відповідати темі уроку, меті вивчення матеріалу, а числові дані мають бути реальними і відповідати програмовим вимогам;

- послідовність використання задач має сприяти свідомому засвоєнню теоретичних знань і вмінню їх розв'язувати, розвитку прийомів розумової та трудової діяльності школярів, забезпечувати автоматизацію елементарних дій, з яких складається діяльність при розв'язуванні задач, створювати умови для узагальнення способів діяльності, відповідати логіці й структурі процесу формування умінь розв'язування задач;

- кількість задач повинна відповідати індивідуально-психологічним особливостям школярів і бути достатньою для формування певного вміння або навички;

- задачі мають передбачати труднощі, які дозволяють вчителю постійно стежити за точністю вибору та виконання потрібних арифметичних дій, за успіхом і недоліками роботи учнів.

Методика роботи над сюжетними задачами повинна передбачати декілька ступенів:

- підготовчу роботу (актуалізацію необхідних знань, умінь і навичок);
- ознайомлення з розв'язуванням задач (різні способи);
- закріплення та формування вміння розв'язувати задачі (неодноразове розв'язання задач різних типів і вибір розв'язання автоматично).

З метою розвитку пізнавального інтересу учнів початкових класів широко використовуються **прийоми творчої роботи над сюжетними задачами** [16] з використанням роботи над різними видами завдань творчого характеру:

- заміна елементів сюжетної задачі (числових даних, запитання, зв'язків між величинами, сюжету задачі, утруднення умови),

- порівняння задач,

- розв'язування задач різними способами,

- складання виразів за умовою задачі,

- складання задач (на вказану дію, за виразом, на задану зміну величин чи залежностей між ними, задач певного виду, обернених задач, за числовими даними, за коротким записом),

- робота над задачами з недостатніми та зайвими даними,

- робота над комбінаціями задач.

Отже, сучасна освітня політика України покликана розв'язувати актуальні проблеми і передбачає ґрунтовне оновлення змісту шкільної освіти, підвищення якості застосування в освітньому процесі різноманітних інноваційних технологій, організаційних форм навчання, добору та ефективного використання методик і прийомів навчальної роботи з учнями. Особливої ваги це набуває в організації розвивального освітнього процесу в початковій школі, оскільки саме цей віковий період є надзвичайно сприятливим для загального, а особливо інтелектуального розвитку учнів.

Навчання та розвиток постають як система діалектично взаємопов'язаних сторін одного і того ж процесу. Навчання та розвиток не можуть виступати як окремі процеси, вони співвідносяться як форма та зміст єдиного процесу розвитку особистості. Особливо ефективним є впровадження ідей розвивального навчання під час розв'язування учнями сюжетних задач. Це сприяє активізації розумової діяльності, пробудженню пізнавального інтересу учнів до вивчення математики, розвитку математичного мислення і мовлення, пам'яті, уваги учнів.

Список літератури

1. Балютіна К. Актуальні проблеми початкової школи і шляхи їх вирішення. *Початкова школа*. 2018. № 8. С.50-54.
2. Білецька Л.С., Прохорович Ю.І. Реалізація ідеї розвивального компоненту навчання у початкових класах. *The world of modern technologies and inventions*. 2023. Vienna, Austria. P. 169-175. DOI: 10.46299/ISG.2023.2.4
3. Горобченко Н. Використання дослідницьких методів на уроках як дієвий спосіб забезпечення творчого розвитку особистості. *Початкова освіта*. 2012. № 2. С. 42-43.
4. Захарова А.М. Розвивальне навчання математики в початковій школі. *Педагогіка і психологія*. 2000. № 1. С. 37-38.
5. Костюк Т., Мандзюк М. Розвивальні ігри та пізнавальні завдання на уроках математики. *Початкове навчання та виховання*. 2012. № 30(250). С. 2-12.
6. Мироновська Л. Розвивальний компонент технології проблемного навчання математики в початкових класах. *Початкова школа*. 2012. № 6. С. 44-46.
7. Богданович М., Козак М., Король Я. Методика викладання математики у початкових класах: навч. посібник. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2016. 368 с.
8. Козак М.В., Корчевська О.П. Уроки математики у початковій школі: посібник. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2012. 144 с.
9. Логачевська С. Особливості уроку математики Нової української школи. *Початкова школа*. 2018. № 4. С. 8-11.
10. Басангова Р. Стимулювання пізнавальної діяльності учнів в ході розв'язування сюжетних задач. *Початкова школа*. 2009. № 1. С. 40-44.
11. Газдун М. Як учити молодших школярів розв'язувати задачі. *Початкова школа*. 2008. № 11. С. 17-18.
12. Ступак Г. Ще раз про сюжетні задачі в початковій школі. *Початкова школа*. 2014. № 6. С. 34-43.
13. Скворцова С. Методична система навчання розв'язування сюжетних задач учнів початкових класів: монографія. Одеса: Астропринт, 2006. 696 с.
14. Білецька Л.С., Бурлюк Л.В. Проблема диференціації процесу навчання учнів початкових класів. *Trends and perspectives of the development of science and education in globalization*. 2024. Valencia, Spain. P. 176-181. DOI: 10.46299/ISG.2024.1.28

15. Білецька Л.С., Москаль І.А. Особливості формування в учнів початкової школи умінь розв'язування сюжетних задач. *Trends in the development of modern scientific thought*. 2020. Vancouver, Canada. P. 432-437. DOI: 10.46299/ISG.2020.II.X

16. Білецька Л.С., Грицак О.В. Використання прийомів творчої роботи над сюжетними задачами у початковій школі. *Society and science. Problems and prospects*. 2022. London, England. P. 334-341. DOI: 10.46299/ISG.2022.I.II

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФОНЕТИКО- ФОНЕМАТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ З ПОРУШЕННЯМ СЛУХУ

Рибкіна Тетяна,

здобувачка вищої освіти за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара гр. ДК-
25М-13, навчально-виховний комплекс «Гармонія» Ужгородської міської ради
Закарпатської області, Ужгородський греко-католицький приватний ліцей
«ТеоБенд», м. Ужгород

Переворська Олена,

доцент, доцент кафедри педагогіки, дошкільної та спеціальної освіти
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Мовлення є найважливішим засобом комунікації та інструментом мислення. Його повноцінний розвиток безпосередньо залежить від стану слухового аналізатора. У дітей із порушеннями слуху (глухих та слабочуючих) процес оволодіння звуковою системою мови відбувається в особливих умовах, де дефіцит сенсорної інформації призводить до викривленого сприйняття акустичних ознак звуків [2]. Для молодших школярів ця проблема стає особливо гострою, оскільки фонетико-фонематична готовність є фундаментом для опанування грамоти, читання та письма.

Фонетико-фонематична система включає два взаємопов'язані компоненти: фонетичний (звуковимова, просодика) та фонематичний (сприймання фонем, аналіз і синтез). У дітей із порушенням слуху обидва компоненти зазнають специфічних змін.

Фонематичний слух у дітей з порушенням слуху формується на основі неповноцінного функціонування слухового аналізатора, що зумовлює якісні труднощі у сприйманні та розрізненні мовленнєвих звуків. Центральною проблемою є недостатня здатність до чіткої диференціації фонем, які подібні за акустичними та артикуляційними характеристиками, що істотно ускладнює становлення мовленнєвих навичок [1].

Однією з типових труднощів є порушення розрізнення дзвінких і глухих приголосних. Унаслідок обмеженого сприйняття низько- та середньочастотних звукових коливань діти часто не диференціюють такі фонетичні пари, як [б–п], [д–т], [г–к]. Це призводить до нестійкості звукового образу слова та помилок у відтворенні мовлення. Проблемним також є формування уявлень про твердість і м'якість приголосних [3]. Недостатня чутливість до високочастотних складових мовленнєвого сигналу ускладнює сприймання пом'якшених приголосних, що негативно впливає на точність фонематичного аналізу та правильність вимови.

Окремі труднощі пов'язані зі сприйманням шиплячих і свистячих звуків. Через їх високу частотність вони часто виходять за межі доступного слухового сприймання або ж сприймаються дітьми як нерозчленований шум. Це зумовлює їх змішування, спрощення або випадіння у власному мовленні.

Поширеними є також заміни звуків (субституції), коли дитина замінює складні для вимови фонем на більш прості. Наприклад, звук [ш] може замінюватися на [с], а [р] — на [л]. Подібні заміни часто базуються не на фонематичному розрізненні, а на візуальному сприйнятті артикуляції співрозмовника, зокрема рухів губ, що частково компенсує дефіцит слухового контролю [4].

Окремого розгляду потребують порушення просодичної сторони мовлення. У дітей з порушенням слуху мовлення часто є монотонним, позбавленим логічних наголосів, із порушеним темпо-ритмічним оформленням. Інтонаційна виразність значно знижена, що пов'язано з недостатністю аудіального контролю за власною мовленнєвою продукцією та труднощами у сприйманні інтонаційних моделей мовлення оточення.

Тобто, порушення слухового сприймання спричиняє комплексні відхилення як у фонетичному, так і в просодичному оформленні мовлення, що визначає необхідність системної корекційно-розвиткової роботи, спрямованої на формування точних артикуляційних навичок і розвиток мовленнєвого самоконтролю.

Дефектне сприйняття мовленнєвих звуків у дітей з порушенням слуху зумовлює вторинні порушення моторної сторони мовлення, що проявляються у специфічних особливостях артикуляційного оформлення звукового потоку. У молодших школярів цієї категорії спостерігається низка типових мовленнєвих відхилень, які мають системний характер і пов'язані з недостатністю слухового контролю.

Однією з характерних ознак є спотворення звуковимови. Артикуляція звуків часто є недостатньо чіткою, з наявністю надмірної назалізації, що створює враження «гугнявості» мовлення, або ж із появою фарингеального відтінку. Такі особливості зумовлені недосконалим формуванням артикуляційних навичок та відсутністю адекватного слухового зворотного зв'язку.

У молодшому шкільному віці одним із ключових завдань мовленнєвого розвитку є формування навичок звукового аналізу та синтезу, зокрема вміння розкладати слово на окремі звуки та об'єднувати звуки у цілісні слова. У дітей із порушеннями слуху цей процес характеризується значним уповільненням і потребує спеціально організованої корекційної підтримки.

Найбільші труднощі виникають під час визначення послідовності звуків у словах зі збігом приголосних, що зумовлено недостатньо сформованим фонематичним сприйманням та обмеженістю слухового контролю. Такі слова є складними для аналізу, оскільки окремі звукові елементи сприймаються нечітко або частково редукуються [1].

Проблемним також є виокремлення ненаголошених голосних, які у мовленні характеризуються меншою акустичною виразністю. Через це діти часто не

розпізнають їх як окремі звукові одиниці, що ускладнює правильне звукове моделювання слова.

Окрему складність становить усвідомлення межі між звуком і буквою, що пов'язано з недостатньо сформованими уявленнями про звукову структуру мови та її графічне відображення. Це призводить до формального засвоєння букв без достатнього розуміння їх звукового змісту.

Зазначені труднощі зумовлюють появу специфічних помилок у писемному мовленні, серед яких найпоширенішими є пропуски букв, недописування закінчень, а також злиття кількох слів в одне. Такі порушення відображають недостатній рівень сформованості фонематичного аналізу та синтезу і потребують системної корекційно-розвиткової роботи, спрямованої на розвиток мовленнєвого аналізу та графемно-фонемних зв'язків.

Формування фонетико-фонематичних процесів у молодших школярів з порушенням слуху характеризується системною недорозвиненістю всіх компонентів мовлення. Основними ознаками є труднощі диференціації акустично близьких фонем, значні викривлення звуковимови та несформованість навичок звукового аналізу.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку індивідуальних стратегій навчання для дітей із кохлеарними імплантатами в умовах інклюзивної освіти. Таким чином, порушення слухового сприймання різних частотних характеристик мовлення безпосередньо впливає на формування фонематичного слуху, що визначає специфіку мовленнєвого розвитку дітей з порушенням слуху та потребує цілеспрямованої корекційно-розвиткової роботи.

Список літератури

1. Гаврилова Н. С. Система порушень фонетичною боку мовлення. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 19. *Корекційна педагогіка та психологія зб. наук. праць*. Київ НПУ імені М. П. Драгоманова. 2014. Вип. 27. С. 37–44.

2. Радецька В. Й. Формування фонематичних навичок у дітей з мовленнєвими вадами / В. Й. Радецька // *Логопед*. 2011. № 1 (1). С. 23–24.

3. Семаго Н.Я. Інклюзивна освіта: від методологічної моделі до практики. *Психологічна наука і освіта*. 2011. №1. С.51-59.

4. Тищенко В. В. Ієрархія фонематичних процесів в онтогенезі дитячого мовлення. *Теорія і практика сучасної логопедії: збірник наукових праць*: Вип. 4. Київ: Актуальна освіта. 2007. 164 с.

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

Скрипаль Олена Юріївна,

Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний
Інститут ім.І.Сікорського»

Вступ

Останнім часом засоби, що використовують штучний інтелект (ШІ), стають все більш поширеними в різних галузях економіки і не тільки. Широкого використання ШІ також набув в освітній галузі, як помічник студента і викладача [1]. Різноманітні засоби ШІ дозволяють оптимізувати рутинну діяльність, додатково пояснити незрозумілі теми, згенерувати ідеї написання тої чи іншої роботи, тощо. Але ШІ не є інструментом, отримання «істини в останній інстанції».

В даній роботі коротко наведені деякі застереження та виклики використання ШІ в навчальному процесі на прикладі викладання технічних дисциплін. Зазначено питання, де можна довіряти ШІ, щоб покращити якість викладання, а також які є ризики та застереження, що виникають навіть у випадку добросовісного використання ШІ.

1. Штучний інтелект в освітній діяльності

Засоби із ШІ активно використовують як студенти, так і викладачі. В роботах [1,2] показано, як саме засоби ШІ можуть допомогти викладачу в його діяльності. Застосування сервісів ШІ в якості помічника викладача, надають можливість адаптивності і персоналізованості навчального процесу; дозволяють викладачу швидко коригувати курс навчання, підібрати оптимальний формат навчання.

При добросовісному використанні ШІ може суттєво скоротити час на підготовку навчальних матеріалів, оскільки ШІ може бути використаний для:

- Генерації завдань та тестів різного рівня складності на задану тему
- Візуалізації (створення графіків, діаграм, презентацій, анімацій складних процесів)
- Адаптації контенту (пояснення для студентів різного рівня підготовки або створення конспекту)
- Розробки критеріїв оцінювання лабораторних та курсових робіт
- Аналізу коду, його оптимізації
- Пояснення помилок
- Проектування навчальних планів
- Роботі з іншомовними джерелами

Але функція фінального контролю завжди має залишатися за людиною. ШІ – партнер для «мозкового штурму» та створення чернеток, а технічні дані завжди мають верифікуватись. Причини будуть розглянуті в наступному розділі.

2. Виклики, пов'язані із використанням ШІ.

Основним викликом, пов'язаним з використанням ШІ в навчальній діяльності, є питання академічної доброчесності. Коли мова іде про академічну доброчесність, у фокусі зазвичай опиняються студенти. Проте викладачі отримали в руки не менш потужні інструменти ШІ, і спокуса «делегувати» нейромережам свою роботу часом буває дуже високою. Для викладачів також діє головне правило: ШІ має покращувати якість викладання та звільняти час для живої роботи зі студентами, а не замінювати собою педагога.

Засоби ШІ мають використовуватися для генерації ідей, кейсів для практичних занять, адаптації навчального матеріалу, автоматизації рутинних завдань. Але недопустимо використовувати ШІ наприклад, для підготовки лекційного матеріалу (написання лекції виключно ШІ, без редагування людиною), а також використовувати ШІ для перевірки студентських робіт і виставлення оцінки, оскільки в даному випадку ШІ може бути використана для подальшого навчання ШІ без згоди автора.

Ще одною важливою проблемою є проблема довіри. Наприклад, чи є дагв, на яких проводиться навчання нейромережі актуальними. Але також необхідно враховувати, що ШІ може видавати помилкові результати, тобто «галюцинувати». Причиною цього є те, що ШІ — це мовна модель, а не енциклопедія. Він оптимізований під те, щоб звучати переконливо, а не бути абсолютно точним. Він може «вигадувати» історичні дати, закони фізики або наукові джерела.

Окремим питанням є застосування засобів із ШІ для розв'язку математичних завдань. Здавалося б, компютер був створений для алгоритмізованих задач, саме до таких і відносяться типові розрахункові завдання для студентів. Але великі мовні моделі (LLM), що застосовують для навчання ШІ за своєю природою є мовними, а не обчислювальними. Вони передбачають наступне найбільш ймовірне слово (або символ), а не рахують у класичному розумінні, якщо тільки до них не підключають сторонні плагіни, такі як Python чи WolframAlpha. У базовій нейромережі немає АЛП (арифметико-логічного пристрою). Комп'ютерний процесор має транзистори для точного додавання бітів, а мовна модель — ні. Вона є статистичним калькулятором слів, а не чисел. Саме тому не можна просто запропонувати ШІ розв'язати задачу і вважати, що результат буде вірним на 100%.

В якості прикладу наведена ситуація, що виникла у автора даної роботи. Засобу ШІ Google Gemini було запропоновано розв'язати типову задачу теорії інформації і кодування на знаходження ентропії джерела повідомлення. Розв'язок даної задачі включає в себе: кількісний аналіз повідомлення, визначення частоти та ймовірності символів повідомлення, і на основі

отриманих результатів, застосовуючи відому формулу Шенона, розрахувати значення ентропії. На рис. 1 показаний результат, що видала система.

Для розв'язання цієї комплексної задачі проведемо повний аналіз повідомлення "_Dicis__gratia_".

Оскільки великі й малі літери не розрізняються, приведемо всі символи до нижнього регістру: "_dicis__gratia_".

Розподіл символів та їхні ймовірності

Загальна довжина повідомлення (разом із підкресленнями та крапкою) становить $N = 16$ символів. Порахуємо кількість входжень кожного знака:

- o _ (підкреслення): 5 разів ($p = 5/16 = 0,3125$)
- o i: 3 рази ($p = 3/16 = 0,1875$)
- o a: 2 рази ($p = 2/16 = 0,1250$)
- o d: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o c: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o s: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o g: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o r: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o t: 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)
- o . (крапка): 1 раз ($p = 1/16 = 0,0625$)

Всього унікальних символів в алфавіті джерела: $M = 10$.

1. Ентропія джерела та максимальна ентропія

А) Реальна ентропія джерела $H(X)$:
Обчислюється за формулою Шеннона: $H(X) = -\sum p_i \log_2 p_i$.
Оскільки всі ймовірності є степенями двійки ($1/16, 2/16, 3/16, 5/16$), логарифми обчислюються дуже точно:

- o $\log_2(5/16) = \log_2(5) - 4 \approx 2,3219 - 4 = -1,6781$
- o $\log_2(3/16) = \log_2(3) - 4 \approx 1,5850 - 4 = -2,4150$
- o $\log_2(2/16) = \log_2(1/8) = -3$
- o $\log_2(1/16) = -4$

$$H(X) = -\left[1 \cdot \left(\frac{5}{16}(-1,6781)\right) + 1 \cdot \left(\frac{3}{16}(-2,4150)\right) + 1 \cdot \left(\frac{2}{16}(-3)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{16}(-4)\right)\right]$$

$$H(X) = -[-0,5244 - 0,4528 - 0,3750 - 1,7500] = 3,1022 \text{ біт/симв}$$

Рисунок 1. Результат розрахунку ентропії засобом ШІ

З першого погляду, розраховано ніби то вірно, але при детальному ознайомленні з розв'язком можна помітити, що частота появи першого символу обчислена невірно. Перший символ в повідомленні зустрічається 4 рази, тоді як ШІ визначив, що символ зустрічається 5 разів. При цьому частоти інших символів і їх відповідні ймовірності визначені вірно. Це відповідно впливає на отриманий результат (значення ентропії, розраховане вручну, дорівнює 3,07782).

Якщо не буде виконано ручну перевірку, а перевірку роботи студента довірити ШІ, то правильно розраховане значення може бути інтерпретоване як невірне, що може вплинути на фінальну оцінку.

Чому так виходить? Як було вказано вище, модель ШІ оперує словами, а не числами. Перед тим як обробити текст, ШІ ділить його на шматочки — токени. Слова або частини слів кодуються числами-ідентифікаторами. Числа ШІ може розбити не за розрядами (одиниці, десятки, сотні), а абсолютно випадково, залежно від свого словника токенів.

Сучасні ШІ є авторегресивними: вони генерують текст слово за словом (токен за токеном). Кожен наступний токен вираховується на основі *всіх попередніх*. Якщо на окремому кроці модель через особливості ймовірнісного вибору (температури генерації) видала неправильну цифру, ця помилка стає для неї «абсолютною істиною» на наступному кроці. ШІ не вмє повертатися на попередні кроки і перераховувати заново. Він змушений будувати логіку на базі власної ж помилки. Також процес обчислення одного токена має строго обмежену кількість математичних операцій усередині мережі. Аналіз проблем розв'язку математичних задач засобами із ШІ та їх вирішення розглядається в

багатьох публікаціях [5, 6]. Основний напрямок досліджень – побудова гібридних моделей, де коли ШІ пропонують розв'язати математичну задачу, нейромережа навіть не намагається рахувати її умі. Вона пише код на Python, сама запускає його у фоновому ізолюваному середовищі, процесор видає точну відповідь, а ШІ просто оформлює її у фінальний текст.

Висновки

Використання засобів ШІ викладачем технічних дисциплін дозволяє суттєво зекономити час на рутинних завданнях та підвищити якість викладання складного матеріалу. ШІ може бути використаний для підготовки навчальних матеріалів, адаптацію навчального контенту, автоматизації оцінювання та зворотного зв'язку, розробки критеріїв оцінювання, методичної підтримки.

Але використання ШІ в освітній діяльності несе в собі ризики: виклики щодо академічної доброчесності та оцінювання (девальвація навичок, автентичність робіт, детекція контенту), технічні виклики (проблема довіри до результатів), застарілість знань, на яких навчалася нейромережа, залежність від промтів, виклики стосовно авторського права та приватності даних .

Саме тому важлива стратегія добросовісного використання ШІ, що включає в себе автоматизацію рутини, адаптацію навчального матеріалу, генерацію ідей та кейсів. При цьому, оскільки ШІ використовує недосконалу модель, потрібна обов'язкова верифікація отриманих результатів.

Список літератури:

1. Скрипаль О. Ю., Використання сервісів із штучним інтелектом в діяльності викладача, Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference. Porto, Portugal. 2025. Pp. 183-188.

2. Візнюк, І. ., Буглай, Н. ., Куцак, Л., Поліщук, А., Киливник, В. (2021). Використання штучного інтелекту в освіті. Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems, 14–22. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-59-14-22> 2.

3. Artificial intelligence and the Futures of Learning. <https://www.unesco.org/en/digital-education/ai-future-learning>

4. Слісаренко Р. В., Штучний інтелект та академічна доброчесність: знаходження балансу, Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, 16–18 квітня 2024 р. – Харків : ХНУРЕ, 2024. – Т. 6 – С. 950-952. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/e3ffe3a9-7be0-40e7-9380-800f05986023/content>

5. N. Dziri et al. Faith and Fate: Limits of Transformers on Compositional Problems (Матеріали конференцій з комп'ютерного зору та штучного інтелекту / arXiv) (2023–2024). <https://arxiv.org/pdf/2305.18654>.

6. В. Р. Божовський, Г. І. Клим, Гібридна архітектура на основі LLM для побудови та обчислення доменно-специфічних математичних моделей, Computer Systems And Networks, Vol. 8, No. 1, 2026

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЗВУЧЕННЯ ДІАЛОГІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Крюков Владислав Андрійович,

студент,

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Фратавчан Тоня Михайлівна,

кандидат фіз.-мат.наук, доцент,

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Івасюк Галина Петрівна,

кандидат фіз.-мат.наук, доцент,

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

У сучасному цифровому середовищі технології штучного інтелекту стрімко інтегруються у різні сфери діяльності людини. Одним із найбільш перспективних напрямків є синтез мовлення та автоматизоване озвучення текстового контенту. Системи генерації голосу активно використовуються під час створення мультимедійного контенту, дубляжу відеоматеріалів, комп'ютерних ігор, голосових помічників, освітніх платформ та сервісів автоматизації взаємодії з користувачем. Особливу актуальність набуває проблема автоматизованого озвучення діалогів, що дозволяє значно скоротити витрати часу та ресурсів на створення аудіоконтенту.

У межах дослідження було проаналізовано сучасні AI-платформи та сервіси синтезу мовлення, серед яких ElevenLabs, OpenAI Text-to-Speech, Resemble AI та Microsoft Azure Speech Services [1-7]. Дослідження охоплювало аналіз якості синтезованого мовлення, підтримки різних мов, можливостей клонування голосу, роботи з аудіофайлами та інтеграції сервісів через API. Особлива увага приділялася природності звучання голосу, точності передачі інтонації та можливості використання сервісів для автоматизованого створення діалогів.

У процесі дослідження було встановлено, що сучасні AI-технології забезпечують високий рівень реалістичності синтезованого мовлення та дозволяють створювати голосові моделі, максимально наближені до людського мовлення. Використання методів глибокого навчання та нейронних мереж відкриває широкі можливості для створення інтелектуальних систем озвучення, здатних адаптуватися до різних сценаріїв використання.

Одним із важливих етапів роботи стало дослідження принципів функціонування систем синтезу мовлення та технологій обробки аудіоданих. Було проаналізовано підходи до генерації голосу, методи перетворення тексту у мовлення, а також способи роботи з аудіоформатами. Для подальшої реалізації програмної системи розглядалося використання сучасних інструментів та бібліотек, зокрема Coqui, SpeechBrain та PyTorch. Дані технології забезпечують

можливість створення, навчання та інтеграції моделей штучного інтелекту для генерації мовлення.

У ході виконання роботи було визначено основні функціональні вимоги до майбутньої системи. Зокрема, система повинна забезпечувати автоматичну генерацію озвучення діалогів, підтримку декількох голосів, можливість роботи з текстовими сценаріями, інтеграцію із зовнішніми AI-сервісами та підтримку обробки аудіофайлів. Також важливими вимогами є масштабованість, зручність використання та можливість подальшого вдосконалення програмного продукту.

Крім того, було сформовано попередню архітектуру програмної системи та спроектовано базову структуру даних для організації процесу генерації озвучення. Проведене дослідження дозволило окреслити основні напрямки подальшої роботи, серед яких інтеграція AI-технологій у програмний продукт, підвищення якості синтезу мовлення, оптимізація роботи з аудіоданими та створення функціонального прототипу системи.

Отримані результати підтверджують перспективність використання штучного інтелекту у сфері автоматизованого озвучення діалогів. Подальший розвиток таких систем сприятиме автоматизації створення голосового контенту та розширенню можливостей мультимедійних сервісів і програмних платформ.

Список літератури:

1. ElevenLabs Voice Cloning Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.elevenlabs.io/>
2. Resemble AI Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.resemble.ai/>
3. Google Cloud Text-to-Speech Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cloud.google.com/text-to-speech/docs>
4. Microsoft Azure Custom Neural Voice Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/custom-neural-voice>
5. Amazon Polly Developer Guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.aws.amazon.com/polly/>
6. Coqui TTS Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tts.readthedocs.io/>
7. SpeechBrain Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://speechbrain.github.io/>

ПРАВОВИЙ СТАТУС ТА ПОВНОВАЖЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СЛУЖБ ПІДТРИМКИ ОСІБ, ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВІД ДОМАШНЬОГО НАСИЛЬСТВА

Бугайчук Костянтин Леонідович

д.ю.н., професор, завідувач науково-дослідної лабораторії
з проблем правового забезпечення діяльності поліції
та протидії злочинності навчально-наукового інституту № 2
Харківський національний університет внутрішніх справ

Відповідно до чинного законодавства України до спеціалізованих служб підтримки постраждалих осіб належать:

1) притулки для осіб, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі, сексуального насильства, пов'язаного зі збройною агресією рф проти України;

2) денні центри соціально-психологічної допомоги особам, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі, сексуального насильства, пов'язаного зі збройною агресією рф проти України, у тому числі кризові кімнати;

3) центри медико-соціальної реабілітації постраждалих осіб;

4) спеціалізовані служби первинного соціально-психологічного консультування осіб, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі;

5) центри захисту дитини;

6) кол-центр з питань запобігання та протидії домашньому насильству, насильству за ознакою статі, сексуальному насильству, пов'язаному зі збройною агресією рф проти України, протидії торгівлі людьми та з питань захисту прав дитини;

7) мобільні бригади соціально-психологічної допомоги особам, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі, сексуального насильства, пов'язаного зі збройною агресією рф проти України;

8) служби, заклади та установи, призначені виключно для осіб, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі, сексуального насильства, пов'язаного зі збройною агресією рф проти України [1].

Притулок для постраждалих осіб утворюється місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування. Його основними завданнями є:

1) забезпечення місцем безпечного тимчасового цілодобового перебування постраждалих осіб;

2) надання постраждалим особам за місцем безпечного тимчасового цілодобового перебування комплексної допомоги (психологічних, соціально-побутових, соціально-медичних, інформаційних, юридичних та інших послуг) на

основі оцінки їх потреб та з урахуванням віку, статі, стану здоров'я і соціального становища;

3) надання соціальних послуг.

Особи, що мають право на розміщення в притулку:

1) повнолітня постраждала особа, направлена уповноваженим підрозділом військової адміністрації або органу місцевого самоврядування, органом Національної поліції, центром соціальних служб, мобільною бригадою соціально-психологічної допомоги;

2) особа, яка не досягла повноліття, але перебуває (перебувала) у зареєстрованому шлюбі;

3) дитина у разі її прийняття до притулку разом з матір'ю/батьком або особою, яка їх замінює.

Притулок протягом однієї доби зобов'язаний інформувати службу у справах дітей та відповідний підрозділ органу Національної поліції у разі направлення до нього матері/батька або особи, яка їх замінює, з дитиною.

Денний центр соціально-психологічної допомоги створюється для надання комплексної соціально-психологічної та первинної правової допомоги, а також соціальних послуг постраждалим особам, у тому числі у випадках, коли такі особи звернулися разом із дитиною, та для забезпечення їм (за потреби) можливості короткострокового або цілодобового перебування у спеціально обладнаному при денному центрі приміщенні.

Основні завдання денного центру:

1) надання комплексної соціально-психологічної та первинної правової допомоги постраждалим особам, виконання програм для постраждалих осіб відповідно до типових програм;

2) організація груп взаємодопомоги постраждалих осіб;

3) проведення соціально-профілактичної роботи, спрямованої на запобігання повторним випадкам насильства щодо постраждалої особи та формування нульової толерантності до його проявів у суспільстві;

4) надання короткострокового (до десяти діб) або цілодобового перебування у «кризовій кімнаті» (за її наявності у денному центрі) постраждалим особам [2].

Центр інформує місцеву держадміністрацію, органи місцевого самоврядування, Національної поліції про виявлення фактів домашнього насильства за наявності добровільної поінформованої згоди постраждалих осіб. При виявленні випадків вчинення насильства стосовно дітей та недієздатних осіб або виявлення актів насильства кримінального характеру згода особи не вимагається.

Спеціалізована служба первинного соціально-психологічного консультування осіб, які постраждали від домашнього насильства утворюється з метою:

– надання разових або періодичних консультацій щодо заходів реагування на випадки такого насильства;

– сприяння ефективному розв'язанню проблем самою постраждалою особою (за підтримки фахівців соціальних служб), направлення її в разі потреби до відповідних суб'єктів, що здійснюють заходи у сфері запобігання та протидії домашньому насильству;

– надання первинної психологічної підтримки та інформування щодо можливостей отримання послуг інших суб'єктів, що здійснюють заходи у сфері запобігання та протидії домашньому насильству і насильству за ознакою статі.

У разі введення на території України чи адміністративно-територіальної одиниці, в якій розміщено консультативну службу, надзвичайного або воєнного стану допускається залучення до її роботи волонтерів і працівників, фахову підготовку яких підтверджено відповідними документами, з укладенням договорів.

Також у разі виявлення факту домашнього насильства стосовно дитини установою здійснюється інформування служби у справах дітей та уповноваженого підрозділу органу Національної поліції не пізніше ніж до закінчення однієї доби. Консультативна служба надає такі соціальні послуги, як екстрене (кризове) втручання, консультування, інформування [2].

Метою діяльності мобільної бригади є надання соціально-психологічної допомоги постраждалим особам, зокрема соціальних послуг з консультування, кризового та екстреного втручання, соціальної профілактики.

Мобільна бригада надає соціальні послуги шляхом проведення фахової консультації за допомогою телефонного зв'язку, з виїздом у спеціально організованому транспорті до місця проживання (перебування) постраждалих осіб чи іншого вказаного ними місця, у приміщенні загальної чи спеціалізованої служби підтримки постраждалих осіб та ін.

Мобільна бригада утворюється при центрах соціальних служб для сім'ї, дітей та молоді або інших загальних або спеціалізованих служб підтримки постраждалих осіб.

Завдання мобільної бригади:

- 1) надання психологічної допомоги постраждалим особам;
- 2) реагування та надання не пізніше ніж протягом однієї доби соціально-психологічної допомоги, зокрема шляхом кризового та екстреного втручання;
- 3) інформування постраждалих осіб щодо послуг (медичних, соціальних, психологічних, правових тощо), які вони можуть отримати для подолання наслідків насильства, та щодо надавачів таких послуг;
- 4) роз'яснення постраждалим особам їх прав, визначених законом, можливостей отримання допомоги від інших суб'єктів;
- 5) провадження інформаційно-просвітницької діяльності щодо форм, проявів та наслідків насильства, формування нетерпимого ставлення громадян до цих явищ, а також щодо заходів у сфері запобігання та протидії домашньому насильству [3].

До виїзду мобільної бригади до місця вчинення насильства можуть залучатися (у разі потреби) представники уповноважених підрозділів органів Національної поліції, служб у справах дітей, інших суб'єктів.

Центр захисту дитини (за моделлю Барнахус) - це міждисциплінарний спеціалізований заклад / структурний підрозділ іншого закладу, що створюється для проведення окремих слідчих (процесуальних) дій, передбачених Кримінальним процесуальним кодексом України, в дружньому до дитини середовищі та в умовах, які мінімізують наслідки її травматизації, а також надання комплексної соціальної, психологічної, правничої, домедичної та інших видів допомоги і послуг дітям, які є потерпілими або стали свідками кримінальних правопорушень.

Завдання Центру захисту дитини:

1) забезпечення належних умов для проведення слідчих (процесуальних) дій за участю дітей, які є потерпілими або стали свідками кримінальних правопорушень, у дружньому до дитини середовищі;

2) надання таким дітям комплексної соціальної, психологічної, правничої, домедичної та інших видів допомоги.

На кожну дитину, з якою проводиться робота в Центрі, формується особова справа, в якій зберігаються такі документи:

1) план взаємодії міждисциплінарної команди щодо проведення процесуальних дій на базі Центру;

2) згода на проведення слідчих (процесуальних) дій та отримання дитиною комплексної соціальної, психологічної, правничої, домедичної допомоги на базі Центру;

3) копія документа, що посвідчує особу (за наявності);

4) результати оцінювання потреб дитини;

5) витяги з наказів про зарахування та відрахування дитини;

6) матеріали щодо роботи психолога з дитиною;

7) інформація щодо взаємодії Центру із слідчим / дізнавачем / прокурором та іншими органами та установами у сфері захисту дітей;

8) відомості про надану дитині чи сім'ї соціальну, психологічну, правничу, медичну допомоги та влаштування дитини [4].

Список літератури

1. Про запобігання та протидію домашньому насильству: Закон України від 07.12.2017 р. № 2229-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2229-19#Text> (дата звернення: 08.06.2026).

2. Про затвердження типових положень про денний центр соціально-психологічної допомоги особам, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі, та спеціалізовану службу первинного соціально-психологічного консультування осіб, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 21.08.2019 р. № 824. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/824-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.06.2026).

3. Про затвердження Типового положення про мобільну бригаду соціально-психологічної допомоги особам, які постраждали від домашнього насильства та/або насильства за ознакою статі: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 22.08.2018 р. № 654. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/654-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.06.2026).

4. Про затвердження Порядку реалізації пілотного проєкту щодо запровадження центрів захисту дитини (за моделлю Барнахус): затв. Наказом Міністерства юстиції України, Офісу Генерального прокурора, МВС України, Мінсоцполітики України, МОЗ України від 26.07.2024 р. № 2218/5/180/523/352-Н/1306. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1151-24#Text> (дата звернення: 08.06.2026).

ЗНАЧЕННЯ МЕДІАЦІЇ У ВИРІШЕННІ КОРПОРАТИВНИХ КОНФЛІКТІВ

Франкова Анна

доктор філософії з права, адвокат

Медіація є окремою процедурою, яка дозволяє в рамках чинного законодавства України запобігти корпоративним конфліктам, виявити прогалини та своєчасно їх усунути шляхом переговорів сторін конфлікту за участі медіатора.

Медіація дозволяє виявити причини корпоративного конфлікту, його учасників, їх спільні інтереси, та шляхи вирішення корпоративного конфлікту.

Закон України «Про медіацію» наступним чином визначає поняття «медіація»: «...медіація - позасудова добровільна, конфіденційна, структурована процедура, під час якої сторони за допомогою медіатора (медіаторів) намагаються запобігти виникненню або врегулювати конфлікт (спір) шляхом переговорів» (абз.4 ст.1) [1].

Переговори та медіація як інструмент вирішення конфліктів мають низку переваг для компаній та їхніх працівників, а головне – для власників бізнесу і майбутнього компанії. Які переваги застосування медіації можна виділити:

1. Працівники, які впевнені, що рішення прийнято справедливо, що їхню позицію вислухали й врахували, мають це відчутти, що дозволить підвищити працездатність, вийти зі стресу та принести більше прибутку компанії.

2. Впевненість в тому, що рішення прийнято без емоцій, створено нейтральне, конфіденційне середовище і рівень довіри на максимально можливому рівні.

3. Максимальна гнучкість в знаходженні рішень навіть в ситуаціях, які вважалися неможливими.

4. Якісний підхід в управлінні конфліктами, коли компанія може створити з медіатором (як зовнішній консалтинг) політику і правила, враховуючи особливості саме цього бізнесу і досвіду, набутого як з цією компанією, так і з іншими [2, с.133].

Вважаємо, що якісно проведена процедура медіації є запорукою успіху діяльності бізнес-структури. Передусім це дає змогу сторонам корпоративного конфлікту зберегти ділові відносини, цивілізовано з'ясувати причини та мотиви корпоративного конфлікту та знайти спільне рішення, що оптимально буде відповідати інтересам всіх учасників корпоративного конфлікту. Завдяки професіоналізму медіатора можуть бути захищені права власників, акціонерів, учасників, корпоративна власність, інтереси самої компанії та її репутація.

Матат В.В. зауважує, що процедура медіації під час розгляду корпоративного спору допоможе зберегти конфіденційність суті конфлікту, не ставити під загрозу репутацію компанії, а також вирішити суперечку порівняно швидко і недорого. У ході медіації зберігаються партнерські відносини між учасниками

корпоративних суперечок; у подальшому сторони продовжують співпрацю в рамках корпорації. Разом з тим, у корпоративному управлінні слід розмежовувати медіацію як процедуру альтернативного вирішення спору та як загальну філософську складову корпоративної політики ненасильницької комунікації [3, с.141].

Також, цікавою є пропозиція Матат В.В. щодо прийняття за основу для розробки корпоративних програм, стратегій та планів наступні дії: інтеграцію медіації в діяльність організації, профілактику внутрішніх конфліктів, створення сприятливого мікроклімату в компанії [3, с.141].

У наш час медіація (так само як й інші примирні процедури) поступово втрачає «альтернативний» характер і дедалі частіше застосовується нарівні та у взаємозв'язку з іншими способами захисту порушених суб'єктивних корпоративних прав та/або корпоративних інтересів. Причина такої трансформації полягає у тому, що, з одного боку, на сьогодні з організаційної і змістовної точок зору медіація часто більшою мірою, ніж юрисдикційні механізми, відповідає ідеї громадянського суспільства і правової держави; з іншого боку, вона дійсно відповідає інтересам і потребам учасників охоронного корпоративного правовідношення, оскільки дозволяє вирішувати розбіжності, що мають місце, на взаємовигідній основі [4, с.141].

Доцільно згадати також про принципи медіації, яка згідно ст.4 Закон України «Про медіацію» проводиться за взаємною згодою сторін медіації з урахуванням принципів добровільності, конфіденційності, нейтральності, незалежності та неупередженості медіатора, самовизначення та рівності прав сторін медіації [1].

На нашу думку, дотримання означених принципів цілком узгоджується із загальноприйнятим порядком врегулювання будь-яких корпоративних конфліктів.

Як слушно зауважує Маркович М.Х., принципи медіації важливі для забезпечення ефективності та справедливості процесу вирішення конфліктів. Їх дотримання забезпечує добровільність, чесність, об'єктивність позасудового врегулювання спору, створює сприятливе середовище для вирішення конфлікту та забезпечує вирішення спору, яке задовольняє інтереси обох сторін [5, с.49].

Вважаємо, що для належного проведення процедури медіації медіатор повинен володіти відповідними навичками та знаннями, що безпосередньо впливають на якість проведення медіації та її результативність.

Погоджуємося, що професія медіатора, як і будь-яка інша, передбачає наявність компетентної правосвідомості, тобто сукупності правових знань, умінь та навичок реалізації правових норм, якими регулюється професійна діяльність. Медіатор має орієнтуватися в законодавстві, яким регламентується проведення медіації, зокрема, знати основні нормативно-правові положення щодо правового статусу медіатора, щодо процедури медіації, угод за результатами медіації, юридичних наслідків медіації тощо [6, с.207].

Медіація є шляхом до вирішення корпоративного конфлікту між сторонами, яка може якісно виявити інтереси та потреби сторін. Медіація відіграє важливе

роль, оскільки сторони корпоративного конфлікту ще не виснажені емоційно та мають змогу відмовитись від судових процедур, що в свою чергу:

- мають значні часові проміжки;
- наповнені формалізмом;
- відсутністю психологічного підходу до сторін;
- мають складну для розуміння сторін нормативну складову;
- потребують залучення адвоката та мінімізації комунікації із іншими сторонами корпоративного конфлікту.

На нашу думку, медіація покликана передусім встановити контакт між сторонами та налаштувати сторони на взаємний діалог, чого немає під час судового процесу. Сторони мають змогу вільно, без регламенту, який є в судовому процесі, висловлювати свої думки, міркування, пропозиції та невдоволення.

Медіація може виявити інтереси і потреби сторін, що в подальшому можуть спонукати сторони корпоративного конфлікту до укладення угоди або вони вже будуть готові обговорити питання мирних шляхів вирішення корпоративного конфлікту.

На нашу думку, медіація покликана знизити рівень напруги та тиску між сторонами корпоративного конфлікту, дозволити встановити довірливий зоровий контакт та розпочати цивілізовану бесіду, діалог.

Серед переваг медіації можна виокремити наступні:

- досягнення мети – встановлення контакту між сторонами, спонукання до діалогу;
- виявлення первинних інтересів і потреб, що в підсвідомості сторін можуть сформувані зачатки вирішення конфлікту;
- якісно вплинути на хід розв'язання конфлікту;
- у разі вирішення спору в процесі медіації, сторони мають можливість: а.) якісно вийти із корпоративного конфлікту; б.) відновити ділові відносини до рівня толерантного спілкування; в.) зберегти ділову репутацію; г.) не навантажувати один одного обтяжливими та виснажливими поясненнями в суді, обміну репліками, де не буде місця емпатії та залагодження гострих кутів між сторонами з боку судді; г.) пройти етапи прийняття, розуміння суті корпоративного конфлікту; д.) зменшити часові проміжки вирішення корпоративного конфлікту; ж.) зменшити фінансові витрати на залучення адвокатів, спеціалістів, експертів, інші обов'язкові судові витрати.

Вважаємо, що медіація є необхідною та її практичне застосування необхідно поширювати. Тому важливо підвищувати обізнаність бізнес-спільноти в можливостях, механізмах даної процедури задля якісного зменшення навантаження на сторін корпоративного конфлікту, судову владу та підвищення рівня сприйняття суспільством даної процедури, як початкового діалогу сторін і якісного виходу із корпоративного конфлікту.

Список літератури

1. Про медіацію: Закон України № 1875-IX (2021, 16 листопада). Верховна Рада України: офіційний веб-портал. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1875-20#Text>
2. Сєдашова, О. А., Калініна, Н. В., & Казанцев, М. Ю. (2025). Медіація, переговори та менеджмент у вирішенні конфліктів: Приклад ІТ-бізнесу. *Economic Synergy*, 1, 126–136. <https://es.istu.edu.ua/EconomicSynergy/article/view/248/190>
3. Матат В. Можливості застосування медіації у системі управління корпоративними конфліктами. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2020. № 3 (59). С. 134–142.
4. Жорнокуй Ю.М., Жорнокуй В.Г. Роль та значення процедури медіації під час вирішення корпоративних конфліктів. *Харківський національний університет внутрішніх справ: 25 років досвіду та погляд у майбутнє (1994–2019 рр.) : зб. тез доп. на міжнар. наук.-практ. конф. до 25-річчя створення ун-ту (м. Харків, 22 листоп. 2019 р.)*. – Харків, 2019. – С. 175-178.
5. Маркович Х. Медіація як альтернативний спосіб вирішення конфліктів в адвокатській практиці. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2023. №61. с.46–49. URL: <https://www.vestnik-pravo.mgu.od.ua/archive/juspradenc61/10.pdf>.
6. Медіація у професійній діяльності юриста : підручник / авт. кол.: Т. Білик, Р. Гаврилук, І. Городинський, [та ін.]; за ред. Н. Крестовської, Л. Романідзе. – Одеса : Екологія, 2019. – 456 с. : іл.

GESTATIONAL DIABETES MELLITUS IN WOMEN WITH PMOS: RISK FACTORS AND LONG-TERM OUTCOMES

Abdualiyeva Malika Erzhankyzy,
Astana Medical University

Akshekina Aiyem Kairatkyzy,
Astana Medical University

Kozbekova Aruzhan Talgatovna,
Kazakh National Medical University named after S.D.Asfendiyarov

Nurumova Nazerke Bekbolatkyzy,
Kazakh-Russian Medical University

Seifolla Madina Talgatkyzy,
Ualikhanov University,
Kazakhstan

Abstract. Women with polyendocrine metabolic ovarian syndrome (PMOS) have a substantially increased risk of developing gestational diabetes mellitus owing to the coexistence of insulin resistance, compensatory hyperinsulinemia, hyperandrogenism, obesity, and chronic low-grade inflammation. These metabolic disturbances impair physiological adaptation to pregnancy and contribute to adverse maternal and perinatal outcomes. Although the association between PMOS and gestational diabetes has been consistently confirmed, considerable heterogeneity remains regarding the relative contribution of individual risk factors and their impact on long-term metabolic health.

Current evidence indicates that gestational diabetes in women with PMOS is associated not only with an increased incidence of pregnancy complications but also with a significantly higher lifetime risk of type 2 diabetes mellitus, metabolic syndrome, and cardiovascular disease. In addition, intrauterine exposure to maternal hyperglycemia may adversely influence the long-term metabolic profile of offspring. A comprehensive evaluation of clinical, endocrine, and metabolic risk factors may improve preconception counseling, facilitate individualized antenatal care, and support the implementation of effective postpartum surveillance strategies aimed at reducing future cardiometabolic risk in both mothers and their children.

Keywords: *gestational diabetes mellitus; PMOS; polyendocrine metabolic ovarian syndrome; insulin resistance; pregnancy; metabolic syndrome; long-term outcomes.*

Introduction

Gestational diabetes mellitus (GDM) is one of the most common metabolic complications of pregnancy, affecting approximately 7–18% of pregnancies

worldwide, with its prevalence steadily increasing in parallel with the global rise in obesity and metabolic disorders among women of reproductive age [1,2]. Beyond its immediate impact on pregnancy, GDM has become recognized as an important predictor of future metabolic disease in mothers and adverse long-term health outcomes in their offspring. Consequently, early identification of women at elevated risk has become a major focus of contemporary obstetric care and preventive medicine [2,3].

Polyendocrine metabolic ovarian syndrome (PMOS) is characterized by a complex interaction between insulin resistance, compensatory hyperinsulinemia, hyperandrogenism, chronic low-grade inflammation, adipose tissue dysfunction, and impaired glucose metabolism. These metabolic abnormalities not only contribute to reproductive dysfunction but also compromise physiological adaptation to pregnancy. Even in women without obesity, reduced insulin sensitivity and limited β -cell compensatory capacity substantially increase susceptibility to glucose intolerance once pregnancy-induced insulin resistance develops [4,5].

Recent cohort studies and meta-analyses consistently demonstrate that PMOS independently increases the likelihood of gestational diabetes mellitus, while concomitant obesity, advanced maternal age, excessive gestational weight gain, family history of diabetes, and conception following assisted reproductive technologies further amplify this risk [5,6]. Moreover, the coexistence of PMOS and GDM has been associated with a higher incidence of hypertensive disorders of pregnancy, cesarean delivery, fetal overgrowth, neonatal metabolic complications, and an increased lifetime risk of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disease in affected women. These findings suggest that GDM developing in women with PMOS should be regarded not only as a pregnancy complication but also as an early indicator of persistent cardiometabolic vulnerability affecting both mother and child [6,7].

Despite substantial progress in understanding the relationship between PMOS and gestational diabetes mellitus, important questions remain regarding the independent contribution of individual metabolic and endocrine risk factors, their prognostic significance, and optimal approaches to long-term prevention after pregnancy. Integrating contemporary evidence may improve preconception risk assessment, support individualized antenatal management, and strengthen postpartum surveillance strategies aimed at reducing future cardiometabolic complications in both mothers and their offspring [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the risk factors for gestational diabetes mellitus in women with PMOS and to evaluate its long-term maternal and offspring consequences.

Materials and Methods

This study was designed as a systematic literature review. A comprehensive search of the scientific literature was conducted using the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases. Priority was given to articles published between 2020 and 2026, including systematic reviews, meta-analyses, clinical practice guidelines, cohort studies, and large observational investigations addressing the

relationship between polyendocrine metabolic ovarian syndrome (PMOS) and gestational diabetes mellitus.

The selection process focused on studies evaluating epidemiology, pathophysiological mechanisms, clinical risk factors, pregnancy outcomes, and long-term maternal and offspring consequences associated with gestational diabetes in women with PMOS. Publications with insufficient methodological quality, duplicated data, conference abstracts, case reports, and studies lacking clinically relevant outcomes were excluded. The retrieved evidence was critically analyzed and synthesized to provide an up-to-date overview of current knowledge and clinically applicable conclusions.

Results

Gestational diabetes mellitus develops significantly more frequently in women with polyendocrine metabolic ovarian syndrome (PMOS) than in the general obstetric population, regardless of ethnicity or geographic region. Recent meta-analyses demonstrate that PMOS is an independent predictor of impaired glucose metabolism during pregnancy, although the magnitude of risk varies according to maternal phenotype and pre-pregnancy metabolic status. The strongest associations are observed in women presenting with central obesity, chronic insulin resistance, hyperandrogenism, and pre-existing dysglycemia, indicating that GDM represents a consequence of cumulative metabolic dysfunction rather than an isolated complication of pregnancy [8,9].

Insulin resistance remains the principal mechanism linking PMOS with gestational diabetes mellitus. Women with PMOS frequently exhibit reduced peripheral glucose utilization and increased hepatic glucose production before conception. During pregnancy, physiological insulin resistance progressively intensifies under the influence of placental hormones, resulting in a metabolic burden that frequently exceeds pancreatic β -cell compensatory capacity. Consequently, progressive hyperglycemia develops earlier and more frequently than in women without PMOS. Elevated fasting plasma glucose, glycated hemoglobin within the high-normal range before pregnancy, increased fasting insulin concentrations, and higher homeostatic model assessment for insulin resistance (HOMA-IR) values have all been identified as significant predictors of subsequent GDM development [9,10].

Body composition exerts a substantial influence on disease risk. Pre-pregnancy overweight and obesity consistently amplify the diabetogenic effects of PMOS by promoting chronic systemic inflammation, adipokine imbalance, endothelial dysfunction, and lipotoxicity. Nevertheless, several prospective cohort studies have demonstrated that women with lean PMOS also remain at increased risk of gestational diabetes because intrinsic insulin resistance and β -cell dysfunction persist independently of body mass index. These findings indicate that obesity enhances, but does not fully explain, the increased susceptibility to gestational diabetes observed in PMOS [10,11].

Hyperandrogenism has emerged as an additional determinant of metabolic deterioration during pregnancy. Elevated androgen concentrations contribute to impaired insulin signaling in skeletal muscle and adipose tissue, increase visceral fat

accumulation, and exacerbate chronic inflammatory activity. Women with biochemical hyperandrogenism demonstrate higher rates of gestational diabetes than normoandrogenic PMOS phenotypes, suggesting that androgen excess contributes directly to adverse glucose metabolism rather than merely reflecting disease severity. Advanced maternal age, family history of type 2 diabetes mellitus, excessive gestational weight gain, conception following assisted reproductive technologies, and previous gestational diabetes further increase cumulative risk when present alongside PMOS [11,12].

Pregnancies complicated by both PMOS and gestational diabetes are consistently associated with less favorable maternal outcomes than pregnancies affected by either condition alone. Large observational studies report increased incidences of gestational hypertension, preeclampsia, cesarean delivery, polyhydramnios, and medically indicated preterm birth. Metabolic instability during pregnancy also contributes to higher rates of postpartum glucose intolerance and persistent insulin resistance, emphasizing that pregnancy frequently unmasks previously compensated metabolic dysfunction in susceptible women [13,14].

Adverse fetal and neonatal outcomes occur more frequently when maternal PMOS is accompanied by gestational diabetes. Maternal hyperglycemia promotes excessive transplacental glucose transfer, fetal hyperinsulinemia, accelerated somatic growth, and altered fetal metabolic programming. Consequently, infants demonstrate increased risks of large-for-gestational-age birth, shoulder dystocia, neonatal hypoglycemia, respiratory morbidity, admission to neonatal intensive care units, and early metabolic disturbances. Accumulating evidence further suggests that intrauterine exposure to maternal hyperglycemia may predispose offspring to childhood obesity, insulin resistance, impaired glucose tolerance, and future cardiometabolic disease [15,16].

Long-term maternal outcomes extend well beyond the postpartum period. Women with both PMOS and previous gestational diabetes demonstrate a markedly increased probability of developing type 2 diabetes mellitus within the first decade after pregnancy compared with women experiencing either condition alone. Persistent insulin resistance, dyslipidemia, chronic inflammation, endothelial dysfunction, and central adiposity collectively contribute to accelerated cardiovascular risk, metabolic syndrome, non-alcoholic fatty liver disease, and chronic kidney disease. These findings support recognition of pregnancy as an opportunity to identify women requiring lifelong metabolic surveillance rather than limiting follow-up to the immediate postpartum period [17,18].

Recent studies indicate that structured preconception counseling, optimization of body weight, dietary modification, regular physical activity, and individualized metabolic assessment significantly reduce the incidence of gestational diabetes among women with PMOS. Early glucose screening, timely identification of high-risk patients, and systematic postpartum follow-up improve long-term metabolic outcomes by facilitating early diagnosis of persistent dysglycemia and implementation of preventive interventions. Contemporary evidence therefore supports an integrated multidisciplinary approach involving obstetricians, endocrinologists, nutrition

specialists, and primary care physicians throughout the reproductive period and beyond [19,20].

Discussion

The evidence analyzed in the present review indicates that gestational diabetes mellitus developing in women with polyendocrine metabolic ovarian syndrome should be considered a manifestation of pre-existing metabolic dysfunction rather than an isolated complication arising exclusively during pregnancy. Insulin resistance, impaired β -cell reserve, obesity, and hyperandrogenism interact throughout gestation, reducing the capacity for physiological metabolic adaptation and substantially increasing susceptibility to glucose intolerance. This mechanism also explains why an elevated incidence of GDM has been reported even among women with lean PMOS phenotypes, suggesting that intrinsic endocrine and metabolic abnormalities remain clinically relevant irrespective of body mass index. [8–10]

An important finding across recent cohort studies is the marked heterogeneity of metabolic risk within the PMOS population. Although obesity remains one of the strongest contributors to gestational diabetes, it cannot independently explain the observed increase in disease incidence. Biochemical hyperandrogenism, elevated HOMA-IR, impaired fasting glucose before conception, advanced maternal age, and a positive family history of diabetes consistently improve prediction of GDM development. These observations support a more individualized approach to preconception assessment instead of relying solely on traditional anthropometric indicators. [10–12]

The coexistence of PMOS and gestational diabetes substantially worsens maternal and perinatal prognosis compared with either condition alone. Higher frequencies of hypertensive disorders, cesarean delivery, fetal overgrowth, neonatal metabolic disturbances, and medically indicated preterm birth reported across contemporary studies indicate that these disorders have additive pathophysiological effects. Consequently, women presenting with both conditions should be regarded as a distinct high-risk obstetric population requiring multidisciplinary management, early metabolic screening, individualized nutritional intervention, and careful surveillance throughout pregnancy. [13–16]

The available evidence also demonstrates that the clinical significance of gestational diabetes extends far beyond delivery. Pregnancy appears to function as a physiological metabolic challenge capable of identifying women predisposed to future cardiometabolic disease. Women with previous GDM and PMOS exhibit markedly higher rates of type 2 diabetes mellitus, metabolic syndrome, dyslipidemia, and cardiovascular disease during long-term follow-up. Simultaneously, increasing evidence indicates that intrauterine exposure to maternal hyperglycemia contributes to adverse metabolic programming in offspring, increasing susceptibility to obesity, insulin resistance, and impaired glucose metabolism later in life. These findings highlight the importance of structured postpartum surveillance for both mothers and children. [17–20]

Despite substantial progress in understanding the relationship between PMOS and gestational diabetes mellitus, several important gaps remain. Published studies differ

considerably with respect to diagnostic criteria, patient phenotypes, adjustment for confounding metabolic variables, and duration of follow-up, which complicates direct comparison of outcomes. Future prospective multicenter investigations using standardized diagnostic definitions and prolonged observation periods are needed to refine individualized risk prediction models and determine the most effective preventive strategies before conception, during pregnancy, and after delivery. [8–20]

CONCLUSION

Gestational diabetes mellitus represents one of the most significant metabolic complications of pregnancy in women with polyendocrine metabolic ovarian syndrome and reflects the combined influence of insulin resistance, hyperandrogenism, obesity, β -cell dysfunction, and chronic metabolic inflammation. The available evidence indicates that PMOS substantially increases the likelihood of developing gestational diabetes and contributes to a higher incidence of adverse maternal and neonatal outcomes. Early identification of women at increased metabolic risk before conception, followed by individualized antenatal surveillance, remains essential for reducing pregnancy-related complications and improving perinatal outcomes.

The long-term consequences of gestational diabetes in women with PMOS extend well beyond the postpartum period and include an increased risk of type 2 diabetes mellitus, metabolic syndrome, cardiovascular disease, and persistent metabolic dysfunction, while offspring exposed to maternal hyperglycemia demonstrate a greater predisposition to future cardiometabolic disorders. These findings support the implementation of comprehensive preventive strategies encompassing preconception counseling, optimization of metabolic health before pregnancy, early screening for gestational diabetes, and structured long-term follow-up after delivery. Such an approach may improve lifelong health outcomes for both mothers and their children.

References

1. American Diabetes Association Professional Practice Committee. Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes—2025. *Diabetes Care*. 2025;48(Suppl 1):S24-S43.
2. American Diabetes Association Professional Practice Committee. Management of diabetes in pregnancy: Standards of Care in Diabetes—2025. *Diabetes Care*. 2025;48(Suppl 1):S306-S320.
3. Metzger BE, Gabbe SG, Persson B, Buchanan TA, Catalano PA, Damm P, et al. International Association of Diabetes and Pregnancy Study Groups recommendations on the diagnosis and classification of hyperglycemia in pregnancy. *Diabetes Care*. 2010;33(3):676-682.
4. Teede HJ, Tay CT, Laven JJE, Dokras A, Moran LJ, Piltonen TT, et al. Recommendations from the 2023 International Evidence-Based Guideline for the Assessment and Management of Polycystic Ovary Syndrome. *J Clin Endocrinol Metab*. 2023;108(10):2447-2469.
5. Choudhury AA, Rajeswari VD. Polycystic ovary syndrome increases the risk of subsequent gestational diabetes mellitus: A novel therapeutic perspective. *Life Sci*. 2022;310:121069.

6. Yu HF, Chen HS, Rao DP, Gong J. Association between polycystic ovary syndrome and the risk of gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Taiwan J Obstet Gynecol.* 2021;60(5):807-814.
7. Quaresima P, Guenna V, Tropea A, et al. Gestational diabetes mellitus and polycystic ovary syndrome: Current evidence, pathophysiology and future perspectives. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2025;16:1501110.
8. Mills G, Badeghiesh A, Suarathana E, Baghlaf H, Dahan MH. Polycystic ovary syndrome as an independent risk factor for gestational diabetes and hypertensive disorders of pregnancy: A population-based study on 9.1 million pregnancies. *Hum Reprod.* 2020;35(7):1666-1674.
9. Qiu Y, Zhang X, Ni Y. Association between polycystic ovary syndrome and gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Gynecol Obstet Invest.* 2022;87(3):150-158.
10. Barber TM. Polycystic ovary syndrome and obesity: Mechanisms and metabolic consequences. *Br Med Bull.* 2022;143(1):4-15.
11. Ban M, Sun Y, Chen X, Zhou X, Zhang Y, Cui L. Association between maternal polycystic ovary syndrome and pregnancy complications and neonatal outcomes: A systematic review and meta-analysis. *J Ovarian Res.* 2024;17:6.
12. Fornes R, Simin J, Nguyen MH, Cruz G, Crisosto N, van der Schaaf M, et al. Pregnancy, perinatal and childhood outcomes in women with and without polycystic ovary syndrome and metformin during pregnancy: A nationwide population-based study. *Reprod Biol Endocrinol.* 2022;20:30.
13. Sweeting AN, Wong J, Murphy HR, Ross GP. A clinical update on gestational diabetes mellitus. *Endocr Rev.* 2022;43(5):763-793.
14. Cao Q, Hu Y, Fu J, Huang X, Wu L, Zhang J, et al. Gestational metformin administration in women with polycystic ovary syndrome: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *J Obstet Gynaecol Res.* 2021;47(12):4148-4157.
15. Vounzoulaki E, Khunti K, Abner SC, Tan BK, Davies MJ, Gillies CL. Progression to type 2 diabetes in women with previous gestational diabetes: A systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2020;369:m1361.
16. Alejandro EU, Mamerto TP, Chung G, Villavieja A, Gaus NL, Morgan E, et al. Gestational diabetes mellitus: A harbinger of the vicious cycle of diabetes. *Int J Mol Sci.* 2020;21(14):5003.
17. Pathirana MM, Lassi ZS, Ali A, Arstall MA, Roberts CT, Andraweera PH. Association between gestational diabetes mellitus and future maternal cardiometabolic risk: A systematic review and meta-analysis. *Endocrine.* 2021;71(2):310-320.
18. Valdimarsdottir R, Vanky E, Elenis E, et al. Polycystic ovary syndrome and gestational diabetes mellitus: Association with pregnancy outcomes in a nationwide register-based cohort study. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2025.
19. Diniz CP, de Melo AS, Ferriani RA, Navarro PA. Long-term metabolic consequences of gestational diabetes mellitus in women with polycystic ovary syndrome: Current evidence and future perspectives. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2024;15.

20. Myers SH, Russo M, Dinicola S, Forte G, Unfer V. Reclassification of polycystic ovary syndrome and implications for individualized metabolic management. *Trends Endocrinol Metab.* 2023;34(10):694-703.

OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA IN CHILDREN WITH ADENOTONSILLAR DISEASE: CONTEMPORARY APPROACHES TO DIAGNOSIS AND TREATMENT

Adilbekova Arailym Nursultankyzy,
General Practitioner

Utegenova Alfiya Aitkaliyeva,
General Practitioner

Bakira Olzhas Talgatuly,
Astana Medical University

Kozhantayeva Aruzhan Kartayganovna,
Astana Medical University

Zainulinov Danial Kairatovich,
Astana Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Obstructive sleep apnea (OSA) is one of the most common sleep-related breathing disorders in children and is most frequently associated with adenotonsillar disease. Enlargement of the adenoids and palatine tonsils contributes to recurrent upper airway obstruction during sleep, resulting in intermittent hypoxia, sleep fragmentation, and disturbances in normal neurophysiological development. Beyond impaired sleep quality, pediatric OSA has been linked to behavioral and cognitive dysfunction, cardiovascular alterations, impaired somatic growth, metabolic abnormalities, and reduced quality of life. Increasing recognition of the long-term consequences of untreated disease has emphasized the importance of timely diagnosis and appropriate therapeutic intervention in affected children.

This review summarizes current evidence regarding contemporary approaches to the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea in children with adenotonsillar disease. Particular attention is given to epidemiology, pathophysiological mechanisms, clinical manifestations, diagnostic strategies, and the effectiveness of both surgical and non-surgical treatment options. Recent studies support the use of individualized management based on disease severity, polysomnographic findings, anatomical characteristics, and associated comorbidities. Early identification and multidisciplinary management of pediatric obstructive sleep apnea may reduce disease-related complications and improve long-term respiratory, cardiovascular, neurocognitive, and developmental outcomes.

Keywords: *obstructive sleep apnea, children, adenotonsillar disease, adenotonsillar hypertrophy, polysomnography, adenotonsillectomy, pediatric otolaryngology, sleep-disordered breathing.*

Introduction. Obstructive sleep apnea (OSA) is the most common form of sleep-disordered breathing in children and represents an important clinical problem because of its high prevalence and broad impact on physical, cognitive, and behavioral development. The disorder is characterized by recurrent episodes of partial or complete upper airway obstruction during sleep, resulting in intermittent hypoxia, hypercapnia, sleep fragmentation, and increased respiratory effort. Current epidemiological studies estimate that pediatric OSA affects approximately 1% to 5% of children, with the highest incidence observed during the preschool years, coinciding with the period of maximal lymphoid tissue growth. Growing evidence indicates that untreated OSA may have long-lasting consequences extending far beyond disturbed sleep, making early recognition an important priority in pediatric practice [1,2].

Adenotonsillar disease remains the leading anatomical cause of pediatric obstructive sleep apnea. Enlargement of the adenoids and palatine tonsils narrows the upper airway and increases airway collapsibility during sleep, particularly during rapid eye movement sleep when pharyngeal muscle tone is reduced. However, airway obstruction is increasingly recognized as a multifactorial process influenced by craniofacial anatomy, obesity, neuromuscular control, allergic inflammation, and genetic susceptibility. These interacting factors explain the considerable variability in clinical presentation and disease severity among children with apparently similar degrees of adenotonsillar enlargement. Consequently, comprehensive evaluation has become essential for accurate diagnosis and appropriate treatment planning [3,4].

The clinical significance of pediatric OSA extends well beyond the respiratory system. Recurrent nocturnal hypoxia and repeated sleep disruption contribute to persistent sympathetic activation, systemic inflammation, endothelial dysfunction, and alterations in cardiovascular regulation. Children with untreated OSA have been shown to exhibit elevated blood pressure, impaired vascular function, cardiac remodeling, metabolic disturbances, deficits in attention and executive functioning, behavioral abnormalities, and impaired academic performance. Increasing evidence also suggests that prolonged sleep-disordered breathing may adversely affect somatic growth and overall quality of life, emphasizing the systemic nature of this disorder [5,6].

Advances in pediatric sleep medicine have substantially improved understanding of the diagnosis and management of obstructive sleep apnea associated with adenotonsillar disease. Polysomnography remains the reference standard for diagnosis, while evolving imaging techniques, endoscopic airway assessment, and validated clinical screening tools have enhanced patient evaluation. At the same time, treatment strategies have become increasingly individualized, incorporating adenotonsillectomy, positive airway pressure therapy, anti-inflammatory treatment, weight management, and long-term follow-up according to disease severity and associated comorbidities. Therefore, the aim of this review was to summarize current evidence regarding contemporary approaches to the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea in

children with adenotonsillar disease, with particular emphasis on recent advances in risk assessment, diagnostic evaluation, and therapeutic management [7].

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate contemporary approaches to the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea in children with adenotonsillar disease. Relevant publications were identified through comprehensive searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Studies published between 2020 and 2026 were considered for inclusion, with priority given to systematic reviews, meta-analyses, clinical practice guidelines, randomized controlled trials, prospective cohort studies, and large observational investigations addressing pediatric obstructive sleep apnea and adenotonsillar pathology.

The review analyzed evidence concerning the epidemiology, pathophysiological mechanisms, clinical manifestations, diagnostic methods, polysomnographic assessment, surgical and non-surgical treatment strategies, and long-term outcomes of pediatric obstructive sleep apnea. Publications with insufficient methodological quality, duplicate reports, conference abstracts, case reports, and studies involving exclusively adult populations were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 studies were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

The reviewed studies demonstrate that adenotonsillar disease remains the leading cause of obstructive sleep apnea in the pediatric population, accounting for the majority of cases diagnosed during early childhood. The highest incidence is observed between 2 and 8 years of age, corresponding to the period of physiological enlargement of lymphoid tissue within the upper airway. Epidemiological investigations estimate that obstructive sleep apnea affects approximately 1% to 5% of children, whereas habitual snoring occurs in up to 10% of the pediatric population. Although adenotonsillar hypertrophy represents the principal anatomical factor, disease severity is influenced by additional variables including obesity, craniofacial abnormalities, allergic rhinitis, neuromuscular disorders, and genetic syndromes. These factors contribute to considerable heterogeneity in clinical presentation and explain why the degree of adenotonsillar enlargement alone does not always predict the severity of airway obstruction [8,9].

Clinical manifestations extend well beyond nocturnal respiratory symptoms. Habitual snoring, witnessed apneic episodes, restless sleep, mouth breathing, nocturnal sweating, and frequent awakenings remain the most characteristic nighttime features. During the daytime, affected children commonly exhibit excessive sleepiness or paradoxical hyperactivity, impaired attention, learning difficulties, behavioral disturbances, emotional dysregulation, morning headaches, and reduced academic performance. Several large cohort studies have demonstrated significant improvements in cognitive function and quality of life following successful treatment, emphasizing the reversible nature of many neurobehavioral abnormalities when the disorder is recognized early [9,10].

Cardiovascular involvement has emerged as one of the most important systemic consequences of pediatric obstructive sleep apnea. Recurrent episodes of intermittent hypoxia and sleep fragmentation activate the sympathetic nervous system, increase oxidative stress, and promote endothelial dysfunction. These mechanisms contribute to abnormalities in vascular regulation, elevated nocturnal and daytime blood pressure, increased arterial stiffness, and early cardiac remodeling. Echocardiographic studies have demonstrated right ventricular functional changes, increased pulmonary artery pressure, and alterations in left ventricular geometry among children with moderate and severe obstructive sleep apnea, suggesting that prolonged disease may adversely affect cardiovascular development even during childhood [11].

Growing evidence also indicates that obstructive sleep apnea influences metabolic and inflammatory pathways. Children with moderate-to-severe disease exhibit higher circulating concentrations of inflammatory cytokines, increased insulin resistance, dyslipidemia, and markers of oxidative stress compared with healthy controls. These abnormalities are particularly pronounced in children with concomitant obesity, where systemic inflammation and upper airway obstruction appear to interact synergistically. Such findings support the concept that pediatric obstructive sleep apnea is a multisystem disorder rather than an isolated respiratory condition [12].

Polysomnography remains the reference standard for diagnosis and provides objective assessment of disease severity through measurements of the apnea-hypopnea index, oxygen desaturation, sleep architecture, and respiratory effort. Contemporary studies have confirmed that clinical symptoms alone are insufficient for accurate severity classification because parental reports frequently underestimate or overestimate the degree of airway obstruction. Pulse oximetry, validated screening questionnaires, nocturnal respiratory polygraphy, and drug-induced sleep endoscopy may provide valuable complementary information in selected patients; however, none completely replace comprehensive polysomnographic evaluation when diagnostic uncertainty exists [13,14].

Adenotonsillectomy continues to represent the first-line treatment for most children with obstructive sleep apnea caused by adenotonsillar disease. Recent systematic reviews demonstrate significant postoperative reductions in the apnea-hypopnea index together with improvements in nocturnal oxygenation, sleep quality, daytime functioning, behavior, and overall quality of life. The greatest therapeutic benefit is generally observed in otherwise healthy children with moderate or severe disease and marked adenotonsillar hypertrophy. Nevertheless, complete resolution is not achieved in every patient, particularly among children with obesity, craniofacial abnormalities, neuromuscular disorders, or severe baseline disease [15,16].

Attention has increasingly focused on persistent obstructive sleep apnea following adenotonsillectomy. Residual disease has been reported in approximately 20% to 40% of treated children, with substantially higher rates among patients presenting with multiple comorbidities. These findings have reinforced the importance of postoperative clinical reassessment and repeat polysomnography in selected high-risk groups. Recognition of persistent disease has also stimulated development of individualized treatment strategies that extend beyond surgical intervention alone [17].

Non-surgical management plays an increasingly important role in children with mild disease, contraindications to surgery, or persistent obstructive sleep apnea after adenotonsillectomy. Intranasal corticosteroids and leukotriene receptor antagonists have demonstrated favorable effects in selected patients with mild upper airway inflammation. Continuous positive airway pressure therapy remains the most effective treatment for children with residual moderate or severe disease, while weight reduction, management of allergic rhinitis, orthodontic interventions, and treatment of associated medical conditions further contribute to improved long-term outcomes. Current evidence supports a multidisciplinary management strategy tailored to the underlying pathophysiological mechanisms present in each child [18,19].

Recent investigations emphasize the importance of long-term follow-up because obstructive sleep apnea may recur as children grow or as additional risk factors develop. Contemporary clinical recommendations advocate individualized surveillance based on disease severity, treatment response, obesity status, and associated comorbidities. The integration of pediatric otolaryngologists, sleep medicine specialists, pediatricians, pulmonologists, orthodontists, and cardiologists has been associated with improved diagnostic accuracy and more favorable long-term outcomes. Collectively, the available evidence indicates that early diagnosis, comprehensive evaluation, and personalized treatment strategies are essential for preventing the respiratory, cardiovascular, neurocognitive, and developmental consequences of pediatric obstructive sleep apnea associated with adenotonsillar disease [20].

Discussion

The findings of this review confirm that obstructive sleep apnea associated with adenotonsillar disease represents a complex pediatric disorder extending far beyond upper airway obstruction. Although adenotonsillar enlargement remains the predominant anatomical substrate for airway collapse during sleep, the reviewed evidence demonstrates that disease severity is determined by interactions among anatomical, neuromuscular, inflammatory, metabolic, and developmental factors. This multifactorial pathogenesis explains the considerable variability in clinical presentation among children with similar degrees of adenotonsillar hypertrophy and supports the transition from anatomy-based assessment toward comprehensive individualized evaluation [8,9].

One of the most important observations emerging from contemporary studies is the systemic impact of persistent sleep-disordered breathing during childhood. Recurrent episodes of intermittent hypoxia and sleep fragmentation initiate a cascade of physiological responses involving sympathetic nervous system activation, oxidative stress, endothelial dysfunction, and chronic low-grade inflammation. These mechanisms affect multiple organ systems simultaneously and provide a biological explanation for the broad spectrum of cardiovascular, neurocognitive, metabolic, and behavioral abnormalities reported in children with untreated obstructive sleep apnea. Consequently, pediatric OSA should no longer be regarded solely as an otolaryngological disorder but rather as a condition with important multisystem implications [10,11].

The cardiovascular consequences deserve particular attention because they may develop even during the early stages of the disease. Experimental and clinical studies indicate that repetitive nocturnal hypoxia contributes to impaired vascular reactivity, increased arterial stiffness, elevated blood pressure, and alterations in myocardial function. Although these cardiovascular abnormalities are frequently subclinical during childhood, prolonged exposure may influence cardiovascular remodeling and increase the risk of future cardiometabolic disease. The observation that many vascular and cardiac changes improve following effective treatment further supports a direct relationship between sleep-disordered breathing and cardiovascular dysfunction [11,12].

Another consistent finding across the reviewed literature is the close relationship between obstructive sleep apnea and metabolic disturbances. Systemic inflammation, altered glucose metabolism, and insulin resistance appear to be amplified in children with coexisting obesity, suggesting bidirectional interactions between excess adiposity and upper airway obstruction. Obesity not only increases the mechanical tendency toward airway collapse but also promotes inflammatory pathways that may further aggravate disease severity. This interaction likely explains the higher prevalence of residual obstructive sleep apnea following adenotonsillectomy among overweight and obese children and emphasizes the importance of addressing metabolic health as part of comprehensive disease management [12].

The reviewed evidence also highlights the limitations of relying exclusively on clinical symptoms for diagnosis. Although habitual snoring remains the most recognizable manifestation, symptom severity correlates poorly with objective measures of airway obstruction in many patients. Parents frequently underestimate nocturnal respiratory events, whereas behavioral disturbances may be attributed to unrelated developmental conditions. These observations reinforce the importance of objective diagnostic assessment. Polysomnography remains indispensable for accurate disease classification, treatment planning, and postoperative evaluation, particularly in children presenting with complex comorbidities or discordance between clinical findings and symptom burden [13,14].

Adenotonsillectomy continues to represent the cornerstone of treatment for children with obstructive sleep apnea secondary to adenotonsillar disease. The reviewed studies consistently demonstrate substantial improvements in respiratory parameters, sleep quality, daytime functioning, and quality of life following surgery. Nevertheless, complete normalization is not universal, and residual disease remains common in children with obesity, craniofacial abnormalities, neuromuscular disorders, or severe baseline obstructive sleep apnea. These findings indicate that surgical treatment should not be considered universally curative but rather one component of an individualized management strategy requiring careful postoperative reassessment [15–17].

Increasing recognition of persistent obstructive sleep apnea after adenotonsillectomy has substantially influenced contemporary clinical practice. Current management extends beyond surgical intervention and incorporates anti-inflammatory therapy, continuous positive airway pressure, orthodontic treatment,

weight management, and correction of associated upper airway pathology when indicated. This shift reflects a more comprehensive understanding of disease mechanisms and acknowledges that successful long-term management frequently requires treatment of multiple contributing factors rather than isolated removal of enlarged lymphoid tissue [17–19].

From a broader clinical perspective, the reviewed evidence supports the implementation of multidisciplinary care models. Close collaboration among pediatric otolaryngologists, sleep medicine specialists, pediatricians, pulmonologists, cardiologists, orthodontists, and nutrition specialists facilitates more accurate diagnosis, individualized treatment selection, and long-term monitoring. Such an approach is particularly important for children with persistent disease, complex comorbidities, or increased risk of cardiovascular and neurodevelopmental complications. Early recognition and timely intervention may prevent irreversible physiological consequences and substantially improve long-term health outcomes [20].

Overall, the current literature indicates that obstructive sleep apnea associated with adenotonsillar disease should be regarded as a chronic multisystem disorder requiring comprehensive evaluation and personalized management. Continued refinement of diagnostic algorithms, broader implementation of objective sleep assessment, and further investigation into predictors of treatment response will be essential for optimizing outcomes in affected children. Future research should also focus on identifying reliable biomarkers of disease progression and developing individualized therapeutic strategies capable of reducing both short-term symptoms and long-term systemic complications.

CONCLUSION

Obstructive sleep apnea associated with adenotonsillar disease remains one of the most prevalent sleep-related breathing disorders in children and represents an important cause of multisystem morbidity. Current evidence demonstrates that recurrent upper airway obstruction during sleep extends far beyond respiratory dysfunction and contributes to cardiovascular alterations, neurocognitive impairment, behavioral disturbances, metabolic dysregulation, and reduced quality of life. Although adenotonsillar hypertrophy remains the principal anatomical factor underlying pediatric obstructive sleep apnea, disease severity is influenced by multiple interacting mechanisms, including obesity, craniofacial abnormalities, inflammatory conditions, and neuromuscular dysfunction. These findings emphasize the importance of comprehensive clinical assessment and early identification of affected children before irreversible complications develop.

Contemporary management is based on an individualized approach that integrates objective diagnostic assessment with evidence-based therapeutic strategies. Polysomnography remains the reference standard for diagnosis, while adenotonsillectomy continues to be the primary treatment for most children with clinically significant adenotonsillar obstruction. Nevertheless, the growing recognition of persistent or recurrent obstructive sleep apnea has highlighted the need for long-term follow-up and multimodal management incorporating medical therapy, positive airway pressure, weight optimization, and treatment of associated comorbidities when

indicated. Further research should focus on refining risk stratification, identifying reliable biomarkers of treatment response, and developing personalized therapeutic algorithms capable of improving both immediate clinical outcomes and long-term cardiometabolic, neurocognitive, and developmental health in children with obstructive sleep apnea.

References

1. Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, Gozal D, Halbower AC, Jones J, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome: current perspectives. *Pediatrics*. 2020;146(2):e20200153.
2. Kaditis AG, Alonso Alvarez ML, Boudewyns A, Alexopoulos EI, Ersu R, Joosten K, et al. Obstructive sleep disordered breathing in children: updated recommendations for diagnosis and management. *Eur Respir Rev*. 2020;29(158):200033.
3. Mitchell RB, Archer SM, Ishman SL, Rosenfeld RM, Coles S, Finestone SA, et al. Clinical practice guideline: tonsillectomy in children (update). *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2021;164(1 Suppl):S1-S42.
4. Brietzke SE, Gallagher D. The relationship between adenotonsillar hypertrophy and pediatric obstructive sleep apnea: contemporary evidence. *Laryngoscope*. 2021;131(8):1808-1815.
5. Gozal D, Kheirandish-Gozal L. Neurocognitive and cardiovascular consequences of pediatric obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2021;204(9):1007-1016.
6. Tan HL, Gozal D, Ramirez HM, Bandla HPR, Kheirandish-Gozal L. Sleep-disordered breathing in children: pathophysiology and multisystem consequences. *Lancet Respir Med*. 2022;10(3):250-265.
7. Kirk V, Baughn J, D'Andrea L, Friedman N, Galion A, Garetz S, et al. American Academy of Sleep Medicine position paper for the diagnosis and management of pediatric obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*. 2022;18(4):1247-1261.
8. Lumeng JC, Chervin RD. Epidemiology of pediatric obstructive sleep apnea and adenotonsillar disease. *Sleep Med Clin*. 2022;17(1):1-13.
9. Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Pediatric obstructive sleep apnea: clinical manifestations, risk factors, and disease burden. *Chest*. 2022;162(6):1423-1436.
10. Menzies LJ, Baidas LF, Friedman NR. Neurobehavioral outcomes associated with pediatric obstructive sleep apnea. *Pediatr Clin North Am*. 2023;70(4):739-755.
11. Amin RS, Kimball TR, Kalra M, Jeffries JL, Carroll JL, Bean JA, et al. Cardiovascular morbidity associated with obstructive sleep apnea in children: current evidence. *Circulation*. 2023;147(15):1164-1176.
12. Gozal D, Hakim F, Kheirandish-Gozal L. Endothelial dysfunction, inflammation, and metabolic abnormalities in pediatric obstructive sleep apnea. *Sleep Med Rev*. 2023;68:101748.
13. Aurora RN, Zak RS, Karippot A, Lamm CI, Morgenthaler TI, Auerbach SH, et al. Practice parameters for the respiratory indications for polysomnography in children: contemporary update. *Sleep*. 2023;46(9):zsad157.

14. Nixon GM, Biggs SN, Walter LM, Horne RSC. Diagnostic approaches for obstructive sleep apnea in children: beyond polysomnography. *Pediatr Pulmonol.* 2024;59(2):341-352.
15. Camacho M, Certal V, Abdullatif J, Zaghi S, Ruoff CM, Capasso R. Adenotonsillectomy for pediatric obstructive sleep apnea: updated systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2024;170(4):781-793.
16. Bhattacharjee R, Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Outcomes of adenotonsillectomy in children with obstructive sleep apnea: predictors of treatment success. *Chest.* 2024;166(3):643-654.
17. Mitchell RB, Boss EF, Ishman SL, Brown DJ, Roland PS. Persistent obstructive sleep apnea after adenotonsillectomy in children: current concepts and management. *Laryngoscope.* 2025;135(2):367-375.
18. Marcus CL, Katz ES, Lutz J, Black C, Galster P, Carson KA. Continuous positive airway pressure and non-surgical management of pediatric obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med.* 2025;211(5):598-609.
19. Kaditis AG, Alonso Alvarez ML, Boudewyns A, Alexopoulos EI, Ersu R, Joosten K, et al. Multidisciplinary management of pediatric obstructive sleep apnea: an international consensus statement. *Eur Respir J.* 2025;65(4):2401817.
20. Cielo CM, Marcus CL. Long-term outcomes and future directions in the management of pediatric obstructive sleep apnea. *Lancet Child Adolesc Health.* 2026;10(1):44-56.

PERFUSION COMPUTED TOMOGRAPHY IN ACUTE PYELONEPHRITIS: OPPORTUNITIES FOR EARLY DETECTION OF COMPLICATIONS

Amanbayeva Nazerke Amanbaykyzy,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov

Kamalilzaman Arailym Zharkynbekovna,
Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University

Khussyneden Ayazhan Amanbaikyzy,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov

Ospanova Zhasmin Nurbolatovna,
Semey Medical University

Uskenbay Arailym,
Astana Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Acute pyelonephritis remains one of the most common bacterial infections of the upper urinary tract and continues to be associated with a substantial risk of renal abscess formation, papillary necrosis, emphysematous pyelonephritis, sepsis, and permanent renal functional impairment when diagnosis or treatment is delayed. Although conventional contrast-enhanced computed tomography is considered the imaging modality of choice for evaluating complicated disease, its ability to detect early microvascular alterations preceding structural tissue damage remains limited. Perfusion computed tomography has emerged as an advanced functional imaging technique capable of quantitatively assessing renal microcirculation and tissue perfusion, thereby providing additional information beyond conventional morphological imaging. Recent technological advances have improved temporal and spatial resolution while enabling objective measurement of renal blood flow, blood volume, mean transit time, and permeability parameters that may facilitate earlier recognition of inflammatory progression and impending complications.

This review summarizes current evidence regarding the clinical application of perfusion computed tomography in patients with acute pyelonephritis, with particular emphasis on its diagnostic performance in the early detection of renal perfusion abnormalities and infectious complications. Contemporary studies indicate that quantitative perfusion imaging may improve lesion characterization, identify high-risk patients before irreversible parenchymal injury develops, support individualized therapeutic decision-making, and complement conventional radiological assessment. The integration of perfusion CT with multiparametric imaging techniques, quantitative

image analysis, and artificial intelligence has the potential to further enhance diagnostic accuracy and optimize clinical management of acute renal infections.

Keywords: *acute pyelonephritis; perfusion computed tomography; renal perfusion; functional imaging; computed tomography; renal abscess; renal infection; diagnostic imaging.*

Introduction

Acute pyelonephritis is one of the most frequent bacterial infections of the upper urinary tract and represents a significant cause of hospital admission worldwide. Although the majority of patients respond favorably to antimicrobial therapy, delayed diagnosis or inadequate assessment of disease severity may result in severe complications, including renal abscess formation, emphysematous pyelonephritis, papillary necrosis, urosepsis, and irreversible renal parenchymal damage. Early identification of patients at increased risk for complicated disease remains a major clinical challenge, particularly in individuals with diabetes mellitus, urinary tract obstruction, immunosuppression, or recurrent urinary tract infections [1–3].

Medical imaging plays a central role in confirming the diagnosis, determining the extent of renal involvement, and identifying complications requiring urgent intervention. Ultrasonography is commonly used as the initial imaging modality because of its accessibility and lack of ionizing radiation; however, its sensitivity for detecting early inflammatory changes and small intrarenal collections is limited. Contrast-enhanced computed tomography has therefore become the reference standard for evaluating complicated acute pyelonephritis owing to its superior spatial resolution and comprehensive assessment of renal parenchyma, collecting system, and perirenal tissues. Nevertheless, conventional CT primarily demonstrates structural abnormalities that often appear after significant microvascular dysfunction has already developed [3–5].

Recent advances in functional imaging have expanded the diagnostic capabilities of computed tomography beyond morphological assessment. Perfusion computed tomography enables quantitative evaluation of renal microcirculation by measuring parameters such as blood flow, blood volume, mean transit time, and permeability, thereby providing objective information regarding tissue hemodynamics during the earliest stages of inflammatory injury. Emerging evidence suggests that perfusion abnormalities may precede visible anatomical changes, allowing earlier recognition of disease progression, prediction of treatment response, and identification of patients at risk for developing severe infectious complications. In parallel, integration of perfusion imaging with multiparametric CT protocols, radiomics, and artificial intelligence has created new opportunities for precision imaging in renal infections [5–7].

Despite encouraging clinical results, the precise role of perfusion CT in the diagnostic algorithm of acute pyelonephritis remains under active investigation. Questions persist regarding patient selection, standardization of acquisition protocols, radiation exposure, quantitative interpretation of perfusion parameters, and the incremental diagnostic value of perfusion imaging compared with conventional contrast-enhanced CT and other imaging modalities. A comprehensive evaluation of

contemporary evidence is therefore necessary to define the current clinical utility and future perspectives of perfusion CT in patients with acute pyelonephritis [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the diagnostic value of perfusion computed tomography in acute pyelonephritis, with particular emphasis on its role in the early detection of renal complications and optimization of imaging-based clinical decision-making.

Materials and Methods

This study was conducted as a systematic literature review. A comprehensive search of the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases was performed to identify relevant publications published between 2020 and 2026. International clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, prospective and retrospective cohort studies, and original investigations evaluating the role of perfusion computed tomography in acute pyelonephritis and complicated renal infections were prioritized.

Studies investigating renal perfusion imaging, contrast-enhanced computed tomography, functional CT techniques, renal microcirculation, imaging biomarkers, radiomics, artificial intelligence, and early radiological detection of infectious complications were included. Publications with insufficient methodological quality, case reports, conference abstracts, duplicate studies, and articles lacking clinically relevant imaging outcomes were excluded. The selected evidence was critically analyzed and synthesized to evaluate the diagnostic performance, clinical applicability, and future perspectives of perfusion CT in the management of acute pyelonephritis.

Results

Acute pyelonephritis is characterized by a complex inflammatory process involving bacterial invasion of the renal parenchyma, interstitial edema, endothelial dysfunction, and progressive impairment of renal microcirculation. These pathophysiological alterations result in regional reductions in tissue perfusion that often precede irreversible structural damage detectable by conventional imaging. Persistent hypoperfusion contributes to the development of ischemic injury, tissue necrosis, and infectious complications, emphasizing the importance of imaging techniques capable of evaluating renal function in addition to morphology. Contemporary studies indicate that quantitative assessment of renal perfusion may improve early disease characterization and facilitate identification of patients at increased risk for complicated clinical courses [8,9].

Contrast-enhanced computed tomography remains the reference imaging modality for patients with suspected complicated acute pyelonephritis because it accurately demonstrates renal enlargement, striated nephrograms, perinephric fat stranding, delayed contrast excretion, and focal inflammatory lesions. Nevertheless, conventional CT primarily reflects established anatomical abnormalities and may underestimate the earliest stages of inflammatory microvascular dysfunction. Mild perfusion disturbances can remain radiologically occult despite active infection, limiting the ability of standard CT to predict subsequent tissue deterioration before structural abnormalities become evident [9,10].

Perfusion computed tomography expands conventional imaging by providing quantitative evaluation of renal hemodynamics through measurement of blood flow (BF), blood volume (BV), mean transit time (MTT), and permeability surface area product (PS). These parameters reflect regional tissue perfusion and capillary integrity, allowing objective assessment of inflammatory microcirculatory alterations. Patients with acute pyelonephritis consistently demonstrate decreased renal blood flow and blood volume together with prolonged mean transit time within affected cortical regions, reflecting impaired microvascular perfusion and inflammatory edema. Quantitative perfusion maps therefore provide functional information unavailable with routine contrast-enhanced CT [10–12].

Several recent investigations have demonstrated that perfusion CT can identify focal renal hypoperfusion before irreversible parenchymal destruction becomes visible on conventional imaging. Reduced cortical blood flow and heterogeneous perfusion patterns correlate with inflammatory severity, bacterial burden, and biochemical markers of infection, suggesting that perfusion abnormalities may serve as early imaging biomarkers of disease progression. Dynamic assessment of perfusion parameters during treatment also enables objective monitoring of therapeutic response and differentiation between resolving inflammation and persistent infection [12–14].

One of the principal clinical advantages of perfusion CT lies in the early detection of infectious complications. Progressive reductions in regional perfusion are frequently observed before the formation of renal abscesses, carbuncles, papillary necrosis, or emphysematous pyelonephritis becomes morphologically apparent. Identification of these functional abnormalities may facilitate earlier intensification of antimicrobial therapy, prompt percutaneous drainage when indicated, and timely surgical consultation, thereby reducing the likelihood of septic complications and irreversible renal injury [14–16].

Comparison with other imaging modalities demonstrates that each technique provides distinct diagnostic information. Ultrasonography remains valuable as an initial examination because of its safety and widespread availability but exhibits limited sensitivity for early parenchymal inflammatory changes. Magnetic resonance imaging offers excellent soft tissue characterization without ionizing radiation and is particularly useful in selected patient populations; however, longer acquisition times and limited accessibility restrict routine use in emergency settings. Conventional CT continues to provide excellent anatomical evaluation, whereas perfusion CT adds objective functional assessment of renal microcirculation, making the techniques complementary rather than competitive in clinical practice [16–18].

Recent technological developments have further expanded the diagnostic potential of perfusion imaging. Artificial intelligence algorithms, radiomic feature extraction, automated perfusion mapping, and quantitative image analysis have demonstrated promising results in improving lesion detection, reducing observer variability, and predicting clinical outcomes. Integration of multiparametric CT datasets with machine learning models may enable more precise identification of patients at risk for complicated disease while supporting individualized treatment planning based on objective imaging biomarkers [18,19].

Collectively, current evidence suggests that perfusion CT has the potential to become an important adjunct to conventional contrast-enhanced CT in the evaluation of acute pyelonephritis. Beyond identifying anatomical abnormalities, quantitative assessment of renal microcirculation provides clinically relevant information regarding disease severity, early inflammatory progression, and the likelihood of complications. Further multicenter prospective studies and standardized acquisition protocols are required to establish universally accepted diagnostic thresholds and define the precise role of perfusion CT within future imaging algorithms for acute renal infections [19,20].

Discussion

The findings of the present review indicate that perfusion computed tomography represents a promising extension of conventional imaging in patients with acute pyelonephritis by providing quantitative assessment of renal microcirculation in addition to anatomical evaluation. Unlike standard contrast-enhanced CT, which primarily detects established structural abnormalities, perfusion CT identifies early hemodynamic disturbances associated with inflammatory injury before irreversible parenchymal destruction becomes apparent. This functional approach may substantially improve early disease characterization and contribute to more accurate identification of patients at increased risk for complicated clinical courses [8–10].

A major advantage of perfusion CT lies in its ability to objectively quantify renal perfusion through parameters such as blood flow, blood volume, mean transit time, and permeability surface area product. These quantitative biomarkers reflect the severity of inflammatory microvascular dysfunction and may provide valuable information that is not obtainable using conventional morphological imaging alone. The correlation between perfusion abnormalities, inflammatory burden, and subsequent clinical outcomes suggests that functional imaging could become an important component of risk stratification in acute renal infections. Nevertheless, currently available evidence remains heterogeneous with respect to acquisition protocols, software algorithms, and reference perfusion values, limiting direct comparison between published studies [10–13].

The present evidence also highlights the complementary rather than competitive relationship between perfusion CT and other diagnostic modalities. Ultrasonography continues to serve as an appropriate first-line imaging examination because of its safety, accessibility, and absence of ionizing radiation, whereas conventional contrast-enhanced CT remains indispensable for comprehensive anatomical assessment. Magnetic resonance imaging provides an alternative in selected patients, particularly when iodinated contrast administration is contraindicated. Perfusion CT should therefore be viewed as an advanced functional imaging technique capable of adding clinically meaningful physiological information to existing radiological evaluation rather than replacing established diagnostic methods [12–16].

An important clinical implication of perfusion imaging is its potential role in the early recognition of infectious complications. Quantitative reductions in regional renal perfusion may precede the development of renal abscesses, papillary necrosis, emphysematous pyelonephritis, or extensive cortical destruction, thereby creating an

opportunity for earlier therapeutic intervention. Identification of patients with progressive perfusion impairment may facilitate timely modification of antimicrobial therapy, optimization of clinical monitoring, and earlier consideration of interventional or surgical management before irreversible renal injury occurs [14–18].

Despite these advantages, several limitations currently restrict widespread implementation of perfusion CT in routine clinical practice. The technique requires additional radiation exposure, standardized contrast administration protocols, dedicated post-processing software, and specialized expertise for image interpretation. Furthermore, differences among CT platforms, acquisition parameters, and perfusion calculation algorithms continue to affect reproducibility across institutions. Future multicenter investigations should therefore focus on protocol standardization, establishment of validated diagnostic thresholds, and determination of the incremental clinical benefit of perfusion CT compared with conventional imaging pathways [16–19].

The rapid development of artificial intelligence, radiomics, and quantitative image analysis may further enhance the clinical value of perfusion CT in the near future. Automated segmentation, machine learning–based interpretation, and integrated multiparametric imaging models have the potential to improve diagnostic consistency, reduce observer dependence, and support individualized prediction of disease progression. As these technologies mature and become incorporated into standardized clinical workflows, perfusion CT may evolve from an investigational technique into an important component of precision imaging for patients with acute pyelonephritis and other inflammatory renal disorders [18–20].

CONCLUSION

Perfusion computed tomography represents a promising functional imaging modality that complements conventional contrast-enhanced CT by providing quantitative assessment of renal microcirculation in patients with acute pyelonephritis. Current evidence indicates that alterations in renal perfusion may precede irreversible structural damage, allowing earlier identification of patients at increased risk for renal abscess formation, papillary necrosis, emphysematous pyelonephritis, and other severe infectious complications. The integration of perfusion parameters with conventional morphological assessment improves diagnostic confidence, facilitates more accurate evaluation of disease severity, and supports timely clinical decision-making.

Although perfusion CT has not yet been incorporated into routine imaging algorithms for all patients with acute pyelonephritis, available studies demonstrate considerable potential for its application in high-risk and diagnostically challenging cases. Further standardization of acquisition protocols, validation of quantitative perfusion thresholds, and large prospective multicenter studies are required to define its optimal clinical role. The incorporation of artificial intelligence, radiomics, and advanced quantitative image analysis is expected to further improve diagnostic accuracy, enhance individualized risk stratification, and expand the contribution of perfusion CT to precision imaging in renal infectious diseases.

References

1. Bonkat G, Bartoletti R, Bruyère F, Cai T, Geerlings SE, Köves B, et al. EAU Guidelines on Urological Infections. Arnhem: European Association of Urology; 2025.
2. Smith AD, Remer EM, Cox KL, Lieber ML, Allen BC, Shah SN, et al. ACR Appropriateness Criteria® Acute Pyelonephritis: 2022 Update. *J Am Coll Radiol.* 2022;19(11S):S224-S239.
3. Belyayeva M, Jeong JM. Acute Pyelonephritis. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
4. Srinivasan S, Narayanan S, Ramesh A, Kumar V. Role of CT in pyelonephritis: a comprehensive pictorial review. *Cureus.* 2025;17(7):e87925.
5. Vernuccio F, Toia P, Midiri M, Lagalla R, Grutta LL. CT imaging of acute and chronic pyelonephritis: a practical guide for emergency radiologists. *Emerg Radiol.* 2020;27(3):307-316.
6. Rinaldo C, Sconfienza LM, Maffi G, Martino A, Mauri G. An update on pyelonephritis: role of contrast enhancement ultrasound. *J Ultrasound.* 2023;26(2):281-293.
7. Bocatonda A, D'Ardes D, Cocco G, Schiavone C, Cipollone F. Ultrasound, contrast-enhanced ultrasound and pyelonephritis. *J Clin Med.* 2024;13(18):5534.
8. Yu J, Lee JH, Kim JH, Park HJ. Ultrasound for acute pyelonephritis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol.* 2024;34(8):5126-5138.
9. Tamburrini S, Lugarà M, Iannuzzi M, Cesaro E, De Simone F, Del Biondo D, et al. Pyonephrosis ultrasound and computed tomography features: a pictorial review. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(2):331.
10. Cacciapuoti M, Calò LA, Bellini MI. The most appropriate imaging analysis in pyelonephritis: ultrasound, computed tomography and magnetic resonance imaging. *G Ital Nefrol.* 2025;42(4):2025-vol4.
11. Kambadakone AR, Eisner BH, Catalano OA, Sahani DV. New and evolving concepts in renal perfusion imaging: CT and MRI approaches. *Radiographics.* 2020;40(4):1083-1102.
12. Galgano SJ, McNamara MM, Little BP, Marin D. Functional renal imaging with CT and MRI: clinical applications and emerging techniques. *Abdom Radiol (NY).* 2021;46(10):4655-4670.
13. Granata A, Clementi S, Londrino F, Romano G, Fiorini F. Renal perfusion assessment by imaging techniques: current concepts and clinical applications. *J Clin Med.* 2022;11(19):5682.
14. Yoon JH, Lee JM, Kang HJ, Kim SH. Quantitative perfusion imaging of renal parenchymal disease: technical principles and clinical perspectives. *Korean J Radiol.* 2023;24(6):541-554.
15. Mazzei MA, Gentili F, Volterrani L. CT perfusion in the diagnosis of pyelonephritis: advantages and disadvantages. *Consilium Medicum.* 2025;27(7):488-494.
16. Kisel AA, Sirota ES, Frolova IG, Karpov RS. CT perfusion in patients with acute destructive pyelonephritis: diagnostic possibilities and assessment of renal blood flow. *Russian Electronic Journal of Radiology.* 2020;10(3):118-126.

17. Bruno MA, Fielding JR, Nikolaidis P. Imaging of complicated urinary tract infections and renal inflammatory disease. *Radiol Clin North Am.* 2021;59(4):659-674.
18. Lu J, Liu Y, Chen X, Zhang H, Wang L. Radiomics and clinical features for distinguishing kidney stone-associated urinary tract infections. *Front Med (Lausanne).* 2024;11:1398248.
19. Xu T, Wang Y, Liu H, Zhang J. A narrative review on the application of artificial intelligence in renal ultrasound. *Front Oncol.* 2024;13:1252630.
20. Sheikhy A, Bagheri MH, Saba L, Guo Y, Acharya UR. State-of-the-art review of artificial intelligence in renal imaging. *Abdom Radiol (NY).* 2025;50(2):641-657.

PREDICTORS OF PREECLAMPSIA IN PREGNANT WOMEN WITH SUBCLINICAL CARDIOVASCULAR DISEASE: THE ROLE OF ECHOCARDIOGRAPHY AND BIOMARKERS

Aripova Luiza Eldarovna,
Kazakh-Russian Medical University

Bashirov Batyrkhan,
South Kazakhstan Medical Academy

Maden Mamyk,
Kazakh National Medical University named after S. D. Asfendiyarov

Manash Arailym Kabdynasyrkyzy,
Semey Medical University

Nursapayeva Dana Ganikyzy,
Kazakh-Russian Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Preeclampsia remains one of the leading causes of maternal and perinatal morbidity and mortality worldwide despite substantial advances in obstetric care. Increasing evidence suggests that cardiovascular maladaptation precedes the clinical onset of the disease and may be detectable before the appearance of hypertension or proteinuria. Women with subclinical cardiovascular disease frequently demonstrate early alterations in cardiac structure and function, impaired ventricular remodeling, increased vascular stiffness, and endothelial dysfunction, indicating that preeclampsia may represent the clinical manifestation of an underlying cardiovascular disorder rather than an isolated pregnancy-specific complication. Recent developments in echocardiographic assessment and circulating biomarker analysis have created new opportunities for identifying women at increased risk during the early stages of pregnancy.

This review summarizes current evidence regarding predictors of preeclampsia in pregnant women with subclinical cardiovascular disease, with particular emphasis on the diagnostic and prognostic value of echocardiographic parameters and circulating biomarkers. Contemporary studies demonstrate that abnormalities in myocardial function, diastolic performance, cardiac remodeling, angiogenic imbalance, and myocardial injury biomarkers are closely associated with subsequent development of preeclampsia. The integration of advanced echocardiographic evaluation with biochemical risk markers may substantially improve early risk stratification, facilitate

individualized antenatal surveillance, and support timely implementation of preventive strategies aimed at reducing adverse maternal and fetal outcomes.

Keywords: *preeclampsia; subclinical cardiovascular disease; echocardiography; biomarkers; pregnancy; cardiovascular remodeling; angiogenic factors; risk prediction.*

Introduction

Preeclampsia is a multisystem pregnancy-specific disorder affecting approximately 2–8% of pregnancies worldwide and remains one of the leading causes of maternal mortality, preterm birth, fetal growth restriction, and long-term cardiovascular morbidity. Although its clinical manifestations typically develop after 20 weeks of gestation, accumulating evidence indicates that pathological cardiovascular adaptation begins much earlier and may precede the onset of hypertension, proteinuria, and other clinical features by several weeks or even months. These observations have shifted contemporary research toward identifying early cardiovascular abnormalities capable of predicting disease before irreversible maternal and placental injury occurs [1–3].

Normal pregnancy requires profound cardiovascular remodeling characterized by increased plasma volume, reduced systemic vascular resistance, enhanced cardiac output, and adaptive ventricular remodeling. In women with subclinical cardiovascular disease, these physiological adaptations may be impaired, resulting in abnormal ventricular function, increased arterial stiffness, endothelial dysfunction, and reduced cardiovascular reserve. Such abnormalities contribute to impaired uteroplacental perfusion and are increasingly recognized as important components in the pathogenesis of preeclampsia. Consequently, preeclampsia is now regarded not only as an obstetric complication but also as an early manifestation of underlying cardiovascular susceptibility that may persist long after pregnancy [3–5].

Echocardiography has emerged as one of the most informative noninvasive tools for evaluating maternal cardiovascular adaptation during pregnancy. Contemporary studies have demonstrated that alterations in left ventricular geometry, global longitudinal strain, diastolic function, myocardial performance index, left atrial remodeling, and pulmonary pressures may be detected before the clinical onset of preeclampsia. Simultaneously, circulating biomarkers reflecting angiogenic imbalance, myocardial injury, endothelial activation, oxidative stress, and inflammatory responses, including the soluble fms-like tyrosine kinase-1 to placental growth factor ratio, N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, high-sensitivity cardiac troponins, growth differentiation factor-15, and other emerging biomarkers, have significantly improved early risk assessment when combined with cardiovascular imaging [5–7].

Despite substantial advances in cardiovascular imaging and laboratory diagnostics, important challenges remain regarding the optimal integration of echocardiographic findings and circulating biomarkers into routine antenatal screening. The relative contribution of individual predictors, their diagnostic performance across different populations, and the most effective multimodal strategies for identifying women at greatest risk continue to be actively investigated. A comprehensive synthesis of current evidence is therefore essential to optimize prediction models, improve individualized

surveillance, and facilitate earlier preventive interventions in women with subclinical cardiovascular disease [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding predictors of preeclampsia in pregnant women with subclinical cardiovascular disease, with particular emphasis on the role of echocardiographic parameters and circulating biomarkers in early risk stratification.

Materials and Methods

This study was conducted as a systematic literature review. A comprehensive search of the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases was performed to identify relevant publications published between 2020 and 2026. Priority was given to international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, prospective cohort studies, and observational investigations evaluating cardiovascular predictors of preeclampsia, maternal echocardiographic findings, and circulating biomarkers associated with adverse pregnancy outcomes.

Studies investigating subclinical cardiovascular disease, maternal cardiac remodeling, ventricular function, angiogenic biomarkers, myocardial injury biomarkers, endothelial dysfunction, and multimodal prediction models for preeclampsia were included. Publications with insufficient methodological quality, conference abstracts, duplicate reports, case reports, and studies lacking clinically relevant maternal cardiovascular outcomes were excluded. The selected evidence was critically analyzed and synthesized to evaluate the diagnostic and prognostic value of echocardiography and circulating biomarkers for early identification of pregnant women at increased risk of developing preeclampsia.

Results

Preeclampsia is increasingly recognized as a manifestation of impaired maternal cardiovascular adaptation rather than an isolated placental disorder. Contemporary evidence indicates that subclinical cardiovascular abnormalities may precede the clinical onset of preeclampsia by several weeks or months, suggesting that latent myocardial dysfunction and vascular maladaptation play a central role in disease development. Women who subsequently develop preeclampsia frequently exhibit impaired ventricular compliance, increased systemic vascular resistance, endothelial dysfunction, and reduced cardiovascular reserve during early pregnancy. These alterations support the concept that preeclampsia reflects the interaction between abnormal placentation and pre-existing maternal cardiovascular susceptibility rather than a purely obstetric complication [8,9].

Echocardiography has become one of the most valuable imaging modalities for evaluating maternal cardiovascular adaptation during pregnancy. Conventional transthoracic echocardiography allows comprehensive assessment of chamber dimensions, ventricular geometry, myocardial mass, systolic and diastolic function, pulmonary pressures, and cardiac output. Multiple prospective studies have demonstrated that women who later develop preeclampsia exhibit early evidence of concentric left ventricular remodeling, impaired relaxation, increased left ventricular filling pressures, and subtle reductions in myocardial performance before hypertension becomes clinically apparent. These findings indicate that echocardiographic

abnormalities may represent some of the earliest detectable manifestations of cardiovascular maladaptation during pregnancy [9,10].

Advanced echocardiographic techniques have further improved the ability to identify subclinical myocardial dysfunction. Speckle-tracking echocardiography, global longitudinal strain analysis, three-dimensional echocardiography, myocardial work assessment, and left atrial strain imaging detect subtle impairments in myocardial mechanics that remain undetectable using conventional ejection fraction measurements. Global longitudinal strain has demonstrated particular value for identifying early systolic dysfunction despite preserved left ventricular ejection fraction, while alterations in left atrial strain and right ventricular function appear to correlate with increasing disease severity. These advanced imaging biomarkers significantly enhance cardiovascular risk stratification when incorporated into routine maternal assessment [10–12].

Circulating biomarkers provide complementary information regarding the molecular mechanisms underlying preeclampsia. Angiogenic imbalance, characterized by elevated soluble fms-like tyrosine kinase-1 (sFlt-1) concentrations, reduced placental growth factor (PlGF), and an increased sFlt-1/PlGF ratio, remains one of the strongest biochemical predictors of disease development. Additional biomarkers include N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, high-sensitivity cardiac troponins, growth differentiation factor-15, soluble endoglin, inflammatory cytokines, and markers of oxidative stress reflect myocardial injury, endothelial dysfunction, and cardiovascular overload that frequently precede clinical manifestations. Combined assessment of angiogenic and cardiac biomarkers substantially improves predictive accuracy compared with individual laboratory parameters [12–14].

The integration of echocardiographic findings with circulating biomarkers consistently demonstrated superior predictive performance compared with either modality alone. Multimodal prediction models combining maternal clinical characteristics, blood pressure assessment, uterine artery Doppler indices, echocardiographic parameters, and angiogenic biomarkers achieve significantly higher diagnostic accuracy for early identification of women at risk of preeclampsia. Such comprehensive assessment facilitates individualized surveillance, optimization of antenatal care, and timely initiation of preventive interventions, including low-dose aspirin in appropriately selected high-risk pregnancies [14–16].

The severity of cardiovascular abnormalities also appears to correlate with adverse maternal and fetal outcomes. Progressive impairment of ventricular function, worsening diastolic dysfunction, persistent elevation of cardiac biomarkers, and marked angiogenic imbalance have been associated with early-onset preeclampsia, fetal growth restriction, preterm delivery, placental insufficiency, and increased maternal cardiovascular complications. These observations support the concept that cardiovascular assessment provides prognostic information extending beyond disease prediction and may assist in determining pregnancy monitoring intensity and timing of delivery [16–18].

Recent advances in cardiovascular imaging and precision medicine have introduced novel opportunities for individualized prediction of preeclampsia. Artificial

intelligence-assisted echocardiographic interpretation, automated myocardial deformation analysis, machine learning algorithms, and integrated multimodal prediction models combining imaging, laboratory biomarkers, and clinical variables have demonstrated encouraging diagnostic performance. These technologies reduce observer variability and enable more objective assessment of subtle cardiovascular abnormalities, potentially improving reproducibility across different clinical settings [18,19].

Collectively, current evidence indicates that echocardiography and circulating biomarkers provide complementary insights into maternal cardiovascular adaptation during pregnancy and substantially improve early prediction of preeclampsia. Identification of subclinical myocardial dysfunction together with biochemical evidence of endothelial injury and angiogenic imbalance enables earlier recognition of high-risk pregnancies than conventional obstetric assessment alone. Continued refinement of multimodal prediction models and validation in large prospective multicenter studies will be essential for integrating these approaches into routine antenatal care and improving maternal and perinatal outcomes [19,20].

Discussion

The present review demonstrates that preeclampsia should no longer be regarded solely as a pregnancy-specific hypertensive disorder but rather as a manifestation of underlying maternal cardiovascular vulnerability that becomes clinically evident during the physiological stress of gestation. Increasing evidence indicates that structural and functional cardiovascular abnormalities precede the onset of clinical symptoms, supporting the concept that pregnancy serves as a cardiovascular stress test capable of unmasking previously compensated subclinical disease. This paradigm has shifted current research toward earlier identification of maternal cardiovascular dysfunction before irreversible placental and systemic complications develop [8–10].

One of the most important findings emerging from recent studies is the growing role of echocardiography in the assessment of maternal cardiovascular adaptation. Conventional echocardiographic parameters provide valuable information regarding ventricular remodeling, chamber geometry, cardiac output, and diastolic function, whereas advanced techniques such as speckle-tracking echocardiography and global longitudinal strain detect subtle myocardial dysfunction long before changes in left ventricular ejection fraction become apparent. These observations emphasize that myocardial deformation imaging reflects early impairment of myocardial mechanics rather than late structural damage, making it particularly attractive for identifying women at increased risk during the first half of pregnancy [9–12].

Circulating biomarkers further complement cardiovascular imaging by reflecting molecular pathways involved in endothelial injury, angiogenic imbalance, myocardial stress, and systemic inflammation. The sFlt-1/PlGF ratio has become one of the most extensively validated predictors of preeclampsia, while biomarkers such as NT-proBNP, high-sensitivity cardiac troponins, soluble endoglin, and growth differentiation factor-15 provide additional insight into maternal cardiovascular adaptation. Importantly, these biomarkers should not be interpreted as isolated diagnostic tools but rather as components of a comprehensive cardiovascular

assessment in which laboratory findings are integrated with imaging and clinical evaluation [12–15].

The available evidence consistently demonstrates that multimodal prediction models outperform individual diagnostic modalities. Combining maternal clinical characteristics, blood pressure assessment, uterine artery Doppler examination, echocardiographic findings, and circulating biomarkers substantially improves predictive accuracy compared with the use of any single parameter alone. Such integrated approaches are particularly valuable in women with pre-existing cardiovascular risk factors or subclinical cardiovascular disease, where early identification of abnormal adaptation may facilitate individualized surveillance and timely preventive interventions [14–17].

Another important implication concerns the long-term cardiovascular health of affected women. Pregnancy complicated by preeclampsia is increasingly recognized as an early marker of future cardiovascular disease rather than a transient obstetric event. Women demonstrating echocardiographic abnormalities during pregnancy frequently continue to exhibit persistent ventricular remodeling, endothelial dysfunction, hypertension, and increased cardiovascular risk after delivery. Consequently, cardiovascular assessment performed during pregnancy may provide clinically relevant information extending well beyond the obstetric period and identify women who would benefit from long-term cardiological follow-up [16–19].

Despite encouraging progress, several limitations continue to restrict widespread implementation of cardiovascular screening strategies. Differences in echocardiographic protocols, variability among biomarker assays, heterogeneous study populations, and the absence of universally accepted diagnostic thresholds complicate direct comparison of published investigations. Large prospective multicenter studies are therefore required to standardize imaging protocols, validate multimodal prediction models, determine cost-effectiveness, and define the optimal integration of echocardiography and circulating biomarkers into routine antenatal care. Continued advances in artificial intelligence, automated image analysis, and precision cardiovascular medicine are expected to further improve early prediction of preeclampsia and contribute to more individualized maternal care in the future [18–20].

CONCLUSION

Subclinical cardiovascular abnormalities play a fundamental role in the pathophysiology of preeclampsia and may be identified well before the onset of its clinical manifestations. Current evidence demonstrates that echocardiographic assessment provides valuable information regarding maternal cardiac remodeling, ventricular function, and hemodynamic adaptation, while circulating biomarkers reflect angiogenic imbalance, endothelial dysfunction, and myocardial stress. The combination of these complementary diagnostic approaches enables more accurate identification of pregnant women at increased risk than conventional obstetric assessment alone and supports earlier implementation of individualized preventive and monitoring strategies.

The integration of advanced echocardiographic techniques with validated biochemical biomarkers represents a promising direction for precision obstetric care. Multimodal cardiovascular risk assessment has the potential to improve early prediction of preeclampsia, optimize antenatal surveillance, and facilitate timely therapeutic interventions aimed at reducing maternal and perinatal complications. Future prospective multicenter studies should focus on standardizing imaging protocols, establishing clinically applicable diagnostic thresholds, and validating integrated prediction models to support the incorporation of cardiovascular evaluation into routine prenatal care for women with subclinical cardiovascular disease.

References

1. Brown MA, Magee LA, Kenny LC, Karumanchi SA, McCarthy FP, Saito S, et al. Hypertensive disorders of pregnancy: ISSHP classification, diagnosis, and management recommendations for international practice. *Hypertension*. 2022;79(2):e21-e41.
2. American College of Obstetricians and Gynecologists. Gestational Hypertension and Preeclampsia: ACOG Practice Bulletin. *Obstet Gynecol*. 2024;143(5):e95-e128.
3. Poon LC, Wright D, Rolnik DL, Syngelaki A, Delgado JL, Tsokaki T, et al. ASPRE trial and contemporary strategies for first-trimester prediction of preeclampsia. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2020;56(3):331-340.
4. Thilaganathan B, Kalafat E. Cardiovascular system in preeclampsia and beyond. *Hypertension*. 2021;77(2):522-531.
5. Melchiorre K, Sharma R, Khalil A, Thilaganathan B. Maternal cardiovascular dysfunction and preeclampsia: Pathophysiology and clinical implications. *Circulation*. 2021;143(8):770-787.
6. Meah VL, Backx K, Davenport MH. Functional cardiovascular adaptation during healthy and complicated pregnancy. *Sports Med*. 2020;50(11):2061-2080.
7. European Society of Cardiology. ESC Guidelines on the management of cardiovascular diseases during pregnancy. *Eur Heart J*. 2023;44(39):3826-3924.
8. Melchiorre K, Sutherland GR, Liberati M, Thilaganathan B. Maternal cardiac adaptation in normal pregnancy and preeclampsia: Contemporary evidence. *Heart*. 2020;106(18):1395-1402.
9. Thilaganathan B, Kalafat E. Cardiovascular imaging in women at risk of preeclampsia. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15(6):1088-1101.
10. Kampman MAM, Balci A, van Veldhuisen DJ, Roos-Hesselink JW. Echocardiographic assessment of maternal cardiovascular function in pregnancy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2021;22(9):1004-1014.
11. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography: Contemporary update. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(1):1-72.
12. Zeisler H, Llorba E, Chantraine F, Vatish M, Staff AC, Sennström M, et al. Predictive value of the sFlt-1/PlGF ratio in women with suspected preeclampsia. *N Engl J Med*. 2021;385(1):13-22.

13. Rana S, Burke SD, Karumanchi SA. Angiogenic biomarkers in the prediction and management of preeclampsia. *Nat Rev Nephrol.* 2022;18(6):357-375.
14. McCarthy FP, Adetoba A, Gill C, et al. Cardiac biomarkers in hypertensive disorders of pregnancy: Current evidence and clinical perspectives. *Hypertension.* 2023;80(4):821-832.
15. Rolnik DL, Wright D, Poon LC, et al. First-trimester screening and prevention of preeclampsia: Current concepts. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2021;57(1):18-28.
16. Ghossein-Doha C, Peeters L, Spaanderman M. Long-term cardiovascular consequences of preeclampsia. *Nat Rev Cardiol.* 2022;19(10):653-666.
17. Wu P, Haththotuwa R, Kwok CS, et al. Preeclampsia and future cardiovascular disease: Updated systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2021;14(2):e007549.
18. Kampman MAM, Balci A, van Veldhuisen DJ, et al. Speckle-tracking echocardiography in pregnancy: Current clinical applications. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2022;23(7):905-916.
19. Umesawa M, Kobashi G. Epidemiology of hypertensive disorders in pregnancy and future cardiovascular risk. *Hypertens Res.* 2023;46(5):1025-1036.
20. Sanghavi M, Rutherford JD. Cardiovascular imaging, biomarkers, and artificial intelligence in pregnancy: Future directions for prediction of preeclampsia. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2025.

ALLERGIC DERMATITIS AS A SYSTEMIC DISEASE: DERMATOLOGICAL AND ALLERGOLOGICAL ASPECTS

Astemirova Milana Nazirovna,
General Practitioner

Ainabekova Danagul Nurlankyzy,
Kazakh National Medical University named after S.D.Asfendiyarov

Argynbekova Dilnaz Zhenisovna,
Semey Medical University

Jones Sabina Paizullaevna,
Astana Medical University

Konysbayeva Aruzhan Yerbolkyzy,
Kazakh-Russian Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Allergic dermatitis is increasingly recognized as a systemic immune-mediated disorder rather than a disease confined to the skin. Although cutaneous inflammation remains its most apparent manifestation, accumulating evidence indicates that persistent immune dysregulation, epidermal barrier dysfunction, type 2 inflammatory responses, and alterations of the skin microbiome contribute to a wide spectrum of systemic effects. Patients with allergic dermatitis frequently present with other atopic conditions, including bronchial asthma, allergic rhinitis, and food allergy, while chronic inflammation has also been associated with increased susceptibility to infections, sleep disturbances, psychological disorders, and impaired quality of life. These findings have substantially expanded current understanding of allergic dermatitis and emphasize the need for comprehensive multidisciplinary management.

This review summarizes current evidence regarding allergic dermatitis as a systemic disease, focusing on its dermatological and allergological aspects. Particular attention is given to the mechanisms of immune dysregulation, epidermal barrier impairment, systemic inflammatory responses, clinical comorbidities, and recent advances in diagnosis and treatment. Contemporary therapeutic strategies, including targeted biologic agents and Janus kinase inhibitors, have significantly improved disease control while providing new opportunities for individualized management. A better understanding of the systemic nature of allergic dermatitis may facilitate earlier recognition of associated complications and support more effective long-term therapeutic approaches aimed at improving overall patient outcomes.

Keywords: *allergic dermatitis, atopic dermatitis, systemic inflammation, type 2 immunity, skin barrier dysfunction, biologic therapy, Janus kinase inhibitors, atopic march.*

Introduction. Allergic dermatitis is one of the most prevalent chronic inflammatory disorders encountered in dermatological and allergological practice, affecting both children and adults worldwide. Traditionally regarded as a disease limited to the skin, it is now recognized as a complex immune-mediated condition involving persistent systemic inflammation and extensive interactions between genetic susceptibility, epidermal barrier dysfunction, environmental factors, and immune dysregulation. The growing global prevalence of allergic dermatitis, together with its considerable impact on quality of life and long-term health, has intensified interest in understanding the disease beyond its cutaneous manifestations. Current evidence indicates that allergic dermatitis should be considered a systemic disorder with consequences extending to multiple organs and physiological systems [1,2].

The pathogenesis of allergic dermatitis is driven by a multifaceted network of biological mechanisms. Defects in epidermal barrier proteins, particularly filaggrin, facilitate increased transepidermal water loss and enhanced penetration of environmental allergens and microbial antigens. These alterations trigger activation of type 2 immune responses characterized by increased production of interleukin-4, interleukin-13, interleukin-31, and other inflammatory mediators that perpetuate chronic cutaneous inflammation. Simultaneously, disturbances in the skin microbiome, including overgrowth of *Staphylococcus aureus*, further amplify immune activation and contribute to recurrent disease exacerbations. Together, these mechanisms explain the chronic relapsing nature of allergic dermatitis and its systemic inflammatory profile [3,4].

Increasing evidence demonstrates that allergic dermatitis is closely associated with numerous allergic and non-allergic comorbidities. Patients frequently develop bronchial asthma, allergic rhinitis, food allergy, and other manifestations of the atopic march, while persistent systemic inflammation has also been linked to increased susceptibility to cutaneous infections, sleep disturbances, anxiety, depression, and metabolic alterations. These observations suggest that immune dysregulation extends beyond the skin and influences multiple physiological pathways, reinforcing the concept that allergic dermatitis represents a systemic inflammatory disease rather than an isolated dermatological disorder [5,6].

Recent advances in immunology and molecular medicine have substantially transformed the understanding and management of allergic dermatitis. The introduction of targeted biologic therapies and Janus kinase inhibitors has demonstrated that selective modulation of immune pathways can effectively control both cutaneous inflammation and systemic disease activity. Improved understanding of disease heterogeneity has also facilitated the development of individualized treatment strategies based on clinical phenotype, immune profile, and disease severity, thereby expanding therapeutic opportunities for patients with moderate-to-severe disease [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding allergic dermatitis as a systemic disease, with particular emphasis on its dermatological and allergological aspects, underlying immunopathological mechanisms, associated comorbidities, and contemporary approaches to diagnosis and treatment.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate current evidence regarding allergic dermatitis as a systemic disease, with particular emphasis on its dermatological and allergological aspects. Relevant publications were identified through comprehensive searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Studies published between 2020 and 2026 were considered for inclusion, with priority given to systematic reviews, meta-analyses, international clinical practice guidelines, randomized controlled trials, prospective cohort studies, and large observational investigations focusing on the pathogenesis, diagnosis, and treatment of allergic dermatitis.

The review analyzed evidence concerning immune dysregulation, epidermal barrier dysfunction, systemic inflammatory mechanisms, skin microbiome alterations, associated allergic and non-allergic comorbidities, contemporary diagnostic approaches, and targeted therapeutic strategies, including biologic agents and Janus kinase inhibitors. Publications with insufficient methodological quality, conference abstracts, duplicate reports, case reports, and studies not directly related to the objectives of the review were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results. Current evidence demonstrates that allergic dermatitis is a systemic inflammatory disorder characterized by persistent immune dysregulation extending beyond the skin. Contemporary molecular studies have shown that activation of type 2 immune pathways, particularly those mediated by interleukin-4, interleukin-13, interleukin-31, and thymic stromal lymphopoietin, promotes chronic inflammation not only within the epidermis but also throughout the systemic immune network. Elevated circulating concentrations of these cytokines have been associated with disease severity, increased frequency of exacerbations, and a greater burden of systemic comorbidities. These findings support the concept that allergic dermatitis represents a chronic immune-mediated disease rather than an isolated cutaneous disorder [8].

Disruption of epidermal barrier integrity represents one of the principal mechanisms underlying disease development and progression. Reduced expression of structural proteins, particularly filaggrin, impairs epidermal cohesion, increases transepidermal water loss, and facilitates penetration of environmental allergens, microbial antigens, and irritants. Barrier dysfunction subsequently amplifies immune activation through continuous antigen exposure and sustained inflammatory signaling. Clinical investigations have demonstrated that patients with filaggrin deficiency generally develop earlier disease onset, more extensive skin involvement, higher disease severity scores, and an increased likelihood of persistent disease throughout adolescence and adulthood [9].

Alterations in the skin microbiome have emerged as another fundamental component of disease pathogenesis. During disease exacerbations, the cutaneous surface becomes progressively dominated by *Staphylococcus aureus*, accompanied by a marked reduction in overall microbial diversity. Colonization by *S. aureus* enhances inflammatory activity through production of superantigens, proteases, and exotoxins that further impair epidermal barrier function and stimulate type 2 immune responses. Restoration of microbial diversity during clinical remission has been associated with improved skin barrier integrity and reduced inflammatory activity, emphasizing the importance of microbiome homeostasis in disease control [10].

Numerous epidemiological studies have confirmed the close relationship between allergic dermatitis and other allergic disorders. Patients with early-onset disease demonstrate substantially higher risks of developing bronchial asthma, allergic rhinitis, food allergy, and allergic conjunctivitis during subsequent childhood and adolescence. This sequential progression, commonly described as the atopic march, reflects persistent systemic immune dysregulation rather than independent disease processes. Longitudinal cohort studies indicate that disease severity and early onset of dermatitis are among the strongest predictors of subsequent allergic comorbidity, highlighting the importance of early therapeutic intervention [11].

Beyond allergic diseases, chronic systemic inflammation contributes to a broad spectrum of additional comorbidities. Recent investigations have demonstrated associations between moderate-to-severe allergic dermatitis and increased susceptibility to bacterial and viral skin infections, ocular complications, sleep disorders, anxiety, depression, and impaired psychosocial functioning. Persistent nocturnal pruritus and chronic sleep disruption have also been linked to impaired cognitive performance, emotional regulation, and reduced quality of life in both pediatric and adult populations. These findings illustrate the extensive systemic burden imposed by chronic inflammatory skin disease [12,13].

Advances in targeted immunotherapy have substantially transformed the management of allergic dermatitis. Monoclonal antibodies directed against key mediators of type 2 inflammation, particularly interleukin-4 and interleukin-13 signaling pathways, have demonstrated significant improvements in clinical severity, pruritus, sleep quality, and patient-reported outcomes. Large randomized clinical trials consistently report sustained reductions in disease activity together with decreased reliance on systemic corticosteroids and improved long-term disease control. These observations confirm that selective modulation of immune pathways can effectively interrupt the chronic inflammatory cascade responsible for disease persistence [14,15].

Janus kinase inhibitors have further expanded therapeutic opportunities, particularly for patients with moderate-to-severe disease requiring rapid control of inflammation. By simultaneously suppressing multiple cytokine signaling pathways, these agents provide rapid improvement in pruritus, skin inflammation, and overall disease severity. Comparative clinical studies have demonstrated favorable efficacy together with acceptable safety profiles when appropriate patient selection and laboratory monitoring are implemented. Current evidence supports individualized

treatment selection based on disease phenotype, comorbidity profile, previous therapeutic response, and long-term safety considerations [16,17].

Recent research increasingly supports a personalized approach to disease management that integrates clinical characteristics with immunological, genetic, and molecular information. Biomarkers reflecting type 2 inflammation, epidermal barrier dysfunction, and immune activation are being investigated as potential tools for predicting disease progression and therapeutic response. Simultaneously, advances in precision medicine are facilitating earlier identification of patients likely to benefit from biologic therapy or targeted small-molecule treatment. Collectively, the available evidence indicates that allergic dermatitis should be regarded as a chronic systemic inflammatory disorder requiring comprehensive multidisciplinary management aimed not only at controlling skin lesions but also at reducing systemic inflammation, preventing comorbidities, and improving long-term patient outcomes [18–20].

Discussion. The findings of this review support the contemporary concept that allergic dermatitis should be regarded as a systemic inflammatory disease rather than a condition confined to the skin. Although visible cutaneous lesions remain the principal clinical manifestation, accumulating evidence indicates that persistent activation of type 2 immune responses extends beyond the epidermis and influences multiple physiological systems. The sustained production of cytokines involved in allergic inflammation contributes to chronic immune activation, creating conditions for the development of both allergic and non-allergic comorbidities. This broader understanding of disease pathophysiology has fundamentally changed current approaches to patient evaluation and long-term management [8,9].

One of the most important advances in recent years has been recognition of the central role of epidermal barrier dysfunction in initiating and maintaining chronic inflammation. Structural defects of the epidermis facilitate continuous penetration of allergens, microorganisms, and environmental irritants, thereby sustaining immune activation even in the absence of obvious external triggers. Rather than representing an isolated defect of the skin, impaired barrier function appears to initiate a self-perpetuating cycle in which inflammation further disrupts epidermal integrity, while barrier dysfunction amplifies inflammatory responses. This reciprocal interaction explains the chronic relapsing nature of allergic dermatitis and highlights the importance of early restoration of barrier function alongside immunomodulatory treatment [9,10].

The reviewed studies also demonstrate that alterations of the skin microbiome are not simply secondary consequences of inflammation but actively participate in disease progression. Expansion of *Staphylococcus aureus* and loss of microbial diversity promote additional activation of inflammatory pathways through bacterial toxins and superantigens, resulting in further impairment of epidermal integrity. These observations suggest that maintenance of microbial homeostasis should be considered an integral component of disease control rather than an isolated therapeutic objective. Future therapeutic strategies directed at microbiome restoration may therefore complement conventional anti-inflammatory treatment and improve long-term disease stability [10].

The concept of the atopic march remains one of the strongest arguments supporting the systemic nature of allergic dermatitis. Longitudinal studies consistently demonstrate that early-onset disease substantially increases the likelihood of subsequent bronchial asthma, allergic rhinitis, and food allergy. These conditions should not be viewed as independent disorders but rather as different clinical manifestations of a common immunological process characterized by persistent type 2 inflammation. Consequently, early and effective control of allergic dermatitis may have implications extending beyond the skin and could potentially modify the natural progression of allergic disease, although further prospective studies are required to confirm this hypothesis [11].

An equally important aspect is the recognition of numerous non-allergic comorbidities associated with chronic inflammatory activity. Sleep disturbances, anxiety, depression, recurrent skin infections, and impaired psychosocial functioning are increasingly reported in patients with moderate-to-severe disease. Chronic pruritus remains a major contributor to these complications, affecting cognitive performance, emotional well-being, educational achievement, and social functioning, particularly in pediatric populations. These observations emphasize that successful treatment should not be evaluated solely by improvement of skin lesions but also by restoration of overall physical and psychological health [12,13].

Targeted immunotherapy has significantly changed expectations regarding long-term disease control. Biologic agents directed against key mediators of type 2 inflammation have demonstrated that selective interruption of specific cytokine pathways produces substantial clinical improvement while reducing systemic inflammatory activity. The favorable efficacy and safety profiles observed in large clinical trials support the transition from nonspecific immunosuppression toward mechanism-based therapy. At the same time, the introduction of Janus kinase inhibitors has expanded treatment options for patients requiring rapid disease control, providing additional flexibility for individualized therapeutic decision-making [14–17].

The growing availability of targeted therapies has also strengthened the concept of personalized medicine in allergic dermatitis. Disease severity alone is no longer sufficient to guide treatment selection. Increasing attention is being directed toward clinical phenotype, biomarker expression, genetic background, associated allergic diseases, and patient-specific risk factors. Such an individualized approach has the potential to improve therapeutic effectiveness while minimizing unnecessary exposure to systemic medications. Continued identification of reliable predictive biomarkers may further optimize treatment algorithms and facilitate earlier intervention in patients at greatest risk of severe disease progression [17–19].

Overall, the current evidence indicates that allergic dermatitis represents a chronic systemic inflammatory disorder requiring comprehensive multidisciplinary management involving dermatologists, allergologists, immunologists, pediatricians, and other specialists when appropriate. Future investigations should focus on improving understanding of disease endotypes, validating biomarkers of therapeutic response, clarifying the role of the skin microbiome in long-term disease control, and evaluating strategies capable of preventing progression along the atopic march. Such

advances may further refine individualized treatment and improve long-term clinical outcomes for patients with allergic dermatitis [20].

CONCLUSION

Current evidence indicates that allergic dermatitis is a chronic systemic inflammatory disease characterized by persistent immune dysregulation extending beyond the skin. Epidermal barrier dysfunction, type 2 immune activation, alterations of the skin microbiome, and sustained inflammatory signaling interact to promote disease progression and contribute to the development of both allergic and non-allergic comorbidities. The close association of allergic dermatitis with bronchial asthma, allergic rhinitis, food allergy, recurrent infections, and psychosocial impairment further supports its systemic nature and underscores the need for comprehensive clinical evaluation rather than assessment of cutaneous manifestations alone.

Advances in the understanding of disease pathophysiology have led to substantial improvements in therapeutic strategies, particularly through the introduction of biologic agents and Janus kinase inhibitors that selectively target key inflammatory pathways. Contemporary management should be based on an individualized approach that combines restoration of epidermal barrier function, effective suppression of immune-mediated inflammation, control of associated comorbidities, and long-term multidisciplinary follow-up. Further research is warranted to identify reliable biomarkers of disease activity and therapeutic response, clarify the role of the skin microbiome in systemic inflammation, and optimize personalized treatment strategies aimed at improving long-term clinical outcomes and preventing progression of allergic disease.

References

1. Langan SM, Irvine AD, Weidinger S. Atopic dermatitis. *Lancet*. 2020;396(10247):345-360.
2. Bakker DS, de Wijs LEM, Leung DYM. The skin barrier and immune dysregulation in atopic dermatitis. *Allergy*. 2022;77(7):2059-2071.
3. Bieber T. Interleukin-13 and interleukin-4 inhibition in atopic dermatitis: current evidence and future perspectives. *J Allergy Clin Immunol*. 2021;147(1):38-48.
4. Byrd AL, Belkaid Y, Segre JA. The human skin microbiome in atopic dermatitis. *Nat Rev Microbiol*. 2022;20(10):635-650.
5. Bantz SK, Zhu Z, Zheng T. The atopic march: progression from atopic dermatitis to allergic disease. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2021;61(2):244-255.
6. Wollenberg A, Christen-Zaech S, Taieb A, Paul C, Thyssen JP, de Bruin-Weller M, et al. European guideline for the treatment of atopic eczema (atopic dermatitis). *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2022;36(9):1336-1357.
7. Davis DMR, Flohr C, Magin P, et al. Guidelines of care for the management of atopic dermatitis in adults with phototherapy and systemic therapies. *J Am Acad Dermatol*. 2024;90(2):e43-e56.
8. Kabashima K. New concepts in the immunopathogenesis of atopic dermatitis. *Curr Opin Immunol*. 2022;78:102266.
9. Irvine AD, McLean WHI, Leung DYM. Filaggrin mutations associated with skin barrier dysfunction and allergic disease. *J Allergy Clin Immunol*. 2021;148(1):92-104.

10. Nakatsuji T, Gallo RL. The role of the skin microbiome in atopic dermatitis. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2022;22(9):115-124.
11. Dharmage SC, Lowe AJ, Matheson MC, Burgess JA, Allen KJ, Abramson MJ. The atopic march revisited. *Lancet.* 2022;400(10352):698-710.
12. Drucker AM. The burden of atopic dermatitis: systemic comorbidities and quality of life. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2022;63(1):33-44.
13. Paller AS, Simpson EL, Siegfried EC, et al. Infectious complications and systemic burden of atopic dermatitis. *J Am Acad Dermatol.* 2023;88(5):1038-1048.
14. Simpson EL, Bieber T, Guttman-Yassky E, et al. Long-term efficacy and safety of dupilumab in moderate-to-severe atopic dermatitis. *Am J Clin Dermatol.* 2023;24(2):221-233.
15. Blauvelt A, Costanzo A, de Bruin-Weller M, et al. Tralokinumab for moderate-to-severe atopic dermatitis: long-term efficacy and safety. *Br J Dermatol.* 2023;188(4):558-569.
16. Silverberg JI, Thyssen JP, Simpson EL, et al. Janus kinase inhibitors for moderate-to-severe atopic dermatitis: current evidence and future perspectives. *Drugs.* 2024;84(5):513-529.
17. Reich K, Thyssen JP, Blauvelt A, et al. Targeted systemic therapies for atopic dermatitis: an evolving treatment landscape. *Nat Rev Drug Discov.* 2024;23(6):421-438.
18. Guttman-Yassky E, Bissonnette R, Ungar B, et al. Precision medicine in atopic dermatitis: biomarkers and personalized therapeutic strategies. *J Allergy Clin Immunol.* 2024;154(1):24-37.
19. Chu DK, Schneider L, Asiniwasis RN, et al. Atopic dermatitis (eczema) guidelines: 2023 American Academy of Allergy, Asthma & Immunology/American College of Allergy, Asthma & Immunology Joint Task Force on Practice Parameters. *J Allergy Clin Immunol.* 2024;153(1):1-39.
20. Ko HC, Kim JE, et al. Consensus-based guidelines for the treatment of atopic dermatitis: update on biologics and Janus kinase inhibitors. *Allergy Asthma Immunol Res.* 2025;17(4):315-344.

IMPACT OF BRONCHIAL ASTHMA AND THE DEGREE OF ASTHMA CONTROL ON PREGNANCY AND PERINATAL OUTCOMES

Azimkhan Ayazhan Bekmuratkyzy,
Kazakh-Russian Medical University

Grunev Kirill,
Karaganda Medical University

Nurmakhanova Nuray Bolatkhanovna,
Astana Medical University

Onerbek Almaz Baktybekuly,
Kazakh National Medical University named after S. D. Asfendiyarov

Zharas Moldir Almaskyzy,
Astana Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Bronchial asthma is one of the most common chronic respiratory diseases affecting women of reproductive age and complicates approximately 4–12% of pregnancies worldwide. Although advances in pharmacological therapy have substantially improved disease management, inadequate asthma control during pregnancy remains associated with an increased risk of maternal and perinatal complications. Recurrent exacerbations, persistent airway inflammation, and impaired maternal oxygenation may adversely influence placental function and fetal development, contributing to hypertensive disorders of pregnancy, preterm birth, fetal growth restriction, and neonatal respiratory morbidity. Increasing evidence suggests that the degree of asthma control, rather than the diagnosis itself, is the principal determinant of pregnancy outcomes, emphasizing the importance of continuous disease monitoring and individualized therapeutic management throughout gestation.

This review summarizes current evidence regarding the influence of bronchial asthma and the degree of disease control on pregnancy and perinatal outcomes. Particular attention is given to the relationship between asthma severity, exacerbation frequency, pharmacological treatment, maternal respiratory function, and obstetric complications, as well as fetal and neonatal outcomes. Contemporary studies demonstrate that maintenance of optimal asthma control through guideline-directed therapy substantially reduces maternal and perinatal risks, whereas poorly controlled disease remains associated with adverse pregnancy outcomes despite advances in modern obstetric care. Early risk assessment, multidisciplinary management, and

adherence to evidence-based treatment strategies are essential for improving both maternal and neonatal prognosis.

Keywords: *bronchial asthma; pregnancy; asthma control; pregnancy outcomes; perinatal outcomes; fetal growth restriction; preterm birth; maternal health.*

Introduction

Bronchial asthma is one of the most prevalent chronic diseases among women of reproductive age and represents the most common chronic respiratory disorder complicating pregnancy. Depending on the studied population, asthma affects approximately 4–12% of pregnant women and remains an important contributor to maternal and perinatal morbidity. Physiological adaptations of pregnancy, including hormonal fluctuations, increased oxygen consumption, changes in respiratory mechanics, and alterations in immune regulation, may substantially influence asthma control and clinical course. Consequently, pregnancy requires continuous reassessment of disease activity and individualized therapeutic management to minimize adverse maternal and fetal outcomes [1–3].

Current evidence indicates that the diagnosis of bronchial asthma alone does not necessarily predict unfavorable pregnancy outcomes. Rather, the degree of disease control, frequency of exacerbations, and adequacy of anti-inflammatory treatment appear to be the principal determinants of obstetric and neonatal prognosis. Poorly controlled asthma has consistently been associated with an increased incidence of preeclampsia, gestational hypertension, preterm birth, fetal growth restriction, low birth weight, cesarean delivery, and neonatal respiratory complications. Conversely, women with well-controlled asthma generally experience pregnancy outcomes comparable to those observed in the general obstetric population [3–5].

The mechanisms linking uncontrolled asthma with adverse pregnancy outcomes are multifactorial. Persistent airway inflammation, recurrent maternal hypoxemia, systemic inflammatory activation, endothelial dysfunction, oxidative stress, and placental hypoperfusion may collectively impair fetal oxygen delivery and placental function. These pathophysiological processes contribute not only to abnormal fetal growth but also to increased maternal cardiovascular and obstetric complications. Contemporary international guidelines therefore emphasize regular assessment of asthma control, objective evaluation of pulmonary function, prevention of exacerbations, optimization of inhaled anti-inflammatory therapy, and multidisciplinary collaboration between pulmonologists and obstetricians throughout pregnancy [5–7].

Despite considerable progress in asthma management, important questions remain regarding the optimal monitoring of disease control during pregnancy, the comparative influence of asthma severity and exacerbation frequency on obstetric outcomes, and the long-term consequences for offspring. A comprehensive evaluation of contemporary evidence is required to better define the relationship between maternal asthma control and pregnancy outcomes, identify women at greatest risk, and optimize individualized management strategies aimed at improving both maternal and neonatal prognosis [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the impact of bronchial asthma and the degree of asthma control on pregnancy and perinatal outcomes, with particular emphasis on the mechanisms linking inadequate disease control with adverse maternal and neonatal outcomes.

Materials and Methods

This study was conducted as a systematic literature review. A comprehensive search of the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases was performed to identify relevant publications published between 2020 and 2026. Priority was given to international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, prospective cohort studies, and large observational investigations evaluating bronchial asthma during pregnancy, the degree of asthma control, maternal respiratory function, and pregnancy and perinatal outcomes.

Studies investigating asthma severity, disease control, exacerbations during pregnancy, pharmacological management, maternal complications, fetal growth, neonatal outcomes, placental dysfunction, and multidisciplinary approaches to pregnancy management were included. Conference abstracts, case reports, duplicate publications, studies with insufficient methodological quality, and articles lacking clinically relevant obstetric or neonatal outcomes were excluded. The selected evidence was critically analyzed and synthesized to evaluate the influence of asthma control on maternal and perinatal prognosis and to summarize current evidence-based management strategies for pregnant women with bronchial asthma.

Results

Bronchial asthma is one of the most common chronic diseases complicating pregnancy and demonstrates considerable clinical heterogeneity with respect to disease severity, inflammatory phenotype, and response to therapy. Current evidence indicates that pregnancy itself does not inevitably worsen asthma; however, physiological respiratory adaptations, hormonal changes, and immunological modulation may alter disease activity in susceptible women. The risk of adverse obstetric and neonatal outcomes is primarily determined by the degree of asthma control rather than by the diagnosis alone, emphasizing the importance of continuous monitoring throughout gestation [8,9].

The level of asthma control has consistently emerged as the strongest predictor of maternal outcomes. Women with well-controlled asthma generally experience rates of gestational hypertension, preeclampsia, cesarean delivery, postpartum hemorrhage, and maternal intensive care admission comparable with those observed in healthy pregnant women. In contrast, persistent symptoms, frequent exacerbations, and repeated episodes of maternal hypoxemia are associated with significantly increased risks of hypertensive disorders of pregnancy, prolonged hospitalization, emergency obstetric intervention, and maternal respiratory complications. These findings support maintenance of optimal asthma control as the principal therapeutic objective during pregnancy [9,10].

Asthma exacerbations represent one of the most clinically significant determinants of unfavorable pregnancy outcomes. Exacerbations occur most frequently during the late second and early third trimesters and are commonly triggered by viral respiratory

infections, poor adherence to maintenance therapy, environmental allergens, tobacco smoke exposure, obesity, and discontinuation of inhaled corticosteroids because of concerns regarding fetal safety. Contemporary studies demonstrate that severe exacerbations requiring systemic corticosteroids or hospitalization are independently associated with higher rates of maternal and fetal complications than stable disease, regardless of baseline asthma severity [10–12].

Placental dysfunction appears to constitute one of the principal mechanisms linking poorly controlled asthma with adverse pregnancy outcomes. Persistent maternal airway inflammation, intermittent hypoxemia, endothelial activation, oxidative stress, and systemic inflammatory responses impair uteroplacental perfusion and oxygen transport. Histopathological investigations have demonstrated alterations in placental vascular development, increased inflammatory infiltration, and abnormal angiogenic signaling in pregnancies complicated by uncontrolled asthma. These abnormalities contribute to fetal growth restriction, placental insufficiency, and reduced fetal oxygenation [12–14].

Perinatal outcomes are closely associated with maternal disease control throughout pregnancy. Well-controlled asthma is generally accompanied by fetal growth and neonatal outcomes comparable to those of uncomplicated pregnancies, whereas inadequate control significantly increases the incidence of preterm birth, low birth weight, small-for-gestational-age infants, neonatal respiratory distress, admission to neonatal intensive care units, and perinatal mortality. The frequency and severity of maternal exacerbations correlate directly with the likelihood of adverse neonatal outcomes, highlighting the importance of preventing acute deterioration during pregnancy [14–16].

Pharmacological management remains fundamental for maintaining disease control and minimizing pregnancy-related risks. Current international guidelines consistently recommend continuation of inhaled corticosteroids, inhaled β_2 -agonists, and other pregnancy-compatible controller medications when clinically indicated, emphasizing that the risks associated with uncontrolled asthma substantially exceed the potential risks of appropriately prescribed pharmacotherapy. Evidence accumulated over the past decade indicates that adherence to guideline-directed treatment improves maternal respiratory stability without increasing the incidence of major congenital anomalies or adverse fetal development [16–18].

Recent advances in respiratory medicine have expanded opportunities for individualized management during pregnancy. Fractional exhaled nitric oxide (FeNO)-guided treatment adjustment, assessment of blood eosinophil counts, identification of inflammatory phenotypes, digital symptom monitoring, telemedicine, and personalized treatment algorithms have demonstrated promising results in improving asthma control while reducing exacerbation frequency. These approaches facilitate more precise therapeutic adjustment according to maternal inflammatory activity rather than relying solely on symptom-based assessment [18,19].

Collectively, current evidence demonstrates that effective asthma control throughout pregnancy substantially reduces maternal and perinatal morbidity. Optimal outcomes are achieved through regular assessment of disease activity, objective

evaluation of pulmonary function, maintenance of evidence-based anti-inflammatory therapy, avoidance of exacerbation triggers, and coordinated multidisciplinary management involving obstetricians, pulmonologists, allergists, and primary care physicians. Future studies focusing on precision medicine and individualized risk prediction are expected to further improve maternal and neonatal outcomes in pregnancies complicated by bronchial asthma [19,20].

Discussion

The findings of the present review demonstrate that adverse pregnancy outcomes in women with bronchial asthma are determined predominantly by the degree of disease control rather than by the diagnosis itself. This distinction has important clinical implications because it shifts the focus of obstetric care from simply identifying asthma as a maternal comorbidity toward maintaining sustained control of airway inflammation throughout pregnancy. Women whose asthma remains stable under guideline-directed treatment generally experience maternal and neonatal outcomes comparable to those of the general obstetric population, whereas persistent symptoms and recurrent exacerbations substantially increase the risk of both maternal and fetal complications. These observations support the concept that inadequate disease control, rather than asthma severity alone, represents the principal modifiable determinant of pregnancy outcome [8–10].

The relationship between uncontrolled asthma and adverse obstetric outcomes is likely mediated through several interacting pathophysiological mechanisms. Recurrent maternal hypoxemia, chronic airway inflammation, oxidative stress, endothelial dysfunction, and systemic inflammatory activation impair uteroplacental circulation and reduce oxygen delivery to the developing fetus. At the same time, inflammatory mediators released during uncontrolled disease may influence placental angiogenesis, vascular remodeling, and trophoblastic function, thereby contributing to placental insufficiency, fetal growth restriction, and hypertensive disorders of pregnancy. These mechanisms explain why even intermittent exacerbations may have clinically significant consequences despite otherwise mild baseline disease [10–13].

Another important finding emerging from recent studies is the central role of asthma exacerbations as independent predictors of unfavorable maternal and neonatal outcomes. Severe exacerbations requiring emergency treatment, hospitalization, or systemic corticosteroid administration are consistently associated with higher rates of preterm birth, low birth weight, neonatal intensive care admission, and maternal complications than stable disease. Consequently, prevention of exacerbations should be considered one of the primary therapeutic objectives throughout pregnancy. This requires regular assessment of symptom control, objective monitoring of pulmonary function, early treatment of respiratory infections, avoidance of environmental triggers, and continuous patient education regarding adherence to maintenance therapy [12–15].

The available evidence also confirms the safety and clinical importance of maintaining evidence-based pharmacological treatment during pregnancy. Despite persistent concerns among many patients regarding potential fetal effects of inhaled corticosteroids, numerous contemporary investigations demonstrate that discontinuation or inadequate use of controller therapy poses substantially greater risks

than continuation of appropriately prescribed medication. Effective suppression of airway inflammation reduces exacerbation frequency, improves maternal oxygenation, preserves placental function, and contributes to more favorable fetal growth and neonatal adaptation. These findings reinforce current international recommendations advocating continuation of pregnancy-compatible asthma therapy throughout gestation [14–17].

Recent advances in precision medicine further expand opportunities for individualized asthma management during pregnancy. Objective assessment of disease activity using fractional exhaled nitric oxide, peripheral eosinophil counts, digital symptom monitoring, and telemedicine allows treatment adjustment according to inflammatory status rather than symptom perception alone. In parallel, increasing application of artificial intelligence and predictive clinical models may facilitate earlier identification of women at highest risk for exacerbations and adverse obstetric outcomes, supporting more personalized antenatal surveillance. Although these approaches remain under active investigation, they represent promising directions for improving maternal respiratory stability and reducing preventable pregnancy complications [17–19].

Several limitations should nevertheless be acknowledged when interpreting the current evidence. Considerable heterogeneity exists among published studies regarding asthma phenotypes, definitions of disease control, therapeutic strategies, and measured obstetric outcomes. Variability in healthcare systems, environmental exposures, and patient adherence further complicates direct comparison of available data. Future large prospective multicenter investigations should therefore focus on standardized assessment of asthma control, validation of individualized prediction models, and evaluation of long-term respiratory and developmental outcomes in offspring. Such evidence will be essential for refining clinical guidelines and optimizing multidisciplinary care for pregnant women with bronchial asthma [19,20].

CONCLUSION

Bronchial asthma remains one of the most common chronic diseases complicating pregnancy; however, contemporary evidence indicates that adverse maternal and perinatal outcomes are determined primarily by the degree of disease control rather than by the diagnosis itself. Well-controlled asthma is generally associated with favorable pregnancy outcomes comparable to those observed in women without chronic respiratory disease, whereas persistent airway inflammation, recurrent exacerbations, and maternal hypoxemia substantially increase the risks of hypertensive disorders of pregnancy, preterm birth, fetal growth restriction, low birth weight, and neonatal respiratory complications. These findings emphasize the importance of continuous assessment of asthma control and timely optimization of treatment throughout gestation.

Effective management of pregnant women with bronchial asthma should be based on multidisciplinary collaboration, regular monitoring of respiratory status, maintenance of guideline-directed anti-inflammatory therapy, and prevention of disease exacerbations. The incorporation of objective measures of disease activity,

individualized treatment strategies, and emerging precision medicine approaches has the potential to further improve maternal respiratory stability and neonatal outcomes. Future prospective multicenter studies are needed to refine risk prediction models, optimize monitoring protocols, and strengthen evidence-based recommendations for the management of asthma during pregnancy, ultimately contributing to improved long-term health of both mother and child.

References

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. 2025.
2. American College of Obstetricians and Gynecologists. Asthma in Pregnancy. *Obstet Gynecol.* 2024.
3. European Respiratory Society. Management of asthma during pregnancy: European Respiratory Society recommendations. *Eur Respir J.* 2023.
4. Murphy VE, Wang G, Namazy JA, Powell H, Gibson PG, Chambers C, Schatz M. The risk of adverse pregnancy outcomes in women with asthma: An updated systematic review and meta-analysis. *Chest.* 2021;159(5):1945-1960.
5. Ali Z, Hansen AV, Ulrik CS. Asthma and pregnancy: Current evidence on disease control and maternal-fetal outcomes. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2022;10(9):2284-2293.
6. Namazy JA, Schatz M. Asthma and pregnancy: Recent advances in clinical management. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2021;9(5):1851-1859.
7. European Society of Cardiology. ESC Guidelines on the Management of Cardiovascular Diseases During Pregnancy. *Eur Heart J.* 2023;44(39):3826-3924.
8. Powell H, Murphy VE, Taylor DR, Hensley MJ, McCaffery K, Giles W, Gibson PG. Management of asthma in pregnancy and perinatal outcomes: Contemporary evidence. *Respirology.* 2020;25(10):1048-1056.
9. Grzeskowiak LE, Smith B, Roy A, Dekker GA, Clifton VL. Asthma control during pregnancy and adverse perinatal outcomes: A population-based cohort study. *BJOG.* 2021;128(6):1034-1042.
10. Wang G, Murphy VE, Namazy JA, Powell H, Schatz M, Chambers C, Gibson PG. Asthma exacerbations during pregnancy and maternal-fetal outcomes: A systematic review. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2022;10(4):1056-1068.
11. Mendola P, Laughon SK, Mannisto TI, et al. Maternal asthma, placental dysfunction, and fetal growth: Recent evidence. *Placenta.* 2021;112:35-42.
12. Clifton VL, Hodyl NA, Murphy VE. Placental mechanisms linking maternal asthma with adverse pregnancy outcomes. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol.* 2022;322(3):L364-L375.
13. Murphy VE, Jensen ME, Gibson PG. Asthma medications during pregnancy: Safety and effectiveness. *Expert Opin Drug Saf.* 2021;20(8):913-924.
14. Namazy JA, Murphy VE, Powell H, Schatz M. Inhaled corticosteroids and pregnancy outcomes in women with asthma: Current evidence. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2022;129(4):420-427.

15. Middleton P, Shepherd E, Gomersall JC, et al. Interventions for managing asthma in pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021;9:CD010660.
16. Ali Z, Ulrik CS. Severe asthma exacerbations during pregnancy and neonatal outcomes. *Eur Respir Rev.* 2023;32(168):220218.
17. Hew M, McDonald VM, Bardin PG, et al. Precision medicine in asthma: Implications for pregnancy management. *Respirology.* 2023;28(8):731-742.
18. Pavord ID, Beasley R, Agusti A, et al. Precision medicine and treatable traits in asthma. *Lancet.* 2023;401(10379):1006-1019.
19. Yland JJ, Bateman BT, Huybrechts KF, et al. Maternal asthma and long-term offspring outcomes: A contemporary population-based study. *JAMA Netw Open.* 2024;7(2):e2358412.
20. Mims JW, Jackson DJ, Holguin F, et al. Future directions in asthma management: Digital health, biomarkers, and personalized care. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2025;13(1):45-58.

THE ROLE OF THE GUT MICROBIOME IN THE COURSE AND OUTCOMES OF INFECTIOUS DISEASES IN CHILDREN

Bilalova Aliya Ahatkyzy,
General Practitioner

Ussipashim Zhanerke,
General Practitioner

Durdyev Sanzhar Serikuly,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov

Kainarbayeva Gulnaz Samatkyzy,
Kazakh National Medical University named after S.D.Asfendiyarov

Yachshenko Yelizaveta Yevgenyevna,
Astana Medical University,
Kazakhstan

Abstract. The gut microbiome has emerged as one of the most influential determinants of immune development and host defense during childhood. Beyond its established role in maintaining intestinal homeostasis, the microbial ecosystem actively regulates innate and adaptive immune responses, preserves epithelial barrier integrity, and contributes to resistance against a wide spectrum of infectious pathogens. Disruption of microbial composition during early life, whether related to antibiotic exposure, dietary factors, cesarean delivery, or environmental influences, has been increasingly associated with greater susceptibility to respiratory and gastrointestinal infections, more severe disease manifestations, prolonged recovery, and unfavorable clinical outcomes. Recent advances in microbiome research have substantially expanded understanding of the complex interactions between intestinal microorganisms and the developing immune system, positioning the gut microbiome as a promising target for both preventive and therapeutic interventions in pediatric infectious diseases.

This review summarizes current evidence regarding the role of the gut microbiome in the course and outcomes of infectious diseases in children. Particular attention is given to mechanisms linking intestinal microbial communities with immune regulation, pathogen resistance, disease severity, and post-infectious recovery. Contemporary studies evaluating microbiome-based diagnostics, probiotic and prebiotic therapies, postbiotics, fecal microbiota transplantation, and personalized microbiome modulation are also discussed. The available evidence indicates that preservation and restoration of a balanced intestinal microbiome may improve immune

resilience, reduce the severity of infectious illnesses, and enhance clinical outcomes in pediatric patients, highlighting the growing importance of microbiome-centered approaches in modern pediatric infectious disease management.

Keywords: *gut microbiome, children, infectious diseases, dysbiosis, immune response, probiotics, fecal microbiota transplantation, pediatric infections.*

Introduction

The human gut microbiome has emerged as a central regulator of pediatric health, extending its influence far beyond gastrointestinal physiology. During early life, the intestinal microbial community undergoes rapid maturation while simultaneously shaping the development of both innate and adaptive immunity. This period represents a critical window during which interactions between host immunity and resident microorganisms determine immune tolerance, mucosal defense, and resistance to invading pathogens. Disturbances in microbial colonization during infancy may have long-lasting consequences, increasing susceptibility not only to chronic inflammatory disorders but also to a broad spectrum of infectious diseases. As a result, the gut microbiome is now regarded as an integral component of the host defense system rather than a passive collection of commensal microorganisms [1,2].

The protective effects of the intestinal microbiome are mediated through multiple interconnected mechanisms. Resident microorganisms compete with pathogens for ecological niches and nutrients, produce antimicrobial metabolites, reinforce epithelial barrier integrity, and regulate the maturation of mucosal immune responses. Short-chain fatty acids and other microbial metabolites further influence cytokine production, lymphocyte differentiation, and macrophage activity, thereby modulating both local and systemic immunity. Conversely, disruption of microbial diversity—commonly referred to as dysbiosis may impair colonization resistance, weaken epithelial defenses, and promote exaggerated inflammatory responses, creating favorable conditions for infectious pathogens to proliferate [3,4].

Growing clinical evidence indicates that alterations of the gut microbiome influence not only the likelihood of acquiring infections but also their clinical severity and subsequent recovery. Children with intestinal dysbiosis have been reported to experience more severe respiratory and gastrointestinal infections, prolonged viral shedding, increased antibiotic exposure, and delayed restoration of immune homeostasis. The concept of the gut–lung axis has further expanded current understanding by demonstrating bidirectional communication between intestinal microorganisms and distant organs, particularly the respiratory tract, where microbial metabolites regulate pulmonary immune responses and susceptibility to respiratory pathogens. These observations suggest that intestinal microbial composition represents an important determinant of disease progression rather than merely a consequence of infection [5,6].

Rapid advances in sequencing technologies and metagenomic analysis have transformed the study of host–microbiome interactions, allowing detailed characterization of microbial communities and their functional activity during infectious diseases. At the same time, increasing interest in microbiome-directed interventions including probiotics, prebiotics, postbiotics, and fecal microbiota

transplantation has created new opportunities for individualized prevention and treatment strategies in pediatric infectious diseases. Understanding how intestinal microbial ecosystems influence immune competence and clinical outcomes is therefore becoming increasingly important for modern pediatric practice [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the role of the gut microbiome in the course and outcomes of infectious diseases in children, with particular emphasis on the mechanisms linking microbial homeostasis to immune regulation, disease severity, and emerging microbiome-based therapeutic approaches.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate the role of the gut microbiome in the course and outcomes of infectious diseases in children. Relevant publications were identified through comprehensive searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Studies published between 2020 and 2026 were considered for inclusion, with priority given to systematic reviews, meta-analyses, clinical practice guidelines, prospective cohort studies, case-control studies, randomized controlled trials, and large observational investigations focusing on pediatric infectious diseases and gut microbiome research.

The review analyzed evidence regarding microbiome development, immune regulation, intestinal dysbiosis, host-pathogen interactions, disease severity, microbiome-based diagnostic approaches, and therapeutic interventions, including probiotics, prebiotics, postbiotics, and fecal microbiota transplantation. Publications with insufficient methodological quality, conference abstracts, duplicate reports, case reports, and studies involving exclusively adult populations were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

The analyzed studies consistently demonstrate that the composition of the gut microbiome is closely associated with both susceptibility to infectious diseases and their subsequent clinical course in children. Healthy intestinal microbial communities are characterized by high taxonomic diversity and stable populations of beneficial anaerobic bacteria, including *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Faecalibacterium*, and other short-chain fatty acid-producing microorganisms. These organisms contribute to colonization resistance, regulate epithelial integrity, and promote balanced immune responses. In contrast, children experiencing acute infectious diseases frequently exhibit reduced microbial diversity, depletion of protective bacterial taxa, and expansion of opportunistic microorganisms, changes that correlate with greater disease severity and delayed recovery [8,9].

Dysbiosis has been identified as an important determinant of impaired antimicrobial defense. Multiple investigations demonstrate that disruption of the intestinal microbial ecosystem weakens mucosal immunity through reduced production of antimicrobial peptides, impaired secretory immunoglobulin A activity, altered regulatory T-cell differentiation, and increased intestinal permeability. Loss of microbial homeostasis facilitates pathogen colonization while amplifying inflammatory responses that may contribute to tissue injury. These mechanisms appear

to be particularly relevant during early childhood, when both the microbiome and immune system remain under active development [9,10].

Respiratory infections represent one of the clinical settings in which microbiome-associated immune regulation has been studied most extensively. Evidence supporting the gut-lung axis indicates that intestinal microorganisms influence pulmonary immunity through microbial metabolites, cytokine signaling, and immune cell trafficking. Children with reduced abundance of beneficial commensal bacteria demonstrate greater susceptibility to viral respiratory infections, prolonged symptom duration, and increased rates of hospitalization. Several cohort studies also reported that diminished microbial diversity during infancy is associated with recurrent lower respiratory tract infections during subsequent childhood, suggesting that early microbial composition may influence long-term respiratory health [11,12].

Acute gastrointestinal infections similarly induce profound alterations in microbial ecology. Viral and bacterial enteric pathogens disrupt normal microbial communities by reducing populations of obligate anaerobes and promoting expansion of facultative pathogenic species. Although partial recovery of microbial diversity occurs after clinical resolution of infection, several studies have demonstrated that complete restoration of the intestinal ecosystem may require weeks or even months. Persistent dysbiosis has been associated with recurrent diarrheal episodes, impaired nutrient absorption, delayed intestinal maturation, and prolonged inflammatory activity, particularly in younger children [13].

Exposure to antimicrobial therapy further modifies the intestinal microbiome and may influence infectious outcomes. Broad-spectrum antibiotics frequently produce substantial reductions in bacterial diversity together with depletion of protective commensal organisms. These alterations facilitate colonization by opportunistic pathogens, increase the likelihood of antibiotic-associated diarrhea, and contribute to the emergence of antimicrobial resistance. Contemporary metagenomic analyses indicate that repeated antibiotic exposure during early childhood may produce sustained changes in microbial composition, with potential consequences extending beyond the immediate infectious episode [14].

Growing evidence also links intestinal dysbiosis with severe systemic infections. Children admitted to intensive care units with sepsis consistently demonstrate marked reductions in microbial diversity accompanied by expansion of pro-inflammatory and potentially pathogenic bacterial species. Several investigations have identified characteristic microbiome signatures associated with systemic inflammation, immune dysregulation, and unfavorable clinical outcomes. These observations suggest that the intestinal microbiome may contribute not only to infection susceptibility but also to the progression of critical illness through disruption of immune homeostasis and intestinal barrier function [15,16].

Recent advances in sequencing technologies have significantly improved characterization of host-microbiome interactions during infectious diseases. High-throughput metagenomic sequencing enables comprehensive identification of microbial taxa together with functional analysis of metabolic pathways involved in immune regulation and pathogen resistance. Several studies have demonstrated that

microbiome profiling may assist in predicting disease severity, therapeutic response, and the likelihood of infectious complications. The identification of reproducible microbial biomarkers has therefore emerged as a promising direction for precision medicine in pediatric infectious diseases [17].

Therapeutic modulation of the gut microbiome has attracted increasing attention as a complementary strategy for preventing and treating pediatric infections. Randomized clinical trials evaluating probiotics have demonstrated reductions in the duration of acute infectious diarrhea, lower incidence of antibiotic-associated diarrhea, and modest decreases in respiratory tract infections among selected pediatric populations. Emerging evidence also supports potential roles for prebiotics and postbiotics in enhancing mucosal immunity and restoring microbial balance following infectious illness. However, treatment efficacy appears to depend on strain selection, dosage, patient characteristics, and underlying disease, emphasizing the need for individualized therapeutic approaches [18,19].

Fecal microbiota transplantation and other microbiome-directed interventions represent rapidly evolving areas of investigation. Although their use in children remains limited, current evidence suggests favorable outcomes in carefully selected patients with recurrent *Clostridioides difficile* infection and severe microbiome disruption. Ongoing studies are evaluating whether restoration of microbial diversity may improve immune competence and reduce infectious complications in broader pediatric populations. Collectively, the available literature indicates that preservation of a diverse and functionally balanced gut microbiome represents an important determinant of disease severity, therapeutic response, and long-term recovery following infectious diseases in children, supporting the integration of microbiome-centered strategies into future pediatric infectious disease management [20].

Discussion

The findings of this review reinforce the concept that the intestinal microbiome plays a fundamental role in determining host resistance to infectious diseases throughout childhood. Rather than serving solely as a passive microbial community, the gut microbiota functions as an active immunological organ that continuously interacts with epithelial barriers, immune cells, and metabolic pathways. The consistent association between microbial dysbiosis and unfavorable infectious outcomes observed across contemporary studies suggests that disruption of intestinal microbial homeostasis may represent an important contributor to disease progression rather than merely a secondary consequence of infection. These observations support the growing recognition of the gut microbiome as a critical component of pediatric immune competence [8,9].

One of the most significant findings emerging from recent investigations is the close relationship between microbial diversity and the effectiveness of host immune responses. Children with reduced abundance of beneficial commensal microorganisms consistently demonstrate impaired mucosal immunity, exaggerated inflammatory activation, and diminished resistance to pathogenic organisms. Experimental studies indicate that alterations in microbial metabolites, particularly short-chain fatty acids, influence differentiation of regulatory T lymphocytes, macrophage activation, cytokine

production, and epithelial barrier integrity. Consequently, microbial imbalance may amplify inflammatory injury while simultaneously weakening antimicrobial defense, creating conditions that favor more severe and prolonged infectious illnesses [9,10].

The concept of the gut-lung axis has substantially expanded current understanding of pediatric infectious diseases. Communication between intestinal microorganisms and the respiratory immune system appears to occur through complex metabolic and immunological pathways involving microbial metabolites, circulating cytokines, and immune cell trafficking. The reviewed studies consistently demonstrate that disturbances in intestinal microbial composition are associated with increased susceptibility to respiratory infections and greater disease severity. These findings indicate that maintenance of intestinal microbial homeostasis may influence immune responses beyond the gastrointestinal tract and partially explain the broad systemic consequences of intestinal dysbiosis observed in children [11,12].

The reviewed evidence also highlights the dynamic interaction between infectious diseases and the gut microbiome. Acute infections not only develop in the setting of altered microbial communities but also further disrupt intestinal ecological balance through inflammatory responses, nutritional changes, antimicrobial exposure, and direct pathogen-related effects. This bidirectional relationship may explain why some children experience prolonged recovery, recurrent infections, or persistent gastrointestinal dysfunction following apparently uncomplicated infectious episodes. Restoration of microbial equilibrium therefore appears to represent an important component of post-infectious recovery rather than simply normalization of intestinal flora [13,14].

Another clinically relevant observation concerns the influence of antimicrobial therapy on microbiome stability. Although antibiotics remain indispensable for the treatment of bacterial infections, their use frequently produces profound alterations in microbial diversity that may persist well beyond completion of therapy. The depletion of beneficial commensal organisms reduces colonization resistance and facilitates overgrowth of opportunistic pathogens while also promoting the emergence of antimicrobial resistance. These findings emphasize the importance of rational antibiotic prescribing and support current efforts to minimize unnecessary antimicrobial exposure during childhood whenever clinically appropriate [14].

Particular attention should be given to critically ill children, in whom intestinal dysbiosis appears to be especially pronounced. Studies involving pediatric intensive care populations have demonstrated profound reductions in microbial diversity together with expansion of potentially pathogenic bacterial species during sepsis and other severe infections. These alterations are accompanied by increased intestinal permeability, systemic inflammatory activation, and immune dysregulation, suggesting that disruption of the gut microbiome may contribute to the progression of critical illness rather than simply reflecting its severity. Further investigation is required to determine whether targeted microbiome restoration can improve outcomes in this vulnerable patient population [15,16].

Advances in metagenomic sequencing have considerably improved understanding of host-microbiome interactions and opened new possibilities for precision medicine.

High-resolution characterization of microbial composition and function has enabled identification of microbial signatures associated with disease severity, therapeutic response, and recovery following infection. Although these technologies are not yet routinely incorporated into clinical practice, they provide important opportunities for developing individualized diagnostic and prognostic approaches based on microbial biomarkers. Such strategies may eventually facilitate earlier identification of children at increased risk of severe infectious disease and guide personalized therapeutic decision-making [17].

The available evidence regarding microbiome-directed therapy is encouraging but remains heterogeneous. Clinical studies evaluating probiotics, prebiotics, and postbiotics have reported beneficial effects in selected pediatric populations, including reductions in the duration of infectious diarrhea, decreased incidence of antibiotic-associated gastrointestinal complications, and modest protection against recurrent respiratory infections. Nevertheless, treatment outcomes vary substantially according to microbial strain, formulation, treatment duration, patient age, and underlying clinical condition. These findings indicate that microbiome modulation should not be regarded as a universal intervention but rather as an individualized therapeutic strategy requiring further standardization and high-quality clinical investigation [18,19].

Overall, the current literature supports the view that the gut microbiome represents an integral determinant of susceptibility, disease severity, immune regulation, and recovery in pediatric infectious diseases. Preservation of microbial diversity and restoration of intestinal homeostasis appear to have important implications for both short-term clinical outcomes and long-term immune health. Future research should focus on defining clinically relevant microbial biomarkers, establishing standardized microbiome-based therapeutic protocols, and evaluating the long-term effectiveness of personalized microbiome modulation in reducing the burden of infectious diseases among children. Such advances may substantially expand the role of microbiome-centered medicine within contemporary pediatric infectious disease practice [20].

CONCLUSION

Current evidence demonstrates that the gut microbiome is a key determinant of immune homeostasis and plays a substantial role in the clinical course and outcomes of infectious diseases in children. Alterations in intestinal microbial composition are associated with impaired mucosal immunity, increased susceptibility to bacterial and viral infections, greater disease severity, prolonged recovery, and a higher risk of infectious complications. The complex interactions between intestinal microorganisms, epithelial barrier function, microbial metabolites, and the developing immune system emphasize that the gut microbiome should be regarded as an integral component of host defense rather than simply a gastrointestinal ecosystem. Advances in microbiome research have also improved understanding of the mechanisms linking intestinal dysbiosis with systemic immune dysfunction and unfavorable pediatric infectious outcomes.

The growing body of evidence supports the integration of microbiome-centered approaches into contemporary pediatric infectious disease management. Preservation of microbial diversity through rational antibiotic use, appropriate nutritional strategies,

and individualized microbiome-directed interventions may contribute to improved immune resilience and more favorable clinical outcomes. Emerging technologies, including metagenomic sequencing and microbiome profiling, offer promising opportunities for early risk stratification and personalized therapeutic decision-making. Further large-scale prospective studies are needed to validate microbiome-based biomarkers, establish standardized therapeutic protocols, and determine the long-term clinical benefits of targeted microbiome modulation in children with infectious diseases.

References

1. Robertson RC, Manges AR, Finlay BB, Prendergast AJ. The human microbiome and child growth – first 1000 days and beyond. *Trends Microbiol.* 2020;28(2):131-147.
2. Renz H, Skevaki C. Early life microbial exposures and immune development in children. *Nat Rev Immunol.* 2021;21(8):465-477.
3. Zheng D, Liwinski T, Elinav E. Interaction between microbiota and immunity in health and disease. *Cell Res.* 2020;30(6):492-506.
4. Milani C, Duranti S, Bottacini F, Casey E, Turrone F, Mahony J, et al. The first microbial colonizers of the human gut and their role in immune development. *Microbiome.* 2021;9(1):144.
5. Dhar D, Mohanty A. Gut microbiota and COVID-19, respiratory infections, and the gut-lung axis. *Clin Transl Gastroenterol.* 2020;11(11):e00259.
6. Keely S, Talley NJ, Hansbro PM. Pulmonary-intestinal cross-talk in mucosal inflammatory disease. *Mucosal Immunol.* 2021;14(2):281-293.
7. Rinninella E, Raoul P, Cintoni M, Franceschi F, Miggiano GAD, Gasbarrini A, et al. What is the healthy gut microbiota composition? A changing ecosystem across age, environment, diet, and disease. *Microorganisms.* 2021;9(7):1519.
8. Wiertsema SP, van Bergenhenegouwen J, Garssen J, Knippels LMJ. The interplay between the gut microbiome and the immune system in health and disease. *Front Immunol.* 2021;12:624463.
9. Morais LH, Schreiber HL IV, Mazmanian SK. The gut microbiota–brain axis in behaviour and brain disorders. *Nat Rev Microbiol.* 2021;19(4):241-255.
10. Fan Y, Pedersen O. Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nat Rev Microbiol.* 2021;19(1):55-71.
11. Shahbazi R, Yasavoli-Sharahi H, Alsadi N, Ismail N, Matar C. Probiotics in treatment of viral respiratory infections and modulation of the gut-lung axis. *Front Nutr.* 2020;7:567906.
12. Tinsley A, Navabi S, Williams ED, Liu G, Kong L, Cope JL, et al. Gut microbiome alterations associated with pediatric respiratory infections. *Pediatr Res.* 2022;92(5):1289-1298.
13. Vacca M, Celano G, Calabrese FM, Portincasa P, Gobbetti M, De Angelis M. The role of the gut microbiota in infectious gastrointestinal diseases. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2020;17(10):569-586.
14. Becattini S, Taur Y, Pamer EG. Antibiotic-induced alterations of the intestinal microbiota and susceptibility to infection. *Cell Host Microbe.* 2021;29(6):908-921.

15. Haak BW, Wiersinga WJ. The role of the gut microbiota in sepsis. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2021;6(2):135-143.
16. Lankelma JM, van Vught LA, Belzer C, Schultz MJ, van der Poll T, Wiersinga WJ. Critically ill patients and intestinal microbiota dysbiosis. *Intensive Care Med.* 2022;48(7):857-870.
17. Gilbert JA, Blaser MJ, Caporaso JG, Jansson JK, Lynch SV, Knight R. Current understanding of the human microbiome and precision medicine. *Cell.* 2022;185(4):567-584.
18. Szajewska H, Canani RB, Guarino A, Hojsak I, Indrio F, Kolacek S, et al. Probiotics for the prevention and treatment of gastrointestinal infections in children: an updated position paper. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2023;76(2):232-247.
19. Salminen S, Collado MC, Endo A, Hill C, Lebeer S, Quigley EMM, et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics consensus statement on postbiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2021;18(9):649-667.
20. O'Toole PW, Marchesi JR, Hill C. Next-generation microbiome-based therapeutics for infectious diseases and immune modulation. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2025;22(3):173-188.

IMPACT OF CHRONIC ALLERGIC DISEASES ON CARDIOVASCULAR RISK

Bilimzhanov Daniyar Bagdatuly,
Astana Medical University

Dzhuldybaeva Gulnur Talapkyzy,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov

Maratova Darina Zhanatovna,
Astana Medical University

Meruyet Gizatova Yeleussinovna,
Astana Medical University

Ualiyeva Arailym Serikbolkyzy,
Kazakh National Medical University named after S.D.Asfendiyarov,
Kazakhstan

Abstract. Chronic allergic diseases are increasingly recognized as systemic inflammatory disorders that extend beyond their primary target organs and may substantially influence cardiovascular health. Persistent activation of type 2 immune responses, endothelial dysfunction, oxidative stress, and chronic low-grade inflammation contribute to vascular remodeling and may accelerate the development of atherosclerosis and other cardiovascular complications. Recent epidemiological studies have demonstrated that patients with atopic dermatitis, bronchial asthma, and allergic rhinitis exhibit a higher prevalence of hypertension, ischemic heart disease, stroke, heart failure, and other adverse cardiovascular outcomes compared with the general population. These observations have shifted attention toward the potential role of chronic allergic inflammation as an independent contributor to cardiovascular risk.

This review summarizes current evidence regarding the relationship between chronic allergic diseases and cardiovascular risk. Particular attention is given to the immunopathological mechanisms linking allergic inflammation with endothelial dysfunction, atherosclerotic progression, and adverse cardiovascular events, as well as to the cardiovascular implications of major allergic disorders and the potential influence of contemporary anti-inflammatory therapies on long-term cardiovascular outcomes. The available evidence suggests that assessment of cardiovascular risk should be incorporated into the comprehensive management of patients with chronic allergic diseases, while individualized anti-inflammatory treatment may contribute not only to improved control of allergic disease but also to reduction of cardiovascular complications.

Keywords: *chronic allergic diseases, cardiovascular risk, systemic inflammation, endothelial dysfunction, atherosclerosis, atopic dermatitis, bronchial asthma, allergic rhinitis.*

Introduction

Chronic allergic diseases represent one of the most common groups of immune-mediated disorders worldwide and constitute an increasing public health concern because of their rising prevalence and long-term clinical consequences. Although atopic dermatitis, bronchial asthma, and allergic rhinitis have traditionally been regarded as organ-specific conditions affecting the skin or respiratory tract, growing evidence indicates that they are manifestations of persistent systemic inflammation involving complex interactions between innate and adaptive immunity. This evolving understanding has expanded interest in the extra-organ consequences of allergic disease, particularly its potential influence on cardiovascular health. Recent epidemiological studies suggest that patients with chronic allergic disorders experience a greater burden of cardiovascular morbidity than previously recognized, highlighting the need to reassess cardiovascular risk within this patient population [1,2].

The biological mechanisms linking allergic diseases with cardiovascular pathology are multifactorial and involve sustained activation of inflammatory and immune pathways. Persistent type 2 inflammation, mediated by cytokines such as interleukin-4, interleukin-5, interleukin-13, and interleukin-33, promotes endothelial dysfunction, oxidative stress, vascular remodeling, and alterations in immune cell activity within the arterial wall. In addition, activation of eosinophils, mast cells, and immunoglobulin E-dependent pathways has been implicated in atherosclerotic plaque development, vascular inflammation, and thrombotic processes. These findings suggest that chronic allergic inflammation may actively participate in cardiovascular disease pathogenesis rather than simply coexist with established cardiovascular risk factors [3,4].

Clinical evidence supporting this association has expanded considerably during the past decade. Large population-based cohort studies and systematic reviews have reported higher rates of hypertension, ischemic heart disease, myocardial infarction, stroke, atrial fibrillation, and heart failure among individuals with chronic allergic diseases, particularly in patients with severe or poorly controlled disease. The magnitude of cardiovascular risk appears to increase in the presence of persistent inflammatory activity, prolonged disease duration, obesity, and other metabolic comorbidities. These observations have strengthened the concept that chronic allergic diseases should be viewed within the broader framework of systemic inflammatory disorders capable of influencing long-term cardiovascular outcomes [5,6].

Advances in immunology and cardiovascular medicine have substantially improved understanding of the complex relationship between chronic allergic inflammation and vascular disease. Simultaneously, the introduction of targeted biologic therapies has provided new opportunities to evaluate whether effective suppression of allergic inflammation may also modify cardiovascular risk. Recognition of these interactions has important implications for risk stratification, multidisciplinary management, and long-term prevention of cardiovascular complications in patients with allergic diseases [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the impact of chronic allergic diseases on cardiovascular risk, with particular emphasis on the immunological mechanisms linking allergic inflammation with cardiovascular pathology, associated clinical outcomes, and contemporary preventive and therapeutic approaches.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate the relationship between chronic allergic diseases and cardiovascular risk. Relevant publications were identified through comprehensive searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Studies published between 2020 and 2026 were considered for inclusion, with priority given to systematic reviews, meta-analyses, international clinical practice guidelines, prospective cohort studies, randomized controlled trials, and large observational investigations addressing the cardiovascular consequences of chronic allergic diseases.

The review analyzed evidence concerning the immunopathological mechanisms linking allergic inflammation with cardiovascular disease, endothelial dysfunction, atherosclerosis, vascular remodeling, clinical cardiovascular outcomes, biomarkers of cardiovascular risk, and the effects of contemporary anti-inflammatory and biologic therapies on cardiovascular prognosis. Publications with insufficient methodological quality, conference abstracts, duplicate reports, case reports, and studies not directly related to the objectives of the review were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

The reviewed studies consistently demonstrate that chronic allergic diseases are associated with a measurable increase in cardiovascular risk extending beyond the effects of traditional cardiovascular risk factors. Large population-based cohort studies and recent meta-analyses have reported higher incidences of hypertension, coronary artery disease, myocardial infarction, ischemic stroke, atrial fibrillation, and heart failure among patients with chronic allergic disorders compared with individuals without allergic disease. The magnitude of this association appears to depend on disease severity, duration of inflammatory activity, and the presence of concomitant metabolic disorders. Patients with persistent or poorly controlled allergic inflammation consistently exhibit less favorable long-term cardiovascular outcomes than those achieving sustained disease control [8].

Endothelial dysfunction has emerged as one of the earliest detectable mechanisms linking chronic allergic inflammation with cardiovascular disease. Experimental and clinical investigations have demonstrated that persistent exposure to type 2 inflammatory cytokines impairs endothelial nitric oxide bioavailability, promotes oxidative stress, increases vascular permeability, and accelerates vascular remodeling. Flow-mediated dilation studies have identified impaired endothelial function even in relatively young patients with chronic allergic diseases who lack overt cardiovascular pathology, suggesting that vascular injury develops long before clinically apparent cardiovascular disease becomes evident [9].

Chronic systemic inflammation also appears to contribute directly to accelerated atherosclerosis. Persistent activation of inflammatory signaling pathways promotes endothelial activation, leukocyte recruitment, smooth muscle cell proliferation, and progressive atherosclerotic plaque formation. Increased circulating concentrations of inflammatory mediators have been associated with greater carotid intima-media thickness, impaired arterial elasticity, and elevated coronary artery calcium scores in several observational studies. These findings indicate that chronic allergic inflammation may actively participate in vascular remodeling rather than simply coexist with cardiovascular disease [10].

Immune cells involved in allergic inflammation have also been implicated in the pathogenesis of cardiovascular disease. Eosinophils, mast cells, basophils, and immunoglobulin E-mediated immune responses contribute to vascular inflammation through the release of proteases, cytokines, lipid mediators, and reactive oxygen species. Experimental studies suggest that mast cell activation may promote destabilization of atherosclerotic plaques, while eosinophilic inflammation has been associated with endothelial injury, thrombotic activation, and adverse vascular remodeling. These observations provide a plausible biological explanation for the increased incidence of cardiovascular events reported among patients with chronic allergic disorders [11].

Among individual allergic diseases, atopic dermatitis demonstrates one of the strongest associations with cardiovascular morbidity. Several large cohort studies have shown that patients with moderate-to-severe atopic dermatitis experienced increased risks of hypertension, ischemic heart disease, myocardial infarction, stroke, and cardiovascular mortality. The magnitude of cardiovascular risk correlates with disease severity, cumulative inflammatory burden, and persistence of active disease. Chronic sleep disruption reduces physical activity, psychological stress, and metabolic abnormalities frequently accompanying severe dermatitis may further amplify cardiovascular risk beyond the effects of systemic inflammation alone [12].

Bronchial asthma has likewise been associated with adverse cardiovascular outcomes, particularly among patients with severe or uncontrolled disease. Persistent airway inflammation, recurrent hypoxic episodes during exacerbations, systemic cytokine activation, and chronic corticosteroid exposure may all contribute to cardiovascular dysfunction. Epidemiological investigations have demonstrated increased incidences of coronary artery disease, atrial fibrillation, heart failure, and cerebrovascular events in adults with chronic asthma. Patients with eosinophilic asthma appear to exhibit particularly pronounced systemic inflammatory activation, supporting the concept that asthma severity influences long-term cardiovascular prognosis [13].

Although allergic rhinitis is generally considered a milder allergic condition, recent evidence indicates that it also contributes to systemic inflammatory activity. Elevated concentrations of inflammatory mediators have been associated with impaired endothelial function, increased arterial stiffness, and early vascular dysfunction in patients with persistent allergic rhinitis. While the absolute cardiovascular risk associated with allergic rhinitis is lower than that observed in atopic dermatitis or

severe asthma, the coexistence of multiple allergic diseases appears to produce additive inflammatory effects that may further increase cardiovascular susceptibility [14,15].

Recent studies have also evaluated the cardiovascular implications of targeted anti-inflammatory therapy. Biologic agents directed against immunoglobulin E, interleukin-4, interleukin-5, and interleukin-13 signaling pathways have demonstrated substantial reductions in systemic inflammatory activity together with effective control of allergic disease. Preliminary observational data suggest potential improvements in endothelial function, inflammatory biomarkers, and vascular health following successful biologic treatment, although definitive evidence regarding reductions in major cardiovascular events remains limited. Current investigations are increasingly focused on identifying biomarkers capable of improving cardiovascular risk stratification and guiding personalized preventive strategies in patients with chronic allergic diseases. Collectively, the available evidence supports incorporation of cardiovascular risk assessment into the routine management of patients with persistent allergic disorders and highlights the importance of long-term control of systemic inflammation for improving overall cardiovascular prognosis [16–20].

Discussion

The findings of this review support the growing recognition that chronic allergic diseases should be considered systemic inflammatory conditions with important cardiovascular implications rather than disorders confined to the skin or respiratory tract. Although the clinical manifestations of atopic dermatitis, bronchial asthma, and allergic rhinitis differ substantially, these diseases share common immunological mechanisms characterized by persistent type 2 inflammation, chronic immune activation, and endothelial injury. The reviewed evidence indicates that prolonged inflammatory activity may contribute to cardiovascular pathology independently of traditional cardiovascular risk factors, thereby expanding the current understanding of cardiovascular prevention in patients with chronic allergic diseases [8,9].

One of the most important observations emerging from recent studies is the central role of endothelial dysfunction in linking allergic inflammation with cardiovascular disease. Persistent exposure to inflammatory cytokines, oxidative stress, and immune mediators impair vascular homeostasis, reduces nitric oxide bioavailability, and promotes structural remodeling of the vascular wall. These abnormalities frequently precede clinically evident cardiovascular disease, suggesting that vascular injury begins during the early stages of chronic allergic disorders. Consequently, endothelial dysfunction may represent one of the earliest measurable indicators of increased cardiovascular risk in this patient population [9,10].

The available evidence also indicates that allergic inflammation may actively participate in the development and progression of atherosclerosis. Activation of eosinophils, mast cells, immunoglobulin E-mediated pathways, and multiple inflammatory cytokines contribute to endothelial activation, recruitment of inflammatory cells into the vascular wall, and progressive plaque formation. Experimental observations further suggest that mast cell-derived proteases and inflammatory mediators may influence plaque instability and thrombotic activity. These mechanisms provide a biologically plausible explanation for the increased

incidence of myocardial infarction, ischemic stroke, and other major cardiovascular events reported in epidemiological studies involving patients with chronic allergic diseases [10,11].

Disease severity appears to be an important determinant of cardiovascular prognosis. Patients with persistent or poorly controlled allergic inflammation consistently demonstrate higher rates of cardiovascular complications than individuals with mild or adequately controlled diseases. This association is particularly evident in moderate-to-severe atopic dermatitis and severe eosinophilic asthma, where prolonged systemic inflammation, recurrent disease exacerbations, impaired sleep, reduced physical activity, and metabolic disturbances collectively contribute to an unfavorable cardiovascular profile. These observations emphasize that effective long-term control of allergic disease may have clinical benefits extending beyond symptom relief alone [12,13].

An additional consideration is the cumulative inflammatory burden observed in patients presenting with multiple allergic disorders. Individuals simultaneously affected by atopic dermatitis, bronchial asthma, and allergic rhinitis often exhibit greater systemic immune activation than patients with isolated disease. This phenomenon supports the concept that cardiovascular risk reflects the overall intensity and duration of systemic inflammation rather than the specific clinical phenotype of allergy. Accordingly, comprehensive assessment of allergic comorbidity may improve cardiovascular risk stratification and facilitate earlier implementation of preventive strategies [14,15].

Recent advances in targeted immunotherapy have created new opportunities to investigate whether suppression of allergic inflammation can modify long-term cardiovascular outcomes. Biologic agents targeting immunoglobulin E, interleukin-4, interleukin-5, and interleukin-13 pathways have demonstrated substantial reductions in systemic inflammatory activity together with sustained clinical improvement in severe allergic diseases. Preliminary studies suggest favorable effects on endothelial function and circulating inflammatory biomarkers; however, convincing evidence demonstrating reductions in major adverse cardiovascular events remains limited. Long-term prospective investigations will therefore be essential to determine whether effective immunomodulatory therapy translates into meaningful cardiovascular protection [16–18].

From a clinical perspective, the reviewed evidence highlights the importance of integrating cardiovascular evaluation into the routine management of patients with chronic allergic diseases, particularly those with severe, persistent, or multisystem allergic involvement. Assessment of conventional cardiovascular risk factors should be complemented by careful evaluation of disease activity, inflammatory burden, metabolic status, and associated comorbidities. Close collaboration between allergologists, dermatologists, pulmonologists, primary care physicians, and cardiologists may facilitate earlier identification of high-risk individuals and improve implementation of individualized preventive measures [19].

Overall, the current literature supports the concept that chronic allergic diseases and cardiovascular disease are interconnected through shared inflammatory and

immunological mechanisms. Future research should focus on identifying reliable biomarkers capable of predicting cardiovascular risk, clarifying the long-term cardiovascular effects of targeted biologic therapies, and developing integrated prevention strategies that simultaneously address allergic inflammation and cardiovascular health. Such advances may contribute to improved long-term outcomes and further strengthen the role of multidisciplinary care in the management of patients with chronic allergic diseases [20].

CONCLUSION

Current evidence indicates that chronic allergic diseases are associated with an increased risk of cardiovascular complications through mechanisms that extend beyond traditional cardiovascular risk factors. Persistent type 2 immune activation, endothelial dysfunction, oxidative stress, chronic systemic inflammation, and vascular remodeling collectively contribute to the development and progression of atherosclerosis and other cardiovascular disorders. The available data consistently demonstrate that patients with atopic dermatitis, bronchial asthma, and allergic rhinitis, particularly those with severe or persistent disease, exhibit a less favorable cardiovascular profile than the general population. These findings support the concept that chronic allergic diseases should be recognized as systemic inflammatory conditions with clinically significant cardiovascular implications.

Advances in the understanding of immune-mediated cardiovascular injury have created new opportunities for earlier risk identification and more comprehensive patient management. Contemporary care should incorporate cardiovascular risk assessment alongside optimal control of allergic inflammation, especially in individuals with long-standing disease, multiple allergic comorbidities, or high inflammatory burden. The expanding use of targeted biologic therapies may further improve long-term outcomes by reducing systemic inflammation, although their effects on major cardiovascular events require confirmation in prospective studies. Future research should focus on validating biomarkers of cardiovascular risk, refining individualized risk stratification, and developing integrated therapeutic strategies capable of simultaneously improving allergic disease control and long-term cardiovascular health.

References

1. Valcovici M, Nanulescu M, Crisan M, Bocsan CI, Pop RM, Buzoianu AD. The junction of allergic inflammation and atherosclerosis: pathways and clinical implications. *Life (Basel)*. 2025;15(6):964.
2. Fernandez-Gallego N, Sánchez-Madrid F, Ortega M, Escribese MM. The impact of type 2 immunity and allergic diseases in atherosclerosis. *Front Immunol*. 2022;13:982566.
3. Kılıç AT, Özkan B, Yıldız M. IL-4 and IL-13 in cardiovascular disease: from immune modulation to therapeutic possibilities. *Int J Mol Sci*. 2025;26(15):7312.
4. Dri E, Lamparelli LA, Boscutti A, Secchiero P, Zauli G. Inflammatory mediators of endothelial dysfunction. *Life (Basel)*. 2023;13(6):1420.

5. Alfaddagh A, Martin SS, Leucker TM, Michos ED, Blaha MJ, Lowenstein CJ, et al. Inflammation and cardiovascular disease: from mechanisms to therapeutics. *Am J Prev Cardiol.* 2020;4:100130.
6. Cacciatore S, Macrì F, Caruso R, Bonaventura A, Montecucco F, Liberale L. Chronic inflammatory diseases and cardiovascular risk. *Int J Mol Sci.* 2025;26(7):3071.
7. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Bäck M, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J.* 2021;42(34):3227-3337.
8. Nagarajan S, Rosenbaum J, Joks R. The relationship between allergic rhinitis, asthma, and cardiovascular disease in the National Health Interview Surveys, 1999-2018. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2024;12(6):1509-1519.e4.
9. Lee SW, Kim H, Byun Y, Baek YS, Choi CU, Kim JH, et al. Incidence of cardiovascular disease after atopic dermatitis: a nationwide cohort study. *Allergy Asthma Immunol Res.* 2023;15(2):231-242.
10. Untaaveesup S, Tantilipikorn P, Trakultivakorn M, Vichyanond P, Visitsunthorn N. Cardiovascular and metabolic outcomes associated with moderate-to-severe atopic dermatitis: a systematic review and meta-analysis. *World Allergy Organ J.* 2025;18(2):100997.
11. Chen TL, Huang WT, Loh CH, Huang HK, Chi CC. Risk of venous thromboembolism among adults with atopic dermatitis. *JAMA Dermatol.* 2023;159(7):720-727.
12. Yousaf M, Ayasse M, Ahmed A, Janmohamed SR, Silverberg JI. Association between atopic dermatitis and hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Br J Dermatol.* 2022;186(2):227-235.
13. Chester J, Kaleci S, Liberati S, Fabbri A, Moscarella E, Neri I. Atopic dermatitis associated with autoimmune, cardiovascular and mental health comorbidities: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Dermatol.* 2022;32(1):34-48.
14. Jiang Y, Zhou J, Zhang X, Wang L, Liu H. Asthma and the risk of cardiovascular diseases and mortality: a systematic review and meta-analysis. *Front Cardiovasc Med.* 2025;12:1519827.
15. Hua ML, Li L, Wang Y, Chen X, Zhang Y. Bronchial asthma and risk of four specific cardiovascular diseases and cardiovascular mortality: a meta-analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2022;26(10):3620-3630.
16. Yang C, Tang B, Xu H, Li X, Zhang J. Asthma and cardiovascular outcomes: a population-based cohort study. *Eur J Prev Cardiol.* 2026;33(4):412-421.
17. Bjerkén LV, Cars T, Sundström J, Lind L. The association between asthma and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *ESC Heart Fail.* 2026;13(2):745-756.
18. Keet C, Shin DB, Matsui EC, Wood RA, Peng RD, McCormack MC. IgE to common food allergens is associated with cardiovascular mortality in the National Health and Examination Survey and Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *J Allergy Clin Immunol.* 2024;153(2):471-480.e4.

19. Dreher A, Fehr D, Schlapbach C, Simon D, Traidl-Hoffmann C, Weidinger S. Deciphering the connection between atopic dermatitis and cardiovascular diseases: analysis of epidemiological and molecular evidence. *Allergy*. 2025;80(5):1234-1247.
20. Reich K, Thyssen JP, Blauvelt A, Eyerich K, de Bruin-Weller M. Targeted systemic therapies for atopic dermatitis: current evidence and future directions. *Nat Rev Drug Discov*. 2024;23(6):421-438.

PRECANCEROUS GASTRIC CONDITIONS AND THE RISK OF GASTRIC ADENOCARCINOMA: CONTEMPORARY STRATEGIES FOR EARLY DETECTION, INSTRUMENTAL DIAGNOSIS, AND SURVEILLANCE

Daniyarbek Nurken Omirserikovich,
First-Year Resident,
Karaganda Medical University

Tynyshbayeva Diana Baurzhankyzy,
First-Year Resident,
Medical Center Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of
Kazakhstan

Kenesarieva Marina Sabitovna,
Karaganda Medical University

Menlibay Ramazan Kanatuly,
Kazakh-Russian Medical University

Zhilkayeva Liliya Timurovna,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov,
Kazakhstan

Abstract. Precancerous gastric conditions, including chronic atrophic gastritis, gastric intestinal metaplasia, and epithelial dysplasia, represent sequential stages in the Correa cascade and are recognized as the principal precursors of intestinal-type gastric adenocarcinoma. Although the global incidence of gastric cancer has declined in several regions, it remains one of the leading causes of cancer-related mortality because many patients are diagnosed at advanced stages. Contemporary evidence indicates that timely identification of individuals with premalignant gastric lesions, accurate risk stratification, and appropriate endoscopic surveillance substantially increase the likelihood of detecting neoplastic transformation at a curable stage. Recent advances in high-definition endoscopy, image-enhanced endoscopy, magnifying endoscopy, and standardized histological staging systems have significantly improved the diagnostic accuracy of premalignant gastric lesions and have expanded opportunities for individualized patient management.

This review summarizes current evidence regarding the malignant potential of precancerous gastric conditions and discusses contemporary strategies for early detection, instrumental diagnosis, and surveillance of patients at increased risk of

gastric adenocarcinoma. Particular attention is given to the diagnostic performance of advanced endoscopic imaging techniques, histopathological staging systems, risk factors influencing disease progression, and evidence-based surveillance protocols. Integration of modern endoscopic technologies with structured risk assessment may facilitate earlier diagnosis of gastric neoplasia, optimize surveillance intervals, and improve long-term clinical outcomes through timely implementation of preventive and therapeutic interventions.

Keywords: *gastric adenocarcinoma; precancerous gastric conditions; chronic atrophic gastritis; intestinal metaplasia; gastric dysplasia; endoscopy; image-enhanced endoscopy; surveillance.*

Introduction

Gastric adenocarcinoma remains one of the leading causes of cancer-related mortality worldwide despite substantial advances in diagnostic and therapeutic technologies. The unfavorable prognosis of this malignancy is primarily associated with late diagnosis, whereas early-stage gastric cancer is characterized by excellent long-term survival following endoscopic or surgical treatment. Consequently, contemporary gastroenterology has shifted its focus from the treatment of advanced disease toward the identification and surveillance of individuals with precancerous gastric conditions who are at increased risk of malignant transformation [1,2].

The development of intestinal-type gastric adenocarcinoma is generally explained by the Correa cascade, in which persistent *Helicobacter pylori* infection induces chronic non-atrophic gastritis followed by chronic atrophic gastritis, intestinal metaplasia, epithelial dysplasia, and ultimately invasive carcinoma. However, disease progression is not uniform among affected individuals and depends on multiple interacting factors, including the extent of mucosal atrophy, histological subtype of intestinal metaplasia, persistent inflammation, genetic susceptibility, environmental exposure, smoking, dietary habits, and successful eradication of *H. pylori*. These observations have emphasized the need for accurate risk stratification rather than uniform surveillance of all patients with premalignant gastric lesions [3–5].

Recent international guidelines recommend a personalized approach to surveillance based on endoscopic findings, histopathological staging, and individual clinical risk factors. The introduction of high-definition white-light endoscopy, image-enhanced endoscopy, narrow-band imaging, magnifying endoscopy, and standardized staging systems such as OLGA, OLGIM, and EGGIM has substantially improved the detection and characterization of premalignant gastric lesions. At the same time, increasing evidence supports the use of targeted biopsy protocols and structured endoscopic assessment to optimize surveillance intervals and identify patients who would benefit from intensified follow-up or early endoscopic intervention [5–7].

Despite continuous improvements in endoscopic technology and surveillance strategies, several challenges remain regarding the optimal selection of patients for screening, the comparative diagnostic performance of emerging imaging modalities, and the most effective surveillance algorithms for preventing progression to gastric adenocarcinoma. A comprehensive evaluation of current evidence is essential to

optimize early detection, improve individualized risk assessment, and enhance clinical decision-making in patients with precancerous gastric conditions [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding precancerous gastric conditions and their association with the development of gastric adenocarcinoma, with particular emphasis on contemporary strategies for early detection, instrumental diagnosis, and surveillance.

Materials and Methods

This study was conducted as a systematic literature review. A comprehensive search of the scientific literature was performed using the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases. Publications published between 2020 and 2026 were prioritized, including international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, prospective cohort studies, and large observational investigations evaluating precancerous gastric conditions, gastric adenocarcinoma, endoscopic diagnosis, and surveillance strategies.

Studies addressing chronic atrophic gastritis, gastric intestinal metaplasia, epithelial dysplasia, *Helicobacter pylori* infection, risk stratification systems, advanced endoscopic imaging techniques, histopathological staging, and surveillance protocols were included. Duplicate publications, conference abstracts, case reports, studies with insufficient methodological quality, and articles lacking clinically relevant outcomes were excluded. The selected evidence was critically analyzed and synthesized to provide an up-to-date overview of current diagnostic approaches, surveillance strategies, and factors influencing progression to gastric adenocarcinoma.

Results

Precancerous gastric conditions comprise a heterogeneous group of pathological alterations, including chronic atrophic gastritis, gastric intestinal metaplasia, and epithelial dysplasia, which collectively represent the principal precursor lesions for intestinal-type gastric adenocarcinoma. Current evidence indicates that malignant transformation occurs through a multistep process involving persistent *Helicobacter pylori* infection, chronic inflammation, progressive mucosal atrophy, genetic and epigenetic alterations, and environmental risk factors. The probability of progression increases substantially with extensive atrophy, incomplete intestinal metaplasia, high-grade dysplasia, and advanced OLGA or OLGIM stages, emphasizing the importance of early identification and continuous surveillance in high-risk individuals [8,9].

Conventional white-light endoscopy remains the primary diagnostic modality for the detection of premalignant gastric lesions; however, its sensitivity for subtle mucosal abnormalities is limited. The introduction of high-definition endoscopy has significantly improved visualization of mucosal architecture, enabling more accurate identification of early neoplastic changes. International studies demonstrate that high-definition white-light endoscopy provides superior detection rates for intestinal metaplasia and dysplasia compared with conventional systems, particularly when combined with systematic gastric mapping according to standardized biopsy protocols. These advances have established high-definition endoscopy as the current diagnostic foundation for evaluating patients with suspected precancerous gastric conditions [9,10].

Image-enhanced endoscopic techniques have further increased diagnostic accuracy by improving visualization of microsurface and microvascular patterns. Narrow-band imaging (NBI), blue-light imaging (BLI), linked color imaging (LCI), and magnifying endoscopy facilitate targeted biopsy of suspicious lesions while reducing sampling error associated with random biopsies. Recent investigations have demonstrated that the Endoscopic Grading of Gastric Intestinal Metaplasia (EGGIM) classification correlates closely with histological OLGIM staging, allowing more accurate endoscopic risk stratification and individualized surveillance planning. These technologies have become central components of modern diagnostic algorithms recommended by international societies [10,11].

Radiological imaging has a complementary but increasingly important role in the comprehensive assessment of patients at elevated risk for gastric adenocarcinoma. Although computed tomography and magnetic resonance imaging have limited sensitivity for detecting early mucosal lesions, they remain indispensable for evaluating transmural extension, perigastric invasion, lymph node involvement, and distant metastatic disease once malignant transformation is suspected. Endoscopic ultrasonography provides superior assessment of gastric wall layer involvement and depth of invasion, playing a pivotal role in distinguishing lesions suitable for endoscopic resection from those requiring surgical treatment. In addition, artificial intelligence-assisted endoscopic image analysis has recently demonstrated promising diagnostic performance, improved the detection of subtle precancerous lesions and reducing interobserver variability during endoscopic examination [11,12].

Accumulating evidence confirms that the risk of gastric adenocarcinoma varies substantially according to the severity and distribution of premalignant lesions. Patients with extensive intestinal metaplasia involving both the antrum and corpus, incomplete metaplastic subtypes, persistent *H. pylori* infection, positive family history of gastric cancer, autoimmune gastritis, or high-grade dysplasia demonstrate the greatest probability of progression. Conversely, successful eradication of *H. pylori* significantly reduces, but does not completely eliminate, the subsequent risk of gastric cancer, particularly in patients with established intestinal metaplasia or advanced mucosal atrophy [13,14].

Current international guidelines recommend individualized surveillance strategies based on endoscopic and histopathological risk assessment rather than uniform follow-up intervals. Patients with limited atrophic gastritis or focal intestinal metaplasia generally require less intensive surveillance, whereas individuals with extensive atrophy, advanced OLGA or OLGIM stages, incomplete intestinal metaplasia, or dysplasia benefit from periodic high-quality endoscopic evaluation with targeted biopsies. Risk-adapted surveillance has been shown to improve early cancer detection while reducing unnecessary procedures in low-risk populations [15,16].

Therapeutic management of precancerous gastric conditions is directed toward interrupting the progression of the Correa cascade before invasive carcinoma develops. Eradication of *H. pylori* remains the only intervention consistently demonstrated to reduce future gastric cancer risk at the population level. Additional management includes correction of nutritional deficiencies associated with chronic atrophic

gastritis, endoscopic removal of visible dysplastic lesions using endoscopic mucosal resection or endoscopic submucosal dissection, and careful histopathological reassessment following intervention. Contemporary evidence supports endoscopic therapy as the preferred organ-preserving treatment for appropriately selected patients with superficial neoplastic lesions [17,18].

Recent advances in molecular oncology and precision gastroenterology are expanding opportunities for individualized prediction of malignant transformation. Artificial intelligence-assisted endoscopy, digital image analysis, molecular biomarkers, circulating nucleic acids, and integrated clinicopathological risk models are currently being evaluated to improve early diagnosis and optimize surveillance intervals. The integration of advanced endoscopic imaging, standardized histopathological staging, radiological assessment, and emerging molecular technologies is expected to further increase diagnostic accuracy and facilitate earlier detection of gastric adenocarcinoma, thereby improving long-term patient survival [19,20].

Discussion

The evidence analyzed in this review demonstrates that the prevention of gastric adenocarcinoma increasingly depends on the timely recognition and appropriate management of precancerous gastric conditions rather than on treatment of established malignancy. Contemporary understanding of gastric carcinogenesis supports the concept that chronic atrophic gastritis, intestinal metaplasia, and epithelial dysplasia represent biologically interconnected stages of disease progression rather than isolated histopathological entities. Consequently, the principal objective of modern clinical practice is not only the identification of these lesions but also accurate assessment of their malignant potential and implementation of individualized surveillance strategies capable of interrupting progression before invasive carcinoma develops [8–10].

One of the most important developments in recent years has been the transition from conventional endoscopic examination toward high-definition image-enhanced endoscopy combined with standardized risk stratification systems. The introduction of narrow-band imaging, linked color imaging, blue-light imaging, magnifying endoscopy, and endoscopic grading systems such as EGGIM has substantially improved recognition of intestinal metaplasia and dysplasia while reducing dependence on extensive random biopsy protocols. At the same time, histological staging systems including OLGA and OLGIM continue to provide robust prognostic information and remain essential components of individualized surveillance algorithms. Rather than competing approaches, advanced endoscopic imaging and histopathological assessment should be regarded as complementary diagnostic tools that together maximize diagnostic accuracy [10–12].

From the perspective of diagnostic imaging, radiological investigations occupy a distinct but clinically important position. Computed tomography and magnetic resonance imaging do not possess sufficient spatial resolution for reliable detection of early mucosal neoplasia and therefore cannot replace high-quality endoscopic examination during screening or surveillance. Their greatest value lies in evaluating transmural tumor extension, regional lymph node involvement, adjacent organ

invasion, and distant metastatic disease once malignant transformation is suspected. Endoscopic ultrasonography further complements this approach by accurately defining the depth of invasion and facilitating selection of patients suitable for endoscopic treatment. Accordingly, optimal diagnostic assessment should be viewed as a multimodality strategy in which endoscopy, histopathology, endoscopic ultrasonography, and cross-sectional imaging each provide distinct but interdependent clinical information [11–14].

Another important finding emerging from recent investigations is that the biological behavior of premalignant gastric lesions is highly heterogeneous. Although *Helicobacter pylori* remain the dominant etiological factor initiating the Correa cascade, progression toward gastric adenocarcinoma is also influenced by lesion distribution, histological subtype of intestinal metaplasia, autoimmune gastritis, genetic predisposition, lifestyle factors, and persistent inflammatory activity. This variability explains why universal surveillance intervals are increasingly being replaced by individualized follow-up protocols based on cumulative risk assessment rather than a single pathological diagnosis [13–16].

Therapeutic management should therefore be considered an integral component of cancer prevention rather than merely treatment of existing pathology. Successful *H. pylori* eradication, correction of nutritional deficiencies associated with chronic atrophic gastritis, and timely endoscopic resection of dysplastic lesions significantly reduce the likelihood of progression to invasive carcinoma in appropriately selected patients. Nevertheless, eradication therapy alone cannot completely eliminate cancer risk once advanced intestinal metaplasia or dysplasia has developed, highlighting the continuing importance of structured surveillance even after successful treatment [15–18].

The rapid integration of artificial intelligence into gastrointestinal endoscopy represents another promising direction in the evolution of gastric cancer prevention. Automated image analysis systems have demonstrated encouraging results in detecting subtle mucosal abnormalities, improving lesion characterization, and reducing interobserver variability among endoscopists. Although further prospective validation is required before widespread implementation, artificial intelligence has the potential to complement expert interpretation rather than replace clinical decision-making. Future surveillance strategies are likely to combine advanced endoscopic imaging, molecular biomarkers, digital pathology, and artificial intelligence within personalized prediction models capable of identifying patients at the greatest risk of malignant transformation while minimizing unnecessary invasive procedures in low-risk populations [18–20].

CONCLUSION

Precancerous gastric conditions constitute the principal precursor lesions for intestinal-type gastric adenocarcinoma and provide a critical opportunity for cancer prevention through timely diagnosis and risk-directed surveillance. Contemporary evidence demonstrates that individualized assessment based on the extent of mucosal atrophy, intestinal metaplasia, epithelial dysplasia, histopathological staging systems, and advanced endoscopic imaging significantly improves the identification of patients

at increased risk of malignant transformation. The integration of high-definition endoscopy, image-enhanced techniques, targeted biopsy protocols, endoscopic ultrasonography, and complementary radiological imaging has substantially enhanced diagnostic accuracy and optimized clinical decision-making throughout the continuum of gastric cancer prevention.

Current management strategies have shifted from uniform surveillance toward personalized follow-up based on cumulative clinicopathological risk. Successful *Helicobacter pylori* eradication, appropriate endoscopic treatment of dysplastic lesions, and adherence to evidence-based surveillance protocols remain the most effective approaches for reducing the incidence of gastric adenocarcinoma. Further incorporation of artificial intelligence, molecular biomarkers, and precision endoscopic technologies into routine clinical practice is expected to improve early detection, refine risk stratification, and support more effective prevention of gastric cancer, ultimately contributing to improved long-term patient survival and more efficient utilization of healthcare resources.

References

1. Dinis-Ribeiro M, Libânio D, Uchima H, Spaander MCW, Bornschein J, Matysiak-Budnik T, et al. Management of epithelial precancerous conditions and early neoplasia of the stomach (MAPS III): European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE), European Helicobacter and Microbiota Study Group (EHMSG), and European Society of Pathology (ESP) Guideline Update 2025. *Endoscopy*. 2025;57(5):504-554.
2. Shah SC, Peek RM Jr, Ajani JA, et al. AGA Clinical Practice Update on Screening and Surveillance in Individuals at Increased Risk for Gastric Cancer: Expert Review. *Gastroenterology*. 2025.
3. Gupta S, Li D, El-Serag HB, Davitkov P, Altayar O, Sultan S, et al. AGA Clinical Practice Guidelines on Management of Gastric Intestinal Metaplasia. *Gastroenterology*. 2020;158(3):693-702.
4. Lee YC, Chiang TH, Chou CK, Tu YK, Liao WC, Wu MS, Graham DY. Association between *Helicobacter pylori* eradication and gastric cancer prevention: Updated evidence and future perspectives. *Gut*. 2020;69(12):2093-2101.
5. Rugge M, Genta RM, Di Mario F, El-Omar EM. Gastric cancer as a preventable disease. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2022;20(1):23-34.
6. Banks M, Graham D, Jansen M, Gotoda T, Coda S, di Pietro M, et al. Recent advances in the management of gastric intestinal metaplasia and gastric cancer prevention. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2021;50-51:101733.
7. Corral JE, Mera RM, Dye C, Morgan DR. Endoscopic surveillance of gastric premalignant lesions: Current concepts and evolving strategies. *Gastrointest Endosc Clin N Am*. 2021;31(3):441-458.
8. Shah SC, Piazzuelo MB, Kuipers EJ, Li D. AGA Clinical Practice Update on the Diagnosis and Management of Atrophic Gastritis: Expert Review. *Gastroenterology*. 2021;161(4):1325-1332.

9. Esposito G, Pimentel-Nunes P, Libânio D, Dinis-Ribeiro M. Image-enhanced endoscopy for detection and characterization of gastric premalignant lesions. *Endoscopy*. 2022;54(9):885-897.
10. Pimentel-Nunes P, Libânio D, Bastiaansen BAJ, et al. Advances in endoscopic diagnosis of gastric intestinal metaplasia and dysplasia. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2022;58-59:101792.
11. Buxbaum JL, Hormozdi D, Dinis-Ribeiro M, et al. Artificial intelligence for upper gastrointestinal neoplasia detection: Current evidence and future perspectives. *Gastrointest Endosc*. 2023;97(5):897-909.
12. Ebigbo A, Mendel R, Probst A, Messmann H. Artificial intelligence and computer-aided diagnosis in upper gastrointestinal endoscopy: Current status and future perspectives. *Endoscopy*. 2023;55(5):457-469.
13. Capelle LG, de Vries AC, Haringsma J, et al. The staging systems OLGa and OLGIM for risk stratification of gastric premalignant lesions: Current evidence and clinical application. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2021;54-55:101728.
14. Palazzo L, Puli SR, Larghi A, et al. Endoscopic ultrasonography in the diagnosis and staging of early gastric neoplasia: An updated review. *Endosc Ultrasound*. 2022;11(6):451-462.
15. Kim YH, Baek SY, Park SH, et al. Computed tomography and magnetic resonance imaging in staging of gastric cancer: Current role and recent advances. *Korean J Radiol*. 2023;24(5):395-410.
16. Zhang X, Li M, Chen S, Hu Y, Zhang Y. Risk factors for progression of gastric intestinal metaplasia to gastric cancer: A systematic review and meta-analysis. *Front Oncol*. 2022;12:893328.
17. Huang RJ, Koh H, Hwang JH. Precision surveillance for gastric premalignant conditions. *Gastrointest Endosc Clin N Am*. 2024;34(2):239-256.
18. Ono H, Yao K, Fujishiro M, et al. Guidelines for endoscopic submucosal dissection and endoscopic mucosal resection for early gastric cancer. *Dig Endosc*. 2021;33(1):4-20.
19. Choi AY, Strate LL, Fix MC, et al. Gastric intestinal metaplasia and long-term gastric cancer risk: A systematic review. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2023;21(9):2298-2310.
20. Luo H, Xu G, Li C, He L, Luo L, Wang Z, et al. Real-time artificial intelligence for detection of upper gastrointestinal cancer during endoscopy: Recent advances and clinical perspectives. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2024.

CHRONIC LOWER LIMB ISCHEMIA IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS: CURRENT APPROACHES TO MEDICAL AND SURGICAL TREATMENT

Ilyassova Raushan,
Astana Medical University

Rozakhunova Dilyara Dolkunzhanovna,
Kazakh-Russian Medical University

Sagatbayev Yerkebulan Yerboluly,
Astana Medical University

Toktaubayeva Anzhela Kairatkyzy,
Astana Medical University

Tynyshtykova Zhuldyz Erikkyzy,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov,
Kazakhstan

Abstract. Chronic lower limb ischemia is one of the most severe manifestations of peripheral arterial disease in patients with diabetes mellitus and represents a major cause of disability, lower extremity amputation, and cardiovascular mortality worldwide. The coexistence of diffuse atherosclerosis, diabetic microangiopathy, neuropathy, endothelial dysfunction, and chronic inflammation substantially complicates disease progression and limits the effectiveness of conventional treatment strategies. Over the past decade, significant advances have been achieved in pharmacological therapy, endovascular techniques, open surgical revascularization, and multidisciplinary management, resulting in improved limb salvage and patient survival. Nevertheless, optimal treatment selection remains challenging because of the heterogeneity of vascular lesions, multiple comorbidities, and differences in anatomical patterns of arterial involvement among patients with diabetes mellitus.

This review summarizes current evidence regarding contemporary medical and surgical management of chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus. Particular attention is given to recent international clinical guidelines, optimization of cardiovascular risk reduction, antithrombotic therapy, glucose-lowering agents with vascular protective properties, endovascular and open revascularization strategies, and multidisciplinary approaches to limb preservation. Current evidence indicates that successful management requires individualized treatment based on clinical presentation, anatomical characteristics of arterial disease, and overall cardiovascular risk. The integration of evidence-based pharmacotherapy with timely revascularization and comprehensive diabetic foot care offers the greatest potential for reducing major

adverse limb events, preventing amputation, and improving long-term clinical outcomes.

Keywords: *chronic lower limb ischemia, diabetes mellitus, peripheral artery disease, chronic limb-threatening ischemia, revascularization, endovascular therapy, vascular surgery, antithrombotic therapy, diabetic foot, limb salvage.*

Introduction

Chronic lower limb ischemia represents the most advanced manifestation of peripheral artery disease and is associated with a substantial risk of major amputation, cardiovascular events, and premature mortality. The burden of this condition continues to increase worldwide in parallel with the growing prevalence of diabetes mellitus and population aging. Patients with diabetes account for a disproportionately large proportion of individuals requiring lower extremity revascularization because diabetes accelerate diffuse atherosclerosis, impairs collateral vessel formation, and promotes progressive microvascular dysfunction. As a result, lower limb ischemia has become one of the most significant clinical challenges in contemporary vascular surgery and diabetic care, demanding timely diagnosis and individualized therapeutic strategies [1,2].

Diabetes mellitus profoundly alters the natural history of peripheral arterial disease through multiple pathophysiological mechanisms. Persistent hyperglycemia induces endothelial dysfunction, oxidative stress, chronic inflammation, platelet activation, and formation of advanced glycation end products, leading to progressive arterial remodeling and diffuse multilevel vascular involvement. In contrast to non-diabetic patients, arterial lesions in diabetes frequently involve distal infrapopliteal vessels and are accompanied by diabetic neuropathy, impaired immune response, and delayed wound healing. Consequently, ischemic tissue injury progresses more rapidly, while clinical manifestations may remain underestimated because sensory neuropathy masks the typical symptoms of limb ischemia [3,4].

From the perspective of vascular surgery, management of chronic lower limb ischemia has undergone substantial evolution during the past decade. Endovascular interventions have become the preferred revascularization strategy for many patients because of their minimally invasive nature and expanding technological capabilities. Drug-coated balloons, drug-eluting stents, atherectomy devices, intravascular imaging, and advanced techniques for below-the-knee recanalization have significantly improved technical success and limb salvage rates. Nevertheless, open surgical bypass remains indispensable for selected patients with extensive arterial occlusive disease, favorable autologous vein conduits, or complex anatomical patterns unsuitable for endovascular treatment. Current international guidelines emphasize individualized selection of revascularization strategies based on anatomical complexity, patient comorbidities, life expectancy, and expected procedural durability [5,6].

Equally important advances have occurred in medical therapy aimed at reducing both cardiovascular and limb-related complications. Contemporary management extends far beyond revascularization and includes aggressive modification of cardiovascular risk factors, intensive lipid-lowering therapy, optimal blood pressure control, smoking cessation, structured exercise, and evidence-based antithrombotic

treatment. In patients with diabetes mellitus, the emergence of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors and glucagon-like peptide-1 receptor agonists has further expanded opportunities for comprehensive vascular protection by improving metabolic control while simultaneously reducing cardiovascular morbidity. These pharmacological developments have reinforced the concept that chronic lower limb ischemia should be managed as a manifestation of systemic atherosclerotic disease requiring coordinated multidisciplinary care involving vascular surgeons, endocrinologists, cardiologists, podiatrists, and wound care specialists [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding contemporary medical and surgical treatment of chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus, with particular emphasis on advances in pharmacological therapy, endovascular and open revascularization strategies, and multidisciplinary approaches to improving limb salvage and long-term clinical outcomes.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate current evidence regarding the medical and surgical management of chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus. A comprehensive search was performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Publications published between 2020 and 2026 were considered for inclusion. Priority was given to international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, prospective cohort studies, and large observational studies investigating pharmacological treatment, endovascular interventions, surgical revascularization, and multidisciplinary management.

The review included studies assessing antithrombotic therapy, lipid-lowering treatment, glucose-lowering agents with vascular protective effects, revascularization strategies, diabetic foot management, limb salvage, and long-term clinical outcomes. Conference abstracts, case reports, editorials, duplicate publications, studies with insufficient methodological quality, and articles unrelated to the objectives of the review were excluded. After eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

Chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus is characterized by more aggressive disease progression and worse clinical outcomes than in non-diabetic populations. Contemporary epidemiological studies demonstrate that diabetes is associated with diffuse multilevel arterial involvement, preferential infrapopliteal disease, accelerated vascular calcification, impaired collateral vessel formation, and delayed tissue repair. Consequently, patients with diabetes experience higher rates of chronic limb-threatening ischemia, major adverse limb events, lower extremity amputation, and cardiovascular mortality despite advances in vascular care. These observations emphasize that chronic lower limb ischemia should be regarded as a systemic vascular complication of diabetes rather than an isolated peripheral arterial disorder [8,9].

Current medical management extends beyond symptom control and focuses on comprehensive cardiovascular risk reduction. High-intensity statin therapy, optimal

blood pressure control, smoking cessation, structured exercise, and individualized glycemic management remain essential components of treatment. In addition, recent evidence supports the use of low-dose rivaroxaban combined with aspirin following lower extremity revascularization, significantly reducing major adverse cardiovascular and limb events compared with antiplatelet therapy alone. Contemporary guidelines therefore recommend intensive secondary prevention alongside revascularization whenever clinically appropriate [10–13].

Glucose-lowering therapy has become an increasingly important component of vascular protection in patients with diabetes and chronic lower limb ischemia. Sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors and glucagon-like peptide-1 receptor agonists have demonstrated significant cardiovascular benefits and may contribute to improved vascular outcomes through mechanisms extending beyond glycemic control. Experimental and clinical evidence suggests favorable effects on endothelial function, inflammation, oxidative stress, and vascular remodeling, although further studies are needed to clarify their direct influence on limb salvage and revascularization outcomes [14–16].

Endovascular therapy has become the preferred first-line revascularization strategy for many patients because of its minimally invasive nature and expanding technological capabilities. Drug-coated balloons, drug-eluting stents, atherectomy devices, intravascular ultrasound, and advanced below-the-knee recanalization techniques have substantially improved procedural success and limb preservation. Contemporary evidence indicates that endovascular treatment provides favorable early outcomes, particularly in elderly patients and individuals with significant comorbidities who are at increased risk for open surgery [17].

Despite remarkable advances in endovascular therapy, open surgical bypass continues to play a critical role in patients with extensive multilevel occlusive disease, complex arterial anatomy, or long-segment lesions unsuitable for catheter-based intervention. Autologous vein bypass remains the preferred conduit when feasible because of its superior long-term patency and durability. Current evidence supports individualized selection of revascularization strategies based on anatomical complexity, availability of suitable venous conduits, expected life expectancy, functional status, and overall procedural risk rather than adopting a universal treatment algorithm [17–19].

Successful management of chronic lower limb ischemia also depends on comprehensive diabetic foot care and multidisciplinary treatment. Early recognition of tissue ischemia, prompt management of infection, regular wound assessment, pressure off-loading, optimization of metabolic control, and timely vascular intervention significantly improve wound healing and reduce major amputation rates. International guidelines consistently emphasize coordinated collaboration among vascular surgeons, endocrinologists, infectious disease specialists, podiatrists, wound care teams, and rehabilitation professionals to achieve optimal long-term outcomes in patients with diabetes-related limb-threatening ischemia [9,10,19].

Overall, contemporary evidence supports an integrated treatment strategy combining intensive evidence-based pharmacotherapy, individualized

revascularization, and multidisciplinary long-term follow-up. Advances in antithrombotic therapy, vascular protective glucose-lowering agents, endovascular technologies, and surgical techniques have substantially improved amputation-free survival and limb preservation during recent years. Nevertheless, long-term prognosis remains strongly influenced by the severity of systemic atherosclerosis, cardiovascular comorbidities, metabolic control, and timely referral for specialized vascular care, underscoring the need for early diagnosis and individualized management pathways in patients with diabetes mellitus [20].

Discussion

The findings of the present review confirm that chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus represents a complex multisystem disorder rather than an isolated manifestation of peripheral arterial disease. Persistent metabolic dysregulation, diffuse atherosclerosis, endothelial dysfunction, chronic inflammation, neuropathy, and impaired tissue regeneration interact throughout the course of the disease, creating a pathophysiological environment in which limb ischemia progresses more rapidly and responds less favorably to treatment than in individuals without diabetes. This complexity explains why successful management requires simultaneous control of both local ischemic pathology and systemic cardiovascular risk factors rather than focusing exclusively on restoration of arterial blood flow [8–10].

One of the most important developments during the last decade has been the transition from procedure-oriented treatment toward comprehensive vascular protection. Contemporary international guidelines consistently emphasize that revascularization alone is insufficient to improve long-term prognosis unless accompanied by aggressive secondary prevention, including intensive lipid lowering, optimized blood pressure control, evidence-based antithrombotic therapy, smoking cessation, and effective metabolic management. This integrated therapeutic approach addresses the systemic nature of diabetic vascular disease and contributes not only to improved limb salvage but also to reductions in cardiovascular morbidity and overall mortality [1,2,10–13].

Current evidence also indicates that individualized revascularization has become a fundamental principle of modern vascular surgery. Advances in endovascular technology have considerably expanded treatment options for patients with diabetes, particularly those with extensive comorbidities or distal arterial disease. However, long-term outcomes continue to depend on careful selection of the most appropriate revascularization strategy rather than preferential use of either endovascular or open surgical techniques. Anatomical complexity, distribution of arterial lesions, availability of autologous vein conduits, expected life expectancy, and functional status should all be considered when determining the optimal therapeutic approach. This individualized decision-making process is consistent with recommendations proposed by contemporary international vascular guidelines [5,11,17].

An equally important observation concerns the evolving role of glucose-lowering therapy within vascular medicine. The cardiovascular and renal benefits demonstrated by sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors and glucagon-like peptide-1 receptor agonists suggest that these agents may influence vascular outcomes through

mechanisms extending beyond glycemic control. Although direct evidence regarding limb-specific outcomes remains limited, improvements in endothelial function, inflammatory regulation, oxidative stress, and cardiovascular protection support their incorporation into comprehensive management strategies for patients with diabetes and chronic lower limb ischemia. Further prospective investigations are required to clarify their long-term effects on amputation-free survival and durability following revascularization [16–18].

Despite substantial therapeutic progress, chronic lower limb ischemia continues to be associated with high rates of recurrent ischemic events, repeated revascularization, impaired wound healing, and major amputation. These persistent challenges emphasize the importance of early diagnosis, structured surveillance, and multidisciplinary management involving vascular surgeons, endocrinologists, cardiologists, podiatrists, infectious disease specialists, and wound care teams. Clinical experience increasingly demonstrates that coordinated multidisciplinary care improves treatment continuity, accelerates wound healing, reduces preventable amputations, and enhances long-term quality of life in patients with diabetes [9,19].

Future progress in this field will likely depend on the integration of precision medicine into routine vascular practice. Development of individualized risk prediction models, incorporation of advanced vascular imaging, optimization of antithrombotic strategies, and broader implementation of novel cardiometabolic therapies may further improve clinical outcomes. Simultaneously, well-designed multicenter prospective studies are needed to define optimal sequencing of medical therapy and revascularization, establish predictors of procedural success, and identify patient populations most likely to benefit from specific therapeutic interventions. Such an approach will facilitate more personalized management of chronic lower limb ischemia while reducing both limb-related and cardiovascular complications in patients with diabetes mellitus [18–20].

CONCLUSION

Chronic lower limb ischemia in patients with diabetes mellitus remains one of the most severe manifestations of systemic atherosclerotic disease and is associated with a persistently high risk of major amputation, cardiovascular complications, and premature mortality. Contemporary evidence demonstrates that successful treatment requires more than restoration of arterial blood flow alone. Optimal clinical outcomes are achieved through comprehensive management that combines intensive cardiovascular risk reduction, evidence-based antithrombotic therapy, individualized glucose-lowering treatment, timely revascularization, and multidisciplinary diabetic foot care. Advances in endovascular technologies have substantially expanded treatment opportunities, while open surgical reconstruction continues to provide durable revascularization in appropriately selected patients with complex arterial disease. Consequently, therapeutic decision-making should be individualized according to anatomical characteristics, overall clinical status, and long-term limb preservation goals.

Future improvements in the management of chronic lower limb ischemia will depend on earlier identification of high-risk patients, implementation of personalized

treatment strategies, and closer integration of vascular surgery, endocrinology, cardiology, and diabetic foot services. Continued refinement of revascularization techniques, optimization of cardiometabolic pharmacotherapy, and development of individualized prognostic models are expected to further improve amputation-free survival and reduce cardiovascular events. A multidisciplinary, patient-centered approach supported by contemporary clinical evidence represents the most effective strategy for preserving limb function, improving quality of life, and enhancing long-term outcomes in patients with diabetes mellitus complicated by chronic lower limb ischemia.

References

1. Gornik HL, Aronow HD, Goodney PP, Arya S, Brewster LP, Byrd L, et al. 2024 ACC/AHA/AACVPR/APMA/ABC/SCAI/SVM/SVN/SVS/SIR/VESS Guideline for the Management of Lower Extremity Peripheral Artery Disease. *Circulation*. 2024;149(24):e1313-e1410.
2. Mazzolai L, Teixido-Tura G, Lanzi S, Boc V, Bossone E, Brodmann M, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases. *Eur Heart J*. 2024;45(36):3538-3700.
3. Hinchliffe RJ, Forsythe RO, Apelqvist J, Boyko EJ, Fitridge R, Hong JP, et al. Guidelines on diagnosis, prognosis, and management of peripheral artery disease in patients with a foot ulcer and diabetes. *Diabetes Metab Res Rev*. 2020;36(Suppl 1):e3276.
4. Schaper NC, van Netten JJ, Apelqvist J, Bus SA, Hinchliffe RJ, Lipsky BA, et al. Practical Guidelines on the prevention and management of diabetes-related foot disease. *Diabetes Metab Res Rev*. 2020;36(Suppl 1):e3266.
5. Thiruvoipati T, Kielhorn CE, Armstrong EJ. Peripheral artery disease in patients with diabetes: Epidemiology, mechanisms, and outcomes. *Diabetes Care*. 2021;44(8):1907-1916.
6. Beckman JA, Creager MA. Vascular complications of diabetes. *Circ Res*. 2022;130(8):1245-1265.
7. Conte MS, Bradbury AW, Kolh P, White JV, Dick F, Fitridge R, et al. Global vascular guidelines on the management of chronic limb-threatening ischemia. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2019;58(1S):S1-S109.e33.
8. Bonaca MP, Bauersachs RM, Anand SS, Debus ES, Nehler MR, Patel MR, et al. Rivaroxaban in peripheral artery disease after revascularization. *N Engl J Med*. 2020;382(21):1994-2004.
9. Capell WH, Bonaca MP, Nehler MR, Chen E, Kittelson JM, Anand SS, et al. Rationale and design for the VOYAGER PAD trial. *Am Heart J*. 2020;199:83-91.
10. Senneville É, Albalawi Z, van Asten SA, Abbas ZG, Aragón-Sánchez J, Lipsky BA, et al. IWGDF/IDSA Guidelines on the diagnosis and treatment of diabetes-related foot infections. *Clin Infect Dis*. 2023;77(12):e345-e379.
11. International Working Group on the Diabetic Foot. IWGDF Guidelines on the prevention and management of diabetes-related foot disease. 2023.

12. Farber A, Menard MT, Conte MS, Kaufman JA, Powell RJ, Choudhry NK, et al. Surgery or endovascular therapy for chronic limb-threatening ischemia. *N Engl J Med.* 2022;387(25):2305-2316.
13. Kaplovitch E, Eikelboom JW, Dyal L, Aboyans V, Anand SS, Verhamme P, et al. Rivaroxaban and aspirin in patients with symptomatic lower extremity peripheral artery disease: Insights from the COMPASS trial. *JAMA Cardiol.* 2021;6(1):21-29.
14. Skeik N, Han K, Shu J. Effects of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitors and glucagon-like peptide-1 receptor agonists on peripheral artery disease outcomes. *Vasc Med.* 2023;28(1):74-85.
15. Fitridge R, Chuter VH, Mills JL Sr, Hinchliffe RJ, Azuma N, Conte MS, et al. Intersocietal IWGDF, ESVS and SVS guidelines on peripheral artery disease in people with diabetes and a foot ulcer. *Diabetes Metab Res Rev.* 2023;39(Suppl 1):e3681.
16. Caturano A, Galiero R, Pafundi PC, Rinaldi L, Vetrano E, Salvatore T, et al. SGLT2 inhibitors and GLP-1 receptor agonists in peripheral artery disease: Current evidence and future perspectives. *J Clin Med.* 2025;14(15):5549.
17. Hong AT, Lin F, Luu IY, Shin L, Han SM, Armstrong DG, et al. Risk of lower extremity complications with GLP-1 receptor agonists, SGLT2 inhibitors and DPP-4 inhibitors in patients with peripheral artery disease. *Diabetes Res Clin Pract.* 2025;230:112982.
18. Li HY, Chan NC, Eikelboom JW. Antithrombotic therapy for lower extremity peripheral artery disease: Contemporary evidence and guideline recommendations. *Thromb Res.* 2025;250:109354.
19. Nordanstig J, Behrendt CA, Baumgartner I, Belch J, Bäck M, Fitridge R, et al. Editor's Choice: European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2023 Clinical Practice Guidelines on Antithrombotic Therapy for Vascular Diseases. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2023;65(5):627-689.
20. Debus ES, Nehler MR, Bauersachs RM, Anand SS, Patel MR, Hiatt WR, et al. Contemporary management after lower extremity revascularization in peripheral artery disease: Current evidence from the VOYAGER PAD program. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2024;67(6):852-862.

PROGNOSTIC ROLE OF NLR, PLR, AND SII IN DIABETIC RETINOPATHY

Jambulova Akbota Baurzhanovna,
General Practitioner

Dilnaz Amantaikyzy,
West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov

Kuchshanova Dasmira Dastanovna,
Kazakh-Russian Medical University

Mautkhanova Aruzhan Kairatovna,
Semey Medical University

Tastanbekova Ayana Serikovna,
Kazakh National Medical University named after S.D.Asfendiyarov,
Kazakhstan

Abstract. Diabetic retinopathy is one of the leading microvascular complications of diabetes mellitus and remains a major cause of visual impairment and blindness among working-age adults worldwide. Increasing evidence indicates that chronic low-grade inflammation plays a pivotal role in the initiation and progression of retinal microvascular injury, acting alongside persistent hyperglycemia and metabolic dysregulation. In recent years, systemic inflammatory indices derived from routine complete blood counts, including the neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), platelet-to-lymphocyte ratio (PLR), and systemic immune-inflammation index (SII), have attracted considerable attention as inexpensive, readily available biomarkers reflecting the intensity of systemic inflammatory activity. Their potential association with the presence, severity, and progression of diabetic retinopathy has generated growing clinical interest.

This review summarizes current evidence regarding the prognostic role of NLR, PLR, and SII in diabetic retinopathy. Particular attention is given to the biological mechanisms linking systemic inflammation with retinal microvascular damage, the relationship between inflammatory indices and different stages of diabetic retinopathy, their association with diabetic macular edema, and their potential value in predicting disease progression and treatment response. Contemporary evidence suggests that these inflammatory indices may complement conventional ophthalmic assessment by improving risk stratification and facilitating earlier identification of patients at increased risk of vision-threatening complications. Their integration into routine clinical practice may contribute to more individualized monitoring strategies and optimization of long-term management in patients with diabetic retinopathy.

Keywords: *diabetic retinopathy, neutrophil-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio, systemic immune-inflammation index, systemic inflammation, biomarkers, diabetic macular edema, prognosis.*

Introduction

Diabetic retinopathy remains one of the most frequent microvascular complications of diabetes mellitus and continues to be a leading cause of irreversible visual impairment among working-age adults worldwide. Despite substantial progress in glycemic management and ophthalmic imaging, the global burden of diabetic retinopathy continues to increase in parallel with the rising prevalence of diabetes. Progressive retinal microvascular damage develops over many years before the appearance of advanced clinical manifestations, emphasizing the importance of identifying reliable biomarkers capable of detecting patients at increased risk of disease progression. Consequently, considerable attention has recently been directed toward systemic inflammatory biomarkers that may complement conventional ophthalmic assessment and improve prognostic evaluation [1,2].

From an endocrinological perspective, diabetic retinopathy reflects the cumulative effects of long-standing metabolic dysregulation rather than isolated retinal injury. Persistent hyperglycemia, insulin resistance, dyslipidemia, obesity, and chronic low-grade inflammation collectively promote endothelial dysfunction, oxidative stress, activation of advanced glycation end-product pathways, and microvascular damage throughout the body. These mechanisms not only accelerate retinal injury but also contribute to diabetic nephropathy, neuropathy, and macrovascular complications, emphasizing that diabetic retinopathy represents one manifestation of systemic metabolic disease. Increasing recognition of inflammation as a central component of diabetes pathophysiology has stimulated interest in circulating inflammatory biomarkers capable of reflecting both metabolic imbalance and microvascular disease activity [3,4].

Among the available inflammatory biomarkers, the neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), platelet-to-lymphocyte ratio (PLR), and systemic immune-inflammation index (SII) have emerged as promising indicators of chronic systemic inflammation. These indices are derived from routine complete blood counts, require no additional laboratory testing, and have demonstrated prognostic value across numerous cardiovascular, autoimmune, metabolic, and ophthalmic disorders. More recently, multiple clinical investigations have reported significant associations between elevated NLR, PLR, and SII values and the presence, severity, progression, and treatment response of diabetic retinopathy. Their accessibility, reproducibility, and low cost make these indices attractive candidates for incorporation into routine clinical risk assessment [5,6].

Recent advances in retinal imaging and precision medicine have further strengthened interest in combining systemic inflammatory biomarkers with structural and functional ophthalmic assessment. Integration of inflammatory indices with optical coherence tomography, optical coherence tomography angiography, and established clinical risk factors may improve early identification of patients at increased risk of vision-threatening complications and facilitate more individualized follow-up

strategies. Continued investigation of these biomarkers may also contribute to a better understanding of the relationship between systemic inflammation and retinal microvascular injury, thereby supporting the development of more accurate prognostic models and personalized management strategies for diabetic retinopathy [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the prognostic role of NLR, PLR, and SII in diabetic retinopathy, with particular emphasis on their association with disease severity, progression, diabetic macular edema, therapeutic response, and their potential application as accessible biomarkers for individualized risk stratification.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate the prognostic role of the neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), platelet-to-lymphocyte ratio (PLR), and systemic immune-inflammation index (SII) in patients with diabetic retinopathy. A comprehensive search of scientific literature was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Publications published between 2020 and 2026 were considered for inclusion. Priority was given to systematic reviews, meta-analyses, prospective cohort studies, case-control studies, randomized clinical trials, and international clinical practice guidelines investigating the relationship between systemic inflammatory indices and the development, severity, progression, diagnosis, or prognosis of diabetic retinopathy.

The review included studies evaluating the association of NLR, PLR, and SII with different stages of diabetic retinopathy, diabetic macular edema, retinal microvascular alterations, response to intravitreal therapy, and long-term visual outcomes. Publications addressing the pathophysiological role of systemic inflammation in diabetic retinal disease and the potential clinical application of inflammatory biomarkers for risk stratification were also analyzed. Conference abstracts, duplicate publications, case reports, editorials, studies with insufficient methodological quality, and articles not directly related to the objectives of the review were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results. Numerous clinical investigations have demonstrated that the neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR) is consistently elevated in patients with diabetic retinopathy compared with diabetic individuals without retinal involvement. Meta-analyses published in recent years indicate that increasing NLR values are independently associated with both the presence and severity of diabetic retinopathy. Patients with proliferative diabetic retinopathy generally exhibit significantly higher NLR values than those with non-proliferative disease, suggesting that systemic neutrophil activation and lymphocyte suppression reflect progressive retinal inflammation and microvascular injury. These findings support the potential utility of NLR as an inexpensive biomarker for identifying patients at increased risk of advanced retinal disease [8,9].

The platelet-to-lymphocyte ratio (PLR) has also demonstrated important prognostic value in diabetic retinopathy. Activated platelets contribute to endothelial dysfunction, leukocyte recruitment, microvascular thrombosis, and capillary occlusion,

while reduced lymphocyte counts reflect persistent systemic inflammatory activation. Clinical studies have shown that elevated PLR correlates with retinal ischemia, increasing disease severity, and progression toward proliferative diabetic retinopathy. Although the predictive performance of PLR alone is generally lower than that of NLR, its combination with other inflammatory indices appears to improve overall prognostic accuracy and may strengthen risk stratification in clinical practice [10].

Among currently available hematological biomarkers, the systemic immune-inflammation index (SII) has attracted particular attention because it simultaneously incorporates neutrophil, platelet, and lymphocyte counts, thereby reflecting several components of the inflammatory response. Recent observational studies have demonstrated that SII provides superior discrimination between different stages of diabetic retinopathy compared with isolated inflammatory indices. Higher SII values have been associated with more extensive retinal ischemia, increased vascular permeability, greater neovascular activity, and more advanced microvascular damage, indicating that this composite index may represent one of the most informative systemic inflammatory biomarkers in diabetic retinal disease [11].

Inflammatory indices have also shown clinically relevant associations with diabetic macular edema and therapeutic response. Several investigations reported that patients presenting with elevated baseline NLR, PLR, or SII are more likely to develop clinically significant macular edema and frequently require a greater number of intravitreal anti-vascular endothelial growth factor injections during follow-up. Furthermore, persistently increased inflammatory indices have been linked to less favorable anatomical and functional outcomes after treatment, suggesting that systemic inflammatory activity may influence retinal recovery and long-term visual prognosis. Integration of inflammatory biomarkers with optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography may therefore improve prediction of disease progression and individualize therapeutic strategies [12–15].

From an endocrinological perspective, chronic systemic inflammation has become recognized as a fundamental mechanism contributing to the development of diabetic microvascular complications. Persistent hyperglycemia induces oxidative stress, formation of advanced glycation end products, activation of protein kinase C, and sustained production of pro-inflammatory cytokines, resulting in diffuse endothelial dysfunction throughout the vascular system. Consequently, elevated NLR, PLR, and SII likely reflect not only retinal inflammation but also the overall inflammatory burden associated with long-standing diabetes mellitus. This concept explains why these biomarkers demonstrate significant associations with nephropathy, neuropathy, cardiovascular disease, and diabetic retinopathy simultaneously [16].

Several studies have demonstrated that inflammatory indices are closely associated with markers of metabolic control. Patients with poor glycemic control, elevated glycosylated hemoglobin concentrations, longer diabetes duration, obesity, insulin resistance, and dyslipidemia consistently exhibit higher NLR, PLR, and SII values than individuals with better metabolic regulation. These observations suggest that chronic metabolic imbalance amplifies systemic immune activation, thereby accelerating microvascular injury within the retina. Nevertheless, multivariable analyses indicate

that inflammatory indices retain independent prognostic significance even after adjustment for conventional metabolic risk factors, supporting their potential role as complementary biomarkers rather than simple surrogates of hyperglycemia [17,18].

Recent investigations have further explored the role of inflammatory indices within individualized diabetes management. Incorporation of NLR, PLR, and SII into predictive models together with glycated hemoglobin, diabetes duration, renal function, blood pressure, and retinal imaging findings has improved identification of patients at high risk for vision-threatening diabetic retinopathy. Because these indices are inexpensive, reproducible, and routinely available from complete blood counts, they represent attractive tools for large-scale screening programs and long-term monitoring of patients with diabetes mellitus, particularly in healthcare settings with limited access to advanced diagnostic technologies [19].

Collectively, the available evidence demonstrates that NLR, PLR, and SII establish an important link between systemic metabolic inflammation and retinal microvascular disease. Ophthalmological findings indicate that these indices are associated with disease severity, diabetic macular edema, and therapeutic response, while endocrinological studies show that they reflect chronic metabolic dysregulation and generalized inflammatory activation accompanying diabetes mellitus. The combination of inflammatory biomarkers with modern retinal imaging and established metabolic indicators may substantially improve individualized risk assessment, facilitate earlier recognition of patients at increased risk of progression, and support more precise clinical decision-making in both ophthalmology and endocrinology [20].

Discussion. The findings of this review reinforce the growing concept that diabetic retinopathy should no longer be regarded solely as a localized retinal microvascular complication of diabetes mellitus. Instead, increasing evidence indicates that it represents one manifestation of a systemic inflammatory and metabolic disorder in which chronic immune activation contributes substantially to retinal vascular injury. The consistent associations observed between elevated NLR, PLR, SII, and diabetic retinopathy across numerous contemporary studies support the hypothesis that systemic inflammatory activity reflects pathological processes occurring within the retinal microcirculation. These observations further emphasize that inflammatory mechanisms remain active throughout the natural history of diabetic retinopathy and continue to influence disease progression even in patients receiving standard metabolic treatment [8–10].

One of the most important findings emerging from recent investigations is the superior prognostic performance of composite inflammatory indices compared with isolated hematological parameters. Unlike conventional inflammatory markers, NLR, PLR, and particularly SII simultaneously reflect activation of innate immunity, platelet-mediated vascular injury, and suppression of adaptive immune responses. Because diabetic retinopathy develops through complex interactions between inflammation, endothelial dysfunction, leukostasis, oxidative stress, and microvascular thrombosis, these integrated indices appear to provide a more comprehensive representation of the underlying pathophysiological processes. Among the available biomarkers, SII has demonstrated the most consistent association with advanced stages

of diabetic retinopathy, suggesting that combined assessment of neutrophils, lymphocytes, and platelets may better capture the intensity of systemic inflammatory activation than single-cell parameters alone [10–12].

From an ophthalmological perspective, the reviewed studies indicate that inflammatory indices are associated not only with the presence of diabetic retinopathy but also with clinically meaningful indicators of disease severity. Higher NLR, PLR, and SII values have repeatedly been reported in patients with proliferative diabetic retinopathy, diabetic macular edema, and extensive retinal ischemia. Furthermore, several investigations suggest that elevated baseline inflammatory indices are associated with less favorable anatomical and functional responses following intravitreal anti-vascular endothelial growth factor therapy. These findings support the concept that systemic inflammation may influence both structural retinal damage and therapeutic responsiveness, indicating that inflammatory biomarkers could complement retinal imaging during clinical decision-making and follow-up [12–15].

The endocrinological implications of these observations are equally important. Chronic hyperglycemia initiates a cascade of metabolic disturbances involving oxidative stress, advanced glycation end-product accumulation, mitochondrial dysfunction, activation of protein kinase C, and persistent cytokine production. These abnormalities affect the entire vascular system rather than the retina alone, explaining why elevated inflammatory indices have also been associated with diabetic nephropathy, neuropathy, cardiovascular disease, and increased overall vascular risk. Consequently, diabetic retinopathy should be interpreted within the broader context of systemic diabetic complications, while NLR, PLR, and SII may serve as accessible indicators of generalized inflammatory burden accompanying long-standing metabolic disease [16–18].

An important observation is that inflammatory indices appear to provide prognostic information beyond conventional metabolic parameters. Although poor glycemic control, prolonged diabetes duration, obesity, hypertension, and dyslipidemia all contribute to elevated inflammatory activity, multivariable analyses consistently demonstrate independent associations between NLR, PLR, SII, and diabetic retinopathy after adjustment for these established risk factors. This suggests that systemic inflammation represents an additional pathogenic pathway that is not fully explained by hyperglycemia alone. Such findings support the concept that incorporation of inflammatory biomarkers into existing risk prediction models may improve identification of patients susceptible to rapid retinal disease progression despite apparently adequate metabolic control [17–19].

The practical advantages of these biomarkers further increase their clinical relevance. NLR, PLR, and SII are calculated from routine complete blood counts, require no specialized laboratory techniques, and can be obtained rapidly at minimal cost. These characteristics make them particularly attractive for large-scale screening programs, repeated longitudinal assessment, and clinical practice in healthcare systems with limited access to advanced retinal imaging. Nevertheless, interpretation of these indices should always consider concurrent inflammatory disorders, infections, hematological diseases, medications, and other conditions capable of influencing

leukocyte or platelet counts. Standardization of cutoff values and prospective multicenter validation remain essential before widespread implementation in clinical guidelines can be recommended [18–20].

Overall, the available evidence supports integration of inflammatory indices into a multidisciplinary approach combining endocrinology and ophthalmology. Rather than replacing established diagnostic methods such as fundus examination, optical coherence tomography, and optical coherence tomography angiography, NLR, PLR, and SII should be viewed as complementary biomarkers capable of refining risk stratification and improving individualized patient management. Future investigations should focus on establishing standardized prognostic thresholds, evaluating dynamic changes in inflammatory indices during treatment, and determining whether targeted reduction of systemic inflammation can alter the long-term course of diabetic retinopathy. Such advances may facilitate earlier intervention and contribute to preservation of visual function in patients with diabetes mellitus [20].

CONCLUSION

Current evidence demonstrates that systemic inflammatory indices, particularly the neutrophil-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio, and systemic immune-inflammation index, are closely associated with the development, severity, and progression of diabetic retinopathy. These biomarkers reflect the complex interaction between chronic low-grade inflammation, metabolic dysregulation, endothelial dysfunction, and retinal microvascular injury that underlies the pathogenesis of diabetic retinal disease. Elevated values of NLR, PLR, and especially SII have consistently been associated with proliferative diabetic retinopathy, diabetic macular edema, and less favorable therapeutic outcomes, supporting their potential role as readily available prognostic biomarkers. Their accessibility, low cost, and reproducibility make these indices attractive adjuncts to conventional ophthalmic examination and retinal imaging for identifying patients at increased risk of vision-threatening complications.

The integration of inflammatory biomarkers into routine clinical assessment may strengthen collaboration between ophthalmologists and endocrinologists by providing a more comprehensive evaluation of both retinal and systemic disease activity. Combined interpretation of NLR, PLR, and SII with metabolic parameters, optical coherence tomography, optical coherence tomography angiography, and established clinical risk factors has the potential to improve individualized risk stratification, optimize follow-up intervals, and facilitate earlier therapeutic intervention. Future large-scale prospective studies are required to establish standardized cutoff values, validate prognostic algorithms, and determine whether dynamic changes in inflammatory indices can guide treatment decisions and improve long-term visual outcomes in patients with diabetic retinopathy.

References

1. Teo ZL, Tham YC, Yu M, Chee ML, Rim TH, Cheung N, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2021;128(11):1580-1591.
2. American Diabetes Association Professional Practice Committee. Retinopathy, neuropathy, and foot care: Standards of Care in Diabetes 2024. *Diabetes Care*. 2024;47(Suppl 1):S231-S243.
3. Yue T, Shi Y, Luo S, Weng J, Wu Y, Zheng X. The role of inflammation in immune system of diabetic retinopathy: molecular mechanisms, pathogenetic role and therapeutic implications. *Front Immunol*. 2022;13:1055087.
4. Tang L, Zhang C, Lu L, Tian H, Liu K, Luo D. Inflammation in diabetic retinopathy: possible roles in pathogenesis and potential implications for therapy. *Neural Regen Res*. 2023;18(5):976-983.
5. Wang JR, Chen ZL, Yang K, Yang HJ, Tao WY, Li YP, et al. Association between neutrophil-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio, and diabetic retinopathy among diabetic patients without a related family history. *Diabetol Metab Syndr*. 2020;12:55.
6. He X, Qi S, Zhang X, Pan J. The relationship between the neutrophil-to-lymphocyte ratio and diabetic retinopathy in adults from the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey. *BMC Ophthalmol*. 2022;22(1):346.
7. Zeng J, Chen M, Feng Q, Wan H, Wang J, Yang F, et al. The platelet-to-lymphocyte ratio predicts diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2022;15:3617-3626.
8. Yeter DY, Eroglu S, Sariakcali B, Bozali E, Ozec AV, Erdogan H. The usefulness of monocyte-to-high density lipoprotein and neutrophil-to-lymphocyte ratio in diabetic macular edema prediction and early anti-VEGF treatment response. *Ocul Immunol Inflamm*. 2022;30(4):901-906.
9. Rajendrakumar AL, Hapca SM, Nair ATN, Huang Y, Chourasia MK, Kwan RS, et al. Competing risks analysis for neutrophil to lymphocyte ratio as a predictor of diabetic retinopathy incidence in the Scottish population. *BMC Med*. 2023;21(1):304.
10. Wang S, Pan X, Jia B, Chen S. Exploring the correlation between the systemic immune inflammation index, systemic inflammatory response index, and type 2 diabetic retinopathy. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2023;16:3827-3836.
11. Gao Y, Lu RX, Tang Y, Yang XY, Meng H, Zhao CL, et al. Systemic immune-inflammation index, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and platelet-to-lymphocyte ratio in patients with type 2 diabetes at different stages of diabetic retinopathy. *Int J Ophthalmol*. 2024;17(5):877-882.
12. Li J, Wang X, Jia W, Wang K, Wang W, Diao W, et al. Association of the systemic immuno-inflammation index, neutrophil-to-lymphocyte ratio, and platelet-to-lymphocyte ratio with diabetic microvascular complications. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024;15:1367376.

13. Elbeyli A, Kurtul BE, Ozcan SC, Ozarslan Ozcan D. The diagnostic value of systemic immune-inflammation index in diabetic macular oedema. *Clin Exp Optom.* 2022;105(8):831-835.
14. Özata Gündoğdu K, Doğan E, Çelik E, Alagöz G. Serum inflammatory marker levels in serous macular detachment secondary to diabetic macular edema. *Eur J Ophthalmol.* 2022;32(6):3637-3643.
15. Gong Y, Wang L, Li Q, Wang M, Luan R, Gao F, et al. Evaluating neutrophil-lymphocyte ratio, systemic immune-inflammation index, and systemic inflammation response index for diagnosing and predicting progression in diabetic retinopathy: a cross-sectional and longitudinal study. *BMC Ophthalmol.* 2025;25:398.
16. Jin W, Tu X, Chen X, Zhang J. Association between the neutrophil-to-lymphocyte ratio and the incidence of diabetic retinopathy: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2026;16:1712767.
17. Dong Y, Qiu X, Wang L, Chen Y, Zhang H. Predictive value of systemic immune-inflammation index in patients with diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2025;16:1617814.
18. Harley O, Alghamdi S, Vora K, Choudhary P, Sim DA, Sivaprasad S. Systemic-retinal inflammatory crosstalk in diabetic macular edema: correlation between hematologic indices and macular OCT features. *Int J Retina Vitreous.* 2025;11:94.
19. Zhang Y, Wang X, Liu Y, Chen J, Li H. The association between peripheral blood inflammatory markers and anti-VEGF treatment response in patients with type 2 diabetic macular edema. *Front Med (Lausanne).* 2025;12:1653753.
20. Kazantzis D, Machairoudia G, Theodossiadis P, Chatziralli I. The neutrophil to lymphocyte ratio and other full blood count indices in retinal diseases: a systematic review of the literature. *Medicina (Kaunas).* 2025;61(1):125.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ENDOSCOPIC DIAGNOSIS OF OTORHINOLARYNGOLOGICAL DISEASES

Mamriyeva Meruyert Dauletkyzy,
Kazakh-Russian Medical University

Sadivakhassova Diana Nurmakhanbetovna,
Kazakh-Russian Medical University

Tabigat Alida Adiletkyzy,
Semey Medical University

Zamanova Azhar Akylbekkyzy,
Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov

Zhaparkulov Nurbakyt Toishykululy,
Astana Medical University,
Kazakhstan

Abstract. Artificial intelligence has rapidly emerged as one of the most transformative technologies in medical imaging, offering new opportunities to improve the accuracy, efficiency, and reproducibility of diagnostic decision-making. In otorhinolaryngology, endoscopic examination remains the primary method for evaluating diseases of the nasal cavity, paranasal sinuses, nasopharynx, oropharynx, and larynx; however, its diagnostic performance is influenced by examiner experience and subjective interpretation of visual findings. Recent advances in deep learning and computer vision have enabled automated analysis of endoscopic images, facilitating the detection, classification, and characterization of inflammatory, benign, and malignant lesions. Simultaneously, the integration of artificial intelligence with radiological imaging has expanded the diagnostic capabilities of multimodal assessment in patients with diseases of the ear, nose, and throat.

This review summarizes current evidence regarding the application of artificial intelligence in the endoscopic diagnosis of otorhinolaryngological diseases, with particular emphasis on deep learning algorithms, computer vision techniques, and multimodal diagnostic approaches combining endoscopy with computed tomography and magnetic resonance imaging. The review also evaluates the diagnostic performance of contemporary artificial intelligence models, their clinical applications in inflammatory and neoplastic diseases of the upper aerodigestive tract, current methodological limitations, and future perspectives for clinical implementation. Available evidence indicates that artificial intelligence has the potential to enhance diagnostic accuracy, support clinical decision-making, improve standardization of

endoscopic interpretation, and facilitate earlier detection of clinically significant pathology while complementing, rather than replacing, expert clinical assessment.

Keywords: *artificial intelligence, deep learning, computer vision, endoscopy, otorhinolaryngology, radiology, computed tomography, magnetic resonance imaging, diagnostic imaging, head and neck diseases.*

Introduction

Endoscopic examination is a fundamental diagnostic tool in contemporary otorhinolaryngology, providing direct visualization of the nasal cavity, paranasal sinus drainage pathways, nasopharynx, oropharynx, hypopharynx, and larynx. It plays a central role in the diagnosis and follow-up of inflammatory disorders, benign lesions, premalignant conditions, and head and neck malignancies. Despite continuous improvements in endoscopic imaging systems, diagnostic interpretation remains highly dependent on the clinician's experience, image quality, and subjective assessment of morphological changes. Interobserver variability and the subtle appearance of early pathological lesions continue to present important diagnostic challenges, emphasizing the need for objective image analysis methods capable of supporting clinical decision-making and improving diagnostic consistency [1,2].

The rapid evolution of artificial intelligence, particularly deep learning and computer vision, has significantly expanded the capabilities of medical image analysis. Convolutional neural networks and other advanced machine learning architectures have demonstrated remarkable performance in recognizing complex visual patterns that may be difficult to identify during routine clinical evaluation. Within otorhinolaryngology, artificial intelligence has increasingly been applied to endoscopic images for automated detection, classification, and segmentation of pathological lesions involving the nasal cavity, paranasal sinuses, pharynx, and larynx. These technologies offer the potential to reduce diagnostic variability, improve early disease recognition, and facilitate standardized interpretation of endoscopic findings across different healthcare settings [3,4].

From a radiological perspective, advances in artificial intelligence have transformed the analysis of computed tomography and magnetic resonance imaging of the head and neck. Modern diagnostic workflows increasingly integrate endoscopic findings with radiological information to improve lesion localization, assessment of disease extent, surgical planning, and post-treatment surveillance. Artificial intelligence enables automated interpretation of imaging data, extraction of quantitative imaging biomarkers, and multimodal fusion of endoscopic and radiological information, thereby providing a more comprehensive evaluation of anatomical and pathological changes than either modality alone. Such integrated approaches are becoming increasingly relevant for chronic rhinosinusitis, sinonasal tumors, laryngeal neoplasms, and other complex otorhinolaryngological disorders [5,6].

The convergence of artificial intelligence, endoscopic imaging, and radiological diagnostics represents one of the most promising directions in precision otorhinolaryngology. As increasingly robust algorithms become available and larger annotated image datasets are developed, artificial intelligence is expected to play a

progressively greater role in clinical practice by improving diagnostic accuracy, supporting multidisciplinary decision-making, and optimizing patient management. At the same time, successful implementation requires rigorous external validation, standardized imaging protocols, transparent algorithm development, and careful integration into routine clinical workflows to ensure both safety and clinical reliability [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the application of artificial intelligence in the endoscopic diagnosis of otorhinolaryngological diseases, with particular emphasis on deep learning algorithms, multimodal integration with radiological imaging, diagnostic performance, current limitations, and future directions for clinical implementation.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate the current applications of artificial intelligence in the endoscopic diagnosis of otorhinolaryngological diseases, with particular emphasis on multimodal diagnostic approaches integrating endoscopic imaging and radiological examinations. A comprehensive search of the scientific literature was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Publications published between 2020 and 2026 were considered for inclusion. Priority was given to systematic reviews, meta-analyses, prospective clinical studies, diagnostic accuracy studies, retrospective imaging analyses, international consensus statements, and methodological investigations evaluating artificial intelligence algorithms for endoscopic and radiological assessment of diseases affecting the ear, nose, throat, and head and neck region.

The review included studies investigating deep learning, convolutional neural networks, machine learning, computer vision, and multimodal artificial intelligence models applied to endoscopic images, computed tomography, magnetic resonance imaging, and combined imaging datasets. Particular attention was given to studies evaluating diagnostic accuracy, lesion classification, segmentation, early detection of inflammatory and neoplastic diseases, automated image interpretation, and clinical decision-support systems. Publications limited to conference abstracts, case reports, editorials, duplicate datasets, studies with insufficient methodological quality, or investigations unrelated to endoscopic or radiological diagnosis were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

Recent evidence demonstrates that artificial intelligence has progressed from experimental technology to a clinically relevant decision-support tool in otorhinolaryngology. Across multiple studies published during the past five years, deep learning algorithms have consistently achieved high diagnostic performance in the interpretation of endoscopic images, particularly for inflammatory diseases, benign lesions, and early malignant tumors of the upper aerodigestive tract. Reported diagnostic accuracies frequently exceed 90%, with several convolutional neural network models demonstrating sensitivity and specificity comparable to experienced otorhinolaryngologists under controlled validation conditions. These findings indicate

that artificial intelligence has the potential to improve diagnostic standardization while reducing observer-dependent variability in endoscopic assessment [8].

One of the most extensively investigated applications involves endoscopic diagnosis of chronic rhinosinusitis and nasal polyposis. Artificial intelligence models trained on large collections of nasal endoscopic images have demonstrated excellent capability in identifying inflammatory mucosal changes, grading polyp burden, differentiating postoperative anatomical alterations, and classifying disease severity. Automated segmentation algorithms have also enabled objective quantification of mucosal edema and inflammatory involvement, improving reproducibility compared with conventional subjective scoring systems. Such approaches may facilitate longitudinal monitoring of treatment response and support individualized therapeutic decision-making in patients with chronic sinonasal disease [9,10].

Artificial intelligence has also demonstrated considerable value in the diagnosis of laryngeal disorders. Deep learning algorithms analyzing white-light and narrow-band imaging endoscopic examinations have shown high accuracy in distinguishing benign vocal fold lesions, epithelial dysplasia, and early laryngeal squamous cell carcinoma. Several studies have reported diagnostic performance comparable to expert laryngologists while simultaneously improving detection of subtle vascular abnormalities that may be overlooked during routine examination. These developments are particularly important because early identification of malignant transformation remains one of the major determinants of organ preservation and long-term survival in patients with laryngeal cancer [11].

Another rapidly developing field involves endoscopic evaluation of the nasopharynx, oropharynx, and hypopharynx. Artificial intelligence has demonstrated promising performance in automated lesion localization, tissue classification, and differentiation between inflammatory and neoplastic abnormalities. Advanced computer vision systems have been successfully applied to identify suspicious mucosal patterns, delineate lesion margins, and assist biopsy targeting during endoscopic examination. These capabilities may improve diagnostic precision while reducing unnecessary invasive procedures and facilitating earlier diagnosis of head and neck malignancies [12].

From a methodological perspective, convolutional neural networks remain the dominant artificial intelligence architecture in endoscopic image analysis. Their ability to automatically extract hierarchical imaging features eliminates the need for handcrafted feature engineering and substantially improves classification performance across heterogeneous imaging datasets. More recently, transformer-based neural networks, hybrid deep learning models, and self-supervised learning algorithms have demonstrated additional improvements in image recognition, segmentation accuracy, and robustness when analyzing complex endoscopic examinations obtained under variable clinical conditions. These methodological advances have substantially expanded the applicability of artificial intelligence within routine otorhinolaryngological practice [13,14].

The integration of artificial intelligence with radiological imaging has further enhanced diagnostic capabilities for diseases of the head and neck. Deep learning

algorithms have been successfully applied to computed tomography and magnetic resonance imaging for automated lesion detection, volumetric segmentation, assessment of tumor invasion, and evaluation of inflammatory changes affecting the paranasal sinuses, temporal bone, and skull base. Emerging multimodal models combining endoscopic findings with computed tomography and magnetic resonance imaging provide more comprehensive characterization of disease extent than imaging modality alone. These integrated diagnostic strategies have demonstrated value in preoperative planning, assessment of anatomical complexity, and prediction of surgical outcomes in patients with sinonasal and head and neck pathology [15–17].

Despite these advances, several important limitations continue to influence clinical implementation of artificial intelligence. Many currently available algorithms have been developed using relatively small, single-center datasets and frequently lack robust external validation across different patient populations, imaging systems, and healthcare environments. Variability in endoscopic image quality, inconsistent annotation protocols, limited algorithm interpretability, and concerns regarding regulatory approval remain significant challenges. Future development is increasingly focused on explainable artificial intelligence, federated learning, multimodal diagnostic platforms, and real-time clinical decision-support systems capable of integrating endoscopic images, radiological examinations, and electronic health records into a unified diagnostic framework. Such developments are expected to further improve diagnostic accuracy, workflow efficiency, and personalized management of patients with otorhinolaryngological diseases [18–20].

Discussion

The findings of the present review demonstrate that artificial intelligence is rapidly evolving from an experimental image-analysis technology into a clinically relevant component of modern otorhinolaryngological diagnostics. Unlike conventional computer-assisted image processing systems, contemporary deep learning algorithms can recognize complex morphological patterns directly from endoscopic and radiological images while continuously improving their diagnostic performance through exposure to large, annotated datasets. The consistently high diagnostic accuracy reported across recent studies suggests that artificial intelligence has reached a level of technical maturity that supports its integration into selected stages of routine clinical assessment rather than remaining exclusively within the domain of research applications [8–10].

One of the principal advantages of artificial intelligence lies in its ability to reduce observer-dependent variability, which remains a significant limitation of endoscopic examination. Interpretation of inflammatory changes, early epithelial abnormalities, vascular alterations, and subtle neoplastic lesions frequently differs among clinicians according to individual experience and institutional expertise. Artificial intelligence provides objective quantitative image analysis based on reproducible algorithms, thereby improving diagnostic consistency and reducing subjectivity. Such standardization is particularly valuable in screening settings, outpatient practice, and institutions where access to highly specialized otorhinolaryngologists may be limited [9–12].

The reviewed literature further indicates that artificial intelligence should not be considered a replacement for clinical expertise but rather an advanced decision-support system capable of augmenting physician performance. Most contemporary algorithms achieve their highest diagnostic accuracy when integrated into clinician-guided workflows instead of operating independently. Artificial intelligence rapidly identifies suspicious image regions, performs lesion segmentation, estimates disease probability, and highlights morphological characteristics requiring further evaluation, while the final diagnostic interpretation remains dependent upon comprehensive clinical assessment, patient history, physical examination, and multidisciplinary correlation. This collaborative model represents the most realistic and clinically acceptable pathway for implementation within routine otorhinolaryngological practice [11–14].

An important development highlighted by recent investigations is the increasing convergence of endoscopic imaging and radiological diagnostics through multimodal artificial intelligence models. Endoscopy provides detailed visualization of mucosal morphology, whereas computed tomography and magnetic resonance imaging offer complementary information regarding anatomical relationships, deep tissue involvement, osseous structures, and tumor extension beyond the mucosal surface. Artificial intelligence enables simultaneous analysis of these heterogeneous imaging datasets, facilitating more comprehensive disease characterization than either modality alone. Such multimodal diagnostic strategies appear particularly valuable for chronic rhinosinusitis, skull base pathology, temporal bone disease, and head and neck oncology, where accurate assessment of disease extent directly influences therapeutic planning [15–17].

Despite these advances, several methodological limitations remain evident throughout the current literature. Many published studies have been conducted using retrospective single-center datasets with relatively limited sample sizes and heterogeneous imaging protocols. External validation across different endoscopic systems, patient populations, ethnic groups, and healthcare environments remains insufficient in many investigations. Furthermore, substantial variability exists regarding image annotation standards, algorithm architecture, reference diagnostic criteria, and reported performance metrics, making direct comparison between studies challenging. These limitations emphasize the need for large multicenter prospective investigations employing standardized methodological frameworks before widespread clinical implementation can be recommended [17–19].

Another important consideration concerns the interpretability and transparency of artificial intelligence models. Although deep neural networks frequently demonstrate excellent diagnostic performance, many continue to function as "black-box" systems with limited explanation of the image features influencing their predictions. This lack of interpretability may reduce clinician confidence and complicate regulatory approval for routine clinical use. Consequently, increasing attention is being directed toward explainable artificial intelligence, uncertainty estimation, and visualization techniques capable of illustrating algorithmic reasoning while preserving diagnostic performance. Development of transparent models will likely play a crucial role in establishing physician trust and facilitating responsible integration into clinical workflows [18–20].

Overall, the current evidence indicates that artificial intelligence represents one of the most promising innovations in contemporary otorhinolaryngology and diagnostic radiology. Continued advances in deep learning, computer vision, radiomics, and multimodal data integration are expected to improve diagnostic precision, accelerate interpretation of complex imaging studies, and support personalized clinical decision-making. Future progress will depend not only on algorithmic refinement but also on prospective clinical validation, standardized reporting methodologies, multidisciplinary collaboration, and seamless integration of artificial intelligence into routine diagnostic pathways. Under these conditions, artificial intelligence has the potential to become an essential component of precision diagnostics for diseases of the ear, nose, throat, and head and neck.

CONCLUSION

Artificial intelligence is fundamentally reshaping the diagnostic paradigm in otorhinolaryngology by enabling objective, reproducible, and highly accurate analysis of endoscopic and radiological images. Contemporary evidence demonstrates that deep learning algorithms, computer vision techniques, and multimodal artificial intelligence models can reliably identify inflammatory, benign, and malignant lesions of the upper aerodigestive tract while achieving diagnostic performance comparable with that of experienced specialists in selected clinical settings. Rather than replacing clinical expertise, these technologies provide complementary diagnostic support that enhances image interpretation, reduces interobserver variability, improves standardization of endoscopic assessment, and facilitates earlier recognition of clinically significant pathology. The integration of endoscopic imaging with computed tomography and magnetic resonance imaging through artificial intelligence further expands diagnostic capabilities by providing comprehensive evaluation of both superficial mucosal abnormalities and deep anatomical involvement.

The future of precision otorhinolaryngology will increasingly depend on the successful integration of artificial intelligence into routine clinical workflows. Achieving this objective requires prospective multicenter validation, development of large, standardized imaging databases, external validation across diverse populations, transparent and interpretable algorithms, and harmonized reporting standards for diagnostic performance. Continued collaboration among otorhinolaryngologists, radiologists, data scientists, and biomedical engineers will be essential for translating technological advances into clinically reliable diagnostic systems. As these challenges are addressed, artificial intelligence is expected to become an indispensable component of multimodal diagnostic strategies, supporting more accurate disease detection, individualized therapeutic planning, optimized surgical decision-making, and ultimately improved clinical outcomes for patients with otorhinolaryngological diseases.

References

1. Bensoussan Y, Vanstrum EB, Johns MM, Rameau A. Artificial intelligence and laryngeal cancer: from screening to prognosis: a state of the art review. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2023;168(2):319-329.

2. Żurek M, Jasak K, Niemczyk K, Rzepakowska A. Artificial intelligence in laryngeal endoscopy: systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2022;11(10):2752.
3. Mahmood H, Shaban M, Rajpoot N, Khurram SA. Artificial intelligence-based methods in head and neck cancer diagnosis: an overview. *Br J Cancer.* 2021;124(12):1934-1940.
4. van Dijk LV, Brouwer CL, van der Schaaf A, Burgerhof JGM, Beukinga RJ, Langendijk JA, et al. Artificial intelligence and radiomics in head and neck cancer care: opportunities, mechanics and challenges. *Radiother Oncol.* 2021;157:157-166.
5. Inaba A, Hori K, Yoda Y, Ikematsu H, Takano H, Matsuzaki H, et al. Artificial intelligence system for detecting superficial laryngopharyngeal cancer with high efficiency of deep learning. *Head Neck.* 2020;42(9):2581-2592.
6. Cho WK, Lee YJ, Joo HA, Jeong IS, Choi Y, Nam SY, et al. Diagnostic accuracies of laryngeal diseases using a convolutional neural network-based image classification system. *Laryngoscope.* 2021;131(11):2558-2566.
7. Azam MA, Khan KB, Salahuddin S, Rehman E, Khan SA, Khan MA, et al. Deep learning applied to white light and narrow band imaging videolaryngoscopy: toward real-time laryngeal cancer detection. *Laryngoscope.* 2022;132(9):1798-1806.
8. Xu ZH, Fan DG, Huang JQ, Wang JW, Wang Y, Li YZ. Computer-aided diagnosis of laryngeal cancer based on deep learning with laryngoscopic images. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(24):3669.
9. Li Y, Zhang H, Chen Y, Wang X, Liu J, Zhou M, et al. Real-time detection of laryngopharyngeal cancer using an artificial intelligence-assisted system based on multimodal endoscopic images. *J Transl Med.* 2023;21(1):759.
10. Mohamed N, Alshamrani M, Elhoseny M, Shams MY, Hassanien AE. Automated laryngeal cancer detection and classification using deep learning. *Cancers (Basel).* 2024;16(1):181.
11. Marrero-Gonzalez AR, Diemer TJ, Nguyen SA, Camilon TJM, Meenan K, O'Rourke AK. Application of artificial intelligence in laryngeal lesions: a systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2025;282(3):1189-1202.
12. Alabdalhussein A, Al-Khalifa K, Almutairi A, Alghamdi A, Alqahtani S. Artificial intelligence in laryngeal cancer detection: a systematic review and meta-analysis. *Curr Oncol.* 2025;32(6):338.
13. Hu R, Zhang Y, Chen J, Wang L, Li X, Liu H, et al. Comparison of clinical nasal endoscopy, optical biopsy, and artificial intelligence-assisted diagnosis for early detection of sinonasal lesions. *Diagnostics (Basel).* 2025;15(12):1486.
14. Liu YY, Xu Y, Wang J, Zhang L, Liu Z. Artificial intelligence optimizes the standardized diagnosis and treatment of chronic rhinosinusitis. *Int Forum Allergy Rhinol.* 2025;15(5):785-796.
15. Du W, Kang W, Lai S, Chen Y, Yang X, Liu Z, et al. Deep learning in computed tomography to predict endotype in chronic rhinosinusitis with nasal polyps. *BMC Med Imaging.* 2024;24(1):25.
16. Broggi G, Salvatorelli L, Barbagallo D, Certo F, Altieri R, Giuffrida R, et al. Artificial intelligence in head and neck cancer diagnosis: a comprehensive review with

emphasis on radiomics, histopathological and molecular applications. *Cancers (Basel)*. 2024;16(21):3623.

17. Petsiou DP, Roussakis AA, Koutsouris DD, Filippou DK, Nikolopoulos TP. Applications of artificial intelligence in temporal bone imaging: a systematic review. *J Clin Med*. 2023;12(19):6209.

18. Chen B, Zhang Z, Wang H, Li Y, Liu X, Chen J, et al. A 3D and explainable artificial intelligence model for automated assessment of cholesteatoma on temporal bone computed tomography. *J Med Internet Res*. 2024;26:e51706.

19. Hasan Z, Wong D, Rajan GP, Atlas MD, Eikelboom RH, Santa Maria PL. A deep learning algorithm to identify anatomical landmarks on computed tomography of the temporal bone. *Otol Neurotol*. 2023;44(10):e765-e772.

20. Fujita N, Yamashita K, Kuroda R, Takahashi M, Hiwatashi A. Deep learning reconstruction for high-resolution computed tomography of the temporal bone. *Neuroradiology*. 2024;66(7):1103-1112.

LEADING CHARACTERISTICS OF THE PROCESSES OF PROFESSIONAL ADAPTATION OF YOUNG WOMEN AND YOUNG MEN IN MODERN CONDITIONS

Serheta Ihor

Doctor of Medical Sciences, Professor,
Director of the Educational and Research Institute of
Public Health, Biology, Diseases Control and Prevention,
Professor of Department of General Hygiene and Ecology
National Pirogov Memorial Medical University, Vinnitsya, Ukraine

In the structure of hygienic studies, the aim of which is to determine the leading characteristics of the processes of adaptation of the personality, including professional, to new, unusual for it, conditions, a special place is occupied by the study of health indicators, that is, determining the degree of approximation of the functional state of the organism in modern conditions [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Such an approach is extremely important not only from a diagnostic and a prognostic point of view, that is, from the point of view of determining the prospects for the development of the personality for the future, primarily its capabilities for the successful implementation of socially and professionally significant activities [1, 6, 7, 8, 9, 10].

The results of a comprehensive assessment of the health of young women and young men indicate an undeniable positive impact of the program of rational organization of educational and extracurricular activities, which was developed and implemented. Thus, its active use, first of all, led to a decrease in the number of diseases with temporary loss of working capacity and chronic course of the pathological process, an increase in the level of physical performance, improvement of indicators of physical fitness and success of professional training.

In order to objectify their qualitative and quantitative assessment of the processes of professional adaptation, an index of psychophysiological adaptation was proposed, which was developed on the basis of identifying the number of cases with signs of the presence of positive, negative and stable data of dynamic shifts on the part of individual psychophysiological functions and personality traits during the observation period, as well as predictive models for its calculation, which were developed on the basis of the fundamental provisions of variational statistics.

The data of multivariate statistical analysis allow us to clearly and clearly reveal that three priority groups of factors are most significantly interconnected with the indicators of the level of psychophysiological and mental adaptation and success in professional training: in young women - characteristics of the motor analyzer and physical condition, properties of nervous processes and strength correlates of physical fitness, parameters of visual-motor coordination and emotional state; in young men - characteristics of the motor analyzer and depression, indicators of visual-motor coordination and speed-strength parameters of physical fitness, data on the properties of temperament and physical endurance too.

References

1. Полька Н. С., Сергета І. В. Актуальні проблеми психогігієни дітей і підлітків: шляхи та перспективи їх вирішення (огляд літератури і власних досліджень). *Журнал НАМН України*. 2012. Т. 18, № 2. С. 223-236.
2. Нікберг І. І., Сергета І. В., Цимбалюк Л. І. Гігієна з основами екології. К. : Здоров'я, 2001. 504 с.
3. Сергета І. В., Браткова О. Ю., Серебреннікова О. А. Наукове обґрунтування гігієнічних принципів профілактики розвитку донозологічних зрушень у стані психічного здоров'я учнів сучасних закладів середньої освіти (огляд літератури і власних досліджень). *Журнал НАМН України*. 2022. Т. 28, № 1. С. 306-326.
4. Сергета І. В., Серебреннікова О. А., Стоян Н. В., Дреженкова І. Л., Макарова О. І. Психогігієнічні принципи використання здоров'язберігаючих технологій у сучасних закладах вищої освіти. *Довкілля та здоров'я*. 2022. № 2 (103). С. 32-41.
5. Тимошук О. В., Полька Н. С., Сергета І. В. Наукові основи комплексної гігієнічної оцінки якості життя та адаптаційних можливостей сучасної учнівської і студентської молоді. Вінниця : ТОВ "ТВОРИ", 2020. 272 с.
6. Сергета І. В., Панчук О. Ю., Стоян Н. В., Дреженкова І. Л., Макаров С. Ю. Університетська гігієна у контексті імплементації "Закону про вищу освіту": фізіолого-гігієнічні основи, реалії та шляхи розвитку. *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 4 (80). С. 46-52.
7. Сергета І. В., Бардов В. Г., Дреженкова І. Л., Панчук О. Ю. Гігієнічні нормативи рухової активності студентів закладів вищої медичної освіти та шляхи її оптимізації. Вінниця : ТОВ "ТВОРИ", 2020. 184 с.
8. Сергета І. В., Панчук О. Ю., Яворовський О. П. Гігієнічна діагностика професійної придатності студентів закладів медичної освіти (на прикладі стоматологічних спеціальностей). Вінниця : ТОВ "ТВОРИ", 2020. 348 с.
9. Черепаха О. Л., Сергета І. В., Жуковський В. Т. Моделювання нормативних показників реовазограми гомілки у підлітків різних соматотипів в залежності від особливостей будови тіла на підставі використання статистичних моделей. *Вісник морфології*. 2011. Т. 17, № 2. С. 323-327.
10. Chorna V. V., Sergeta I. V., Makhnyuk V. M. Modern approaches to the creation of in-hospital comfort for patients and medical staff in psychiatric health care facilities. *Biomedikal and Biosocial anthropology*. 2019. № 35. P. 48-53.

PROGNOSTIC ROLE OF EARLY KIDNEY INJURY BIOMARKERS IN PATIENTS WITH UROLITHIASIS FOLLOWING ENDOUROLOGICAL INTERVENTIONS

Shaifulin Daniyar,

Second-Year Resident, Department of Urology,
National Scientific Medical Center

Bakhayeva Ayaulym Nurlankyzy,

Astana Medical University

Muzarap Shugyla Abdisattarkyzy,

Kazakh-Russian Medical University

Omirbayeva Nurzhaina Yessenovna,

Ualikhanov University

Tazhi Aibek Aymuratuly,

West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov,
Kazakhstan

Abstract. Endourological interventions have become the standard of care for the management of urolithiasis because of their high efficacy, minimal invasiveness, and favorable safety profile. Nevertheless, transient renal ischemia, increased intrapelvic pressure, mechanical trauma, postoperative inflammation, and infectious complications may contribute to acute kidney injury, which often remains undetected during the early postoperative period when conventional renal function markers remain within the normal range. In recent years, increasing attention has been directed toward early kidney injury biomarkers, including neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL), kidney injury molecule-1 (KIM-1), cystatin C, interleukin-18 (IL-18), and liver-type fatty acid-binding protein (L-FABP), owing to their ability to detect subclinical renal injury before measurable changes in serum creatinine or estimated glomerular filtration rate become apparent.

This review summarizes current evidence regarding the prognostic significance of early kidney injury biomarkers in patients with urolithiasis undergoing endourological interventions. Particular attention is given to the pathophysiological mechanisms of postoperative renal injury, the diagnostic and prognostic performance of individual biomarkers, their relationship with perioperative risk factors, and the potential advantages of multimarker strategies for early identification of patients at increased risk of postoperative acute kidney injury. Available evidence suggests that incorporation of early kidney injury biomarkers into perioperative assessment may improve risk stratification, facilitate timely nephroprotective interventions, optimize

postoperative monitoring, and contribute to more personalized management of patients undergoing endourological treatment.

Keywords: *urolithiasis, endourological interventions, acute kidney injury, early kidney injury biomarkers, neutrophil gelatinase-associated lipocalin, kidney injury molecule-1, cystatin C, interleukin-18, liver-type fatty acid-binding protein, prognosis.*

Introduction

Urolithiasis remains one of the most prevalent urological diseases worldwide, with its incidence steadily increasing because of population aging, metabolic disorders, obesity, diabetes mellitus, and lifestyle-related risk factors. Advances in minimally invasive surgery have established endourological interventions, including percutaneous nephrolithotomy, retrograde intrarenal surgery, and ureteroscopy, as the preferred treatment modalities for most urinary calculi. Although these procedures achieve high stone-free rates and favorable perioperative safety profiles, they may also induce transient renal injury resulting from elevated intrapelvic pressure, ischemia-reperfusion, mechanical trauma, and postoperative inflammatory responses. Recognition of these changes has highlighted the importance of early identification of renal injury before irreversible functional impairment develops [1,2].

Assessment of renal function after endourological intervention has traditionally relied on serum creatinine concentration and estimated glomerular filtration rate. However, both parameters demonstrate important limitations because they reflect functional decline only after substantial nephron injury has already occurred and are influenced by age, muscle mass, hydration status, and other non-renal factors. Consequently, mild or subclinical acute kidney injury frequently remains undetected during the immediate postoperative period, delaying implementation of nephroprotective measures. These shortcomings have stimulated increasing interest in sensitive biomarkers capable of detecting tubular injury at a much earlier stage [3,4].

Among the currently available biomarkers, neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL), kidney injury molecule-1 (KIM-1), cystatin C, interleukin-18 (IL-18), and liver-type fatty acid-binding protein (L-FABP) have demonstrated the greatest potential for early diagnosis of postoperative renal injury. These molecules reflect different mechanisms of nephron damage, including tubular epithelial injury, inflammatory activation, oxidative stress, and ischemic insult. Numerous clinical studies have shown that changes in their concentrations occur within hours after renal injury, preceding measurable increases in serum creatinine and allowing earlier identification of patients at risk for postoperative acute kidney injury [5,6].

Recent investigations have further demonstrated that the prognostic value of these biomarkers extends beyond early diagnosis alone. Elevated postoperative biomarker concentrations have been associated with operative duration, intrarenal irrigation pressure, stone burden, infectious complications, and subsequent deterioration of renal function. Emerging evidence also supports the use of multimarker strategies integrating several biomarkers to improve diagnostic accuracy and perioperative risk stratification. Such approaches may facilitate individualized postoperative monitoring and contribute to optimization of perioperative management in patients undergoing endourological treatment for urolithiasis [7].

The aim of this review was to summarize current evidence regarding the prognostic role of early kidney injury biomarkers in patients with urolithiasis undergoing endourological interventions, with particular emphasis on their diagnostic performance, association with perioperative risk factors, and potential application in early prediction of postoperative acute kidney injury.

Materials and Methods

A systematic literature review was conducted to evaluate the prognostic role of early kidney injury biomarkers in patients with urolithiasis undergoing endourological interventions. A comprehensive search of the scientific literature was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Publications published between 2020 and 2026 were considered for inclusion. Priority was given to international clinical guidelines, systematic reviews, meta-analyses, prospective cohort studies, and observational investigations evaluating renal biomarkers following endourological treatment.

The review included studies assessing the diagnostic and prognostic performance of neutrophil gelatinase-associated lipocalin, kidney injury molecule-1, cystatin C, interleukin-18, and liver-type fatty acid-binding protein in the early detection of postoperative acute kidney injury. Studies investigating perioperative risk factors, biomarker dynamics, multimarker diagnostic approaches, and postoperative renal outcomes were also analyzed. Conference abstracts, case reports, editorials, duplicate publications, studies with insufficient methodological quality, and articles unrelated to the objectives of the review were excluded. Following eligibility assessment and full-text evaluation, 20 publications were selected for qualitative synthesis and included in the final analysis.

Results

Contemporary evidence indicates that acute kidney injury following endourological treatment is more common than previously recognized, particularly when sensitive biomarkers rather than conventional laboratory parameters are used for postoperative assessment. Although clinically significant deterioration in serum creatinine occurs in only a relatively small proportion of patients, transient tubular injury may develop considerably more frequently after percutaneous nephrolithotomy, retrograde intrarenal surgery, and ureteroscopy. The risk is influenced by operative duration, elevated intrapelvic irrigation pressure, stone burden, repeated instrument manipulation, postoperative infection, and pre-existing renal impairment. These findings suggest that subclinical renal injury represents an important perioperative event that may remain undetected when monitoring relies exclusively on traditional indicators of renal function [8,9].

Neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL) has emerged as the most extensively investigated biomarker of early postoperative kidney injury. Multiple prospective studies have demonstrated significant increases in urinary and plasma NGAL within the first few hours after endourological intervention, preceding measurable changes in serum creatinine by 24–48 hours. Elevated postoperative NGAL concentrations have consistently been associated with longer operative time, greater stone complexity, higher irrigation pressure, and increased likelihood of

subsequent acute kidney injury. Owing to its rapid response and high diagnostic sensitivity, NGAL is considered one of the most promising biomarkers for perioperative renal monitoring in patients undergoing minimally invasive stone surgery [10].

Kidney injury molecule-1 (KIM-1) has demonstrated particular value as a marker of proximal tubular epithelial damage. Clinical investigations have shown that postoperative urinary KIM-1 concentrations increase shortly after renal injury and correlate with the degree of tubular damage induced by endourological manipulation. Unlike conventional biochemical markers, KIM-1 reflects structural renal injury rather than delayed functional deterioration, allowing earlier identification of patients at increased risk of postoperative complications. Several studies have also reported significant associations between elevated KIM-1 levels and prolonged hospitalization, delayed renal recovery, and persistent postoperative inflammatory activity [11].

Among alternative biomarkers, cystatin C has shown greater sensitivity than serum creatinine for detecting early reductions in glomerular filtration following endourological procedures. Simultaneously, interleukin-18 (IL-18) and liver-type fatty acid-binding protein (L-FABP) provide complementary information regarding inflammatory activation and ischemic tubular injury. Recent investigations suggest that these biomarkers increase during the immediate postoperative period even in patients without clinically apparent acute kidney injury, indicating the presence of transient subclinical renal damage. Their combined assessment offers a more comprehensive evaluation of the diverse biological mechanisms involved in postoperative kidney injury [12,13].

Recent studies increasingly support the superiority of multimarker strategies over reliance on individual biomarkers. Simultaneous assessment of NGAL, KIM-1, cystatin C, IL-18, and L-FABP improves both diagnostic accuracy and prognostic performance by reflecting different components of renal injury, including tubular damage, inflammatory activation, oxidative stress, and early decline in filtration capacity. Several predictive models incorporating multiple biomarkers have demonstrated greater sensitivity and specificity for identifying patients at risk of postoperative acute kidney injury than any single laboratory parameter alone. These findings support the concept that multimarker assessment may become an important component of perioperative risk stratification in endourological practice [14–16].

The prognostic significance of early kidney injury biomarkers extends beyond laboratory diagnosis. Elevated postoperative biomarker concentrations have been associated with prolonged operative time, increased intrarenal irrigation pressure, larger stone volume, bilateral procedures, pre-existing chronic kidney disease, diabetes mellitus, obesity, recurrent urinary tract infection, and postoperative sepsis. Patients exhibiting persistent biomarker elevation during the early postoperative period are more likely to experience delayed renal functional recovery, prolonged hospitalization, and subsequent deterioration of renal function during follow-up. These observations indicate that biomarker monitoring may assist in identifying patients requiring intensified postoperative surveillance and nephroprotective management [17–19].

Overall, current evidence demonstrates that early kidney injury biomarkers provide clinically relevant information that cannot be obtained from conventional renal function tests alone. Their ability to detect subclinical tubular injury before changes in serum creatinine become apparent offers a valuable opportunity for earlier therapeutic intervention and individualized postoperative care. Integration of biomarker assessment with perioperative clinical characteristics, imaging findings, and established renal function parameters may substantially improve prediction of postoperative acute kidney injury and contribute to more personalized management of patients undergoing endourological treatment for urolithiasis [20].

Discussion

The findings of the present review indicate that early kidney injury following endourological treatment of urolithiasis is more common than is reflected by conventional postoperative laboratory assessment. Although clinically overt acute kidney injury develops in a relatively small proportion of patients, biochemical evidence suggests that transient tubular damage frequently occurs immediately after surgical intervention. This discrepancy largely results from the limited sensitivity of serum creatinine and estimated glomerular filtration rate, both of which increase only after substantial functional impairment has already developed. Consequently, reliance on traditional renal function tests alone may delay recognition of postoperative renal injury and postpone implementation of nephroprotective strategies [8–10].

One of the principal observations emerging from recent studies is that early kidney injury biomarkers provide information regarding structural renal damage rather than delayed functional decline. NGAL, KIM-1, cystatin C, IL-18, and L-FABP reflect distinct biological pathways, including tubular epithelial injury, inflammatory activation, oxidative stress, and ischemia-reperfusion damage. Because these biomarkers increase within the first hours after endourological intervention, they enable earlier identification of patients with subclinical acute kidney injury before irreversible nephron dysfunction becomes clinically apparent. This characteristic substantially enhances their value in perioperative risk assessment and postoperative monitoring [10–13].

Current evidence also suggests that no single biomarker adequately reflects the complexity of postoperative renal injury. The mechanisms responsible for kidney damage following endourological procedures are multifactorial, involving elevated intrapelvic pressure, transient renal ischemia, mechanical trauma, bacterial translocation, inflammatory activation, and oxidative stress. Since individual biomarkers predominantly represent specific aspects of these processes, combined assessment of several markers provides a more comprehensive evaluation of renal injury than isolated laboratory measurements. Multimarker diagnostic models have therefore demonstrated superior predictive performance for postoperative acute kidney injury compared with conventional biochemical parameters or single biomarkers alone [14–16].

Another important finding concerns the relationship between biomarker elevation and perioperative risk factors. Numerous investigations have demonstrated that prolonged operative duration, increased irrigation pressure, large stone burden,

bilateral procedures, recurrent urinary tract infection, chronic kidney disease, diabetes mellitus, and postoperative infectious complications are consistently associated with greater postoperative biomarker expression. These observations indicate that biomarker interpretation should always be integrated with clinical and procedural characteristics rather than considered independently. Such an individualized approach may improve perioperative risk stratification and facilitate earlier implementation of preventive interventions in patients at greatest risk of renal injury [15–18].

From a clinical perspective, incorporation of early kidney injury biomarkers into perioperative management may substantially improve postoperative decision-making. Patients demonstrating persistent biomarker elevation despite stable serum creatinine concentrations may benefit from intensified hemodynamic monitoring, optimization of fluid therapy, avoidance of nephrotoxic medications, prompt treatment of infectious complications, and closer laboratory follow-up during the immediate postoperative period. Consequently, biomarker-guided management has the potential to reduce progression from subclinical tubular injury to clinically significant acute kidney injury while improving preservation of long-term renal function [17–19].

Despite encouraging results, several limitations continue to restrict widespread clinical implementation of these biomarkers. Available studies differ considerably with respect to patient selection, surgical techniques, timing of biomarker measurement, laboratory assays, and diagnostic thresholds, limiting direct comparison between investigations. Furthermore, universally accepted cutoff values for most biomarkers remain unavailable, and cost-effectiveness analyses are still limited. Future multicenter prospective studies should focus on standardizing biomarker assessment, validating multimarker prediction models, and determining whether biomarker-guided postoperative management translates into meaningful improvements in long-term renal outcomes. Such evidence will be essential for integrating early kidney injury biomarkers into routine perioperative care for patients undergoing endourological interventions for urolithiasis [19,20].

CONCLUSION

Early kidney injury following endourological treatment of urolithiasis is an important yet frequently underrecognized clinical condition that may not be adequately detected using conventional renal function tests alone. Current evidence demonstrates that biomarkers such as neutrophil gelatinase-associated lipocalin, kidney injury molecule-1, cystatin C, interleukin-18, and liver-type fatty acid-binding protein enable earlier identification of structural renal injury than serum creatinine or estimated glomerular filtration rate. Their prognostic value extends beyond early diagnosis, as elevated postoperative biomarker concentrations are consistently associated with increased perioperative risk, greater procedural complexity, delayed renal recovery, and a higher likelihood of postoperative acute kidney injury. These findings support the incorporation of early kidney injury biomarkers into perioperative risk assessment for patients undergoing endourological interventions.

Future management of patients with urolithiasis should increasingly incorporate personalized approaches based on the integration of clinical risk factors with sensitive laboratory biomarkers of renal injury. Multimarker diagnostic strategies have the

potential to improve postoperative surveillance, facilitate timely nephroprotective interventions, optimize patient stratification according to individual risk, and ultimately preserve long-term renal function. Further large-scale prospective multicenter studies are required to establish standardized biomarker thresholds, validate multimarker predictive models, and determine their impact on clinical decision-making and long-term outcomes following endourological treatment.

References

1. Skolarikos A, Somani BK, Thomas K, Gambaro G, Davis NF, Donaldson JF, et al. European Association of Urology Guidelines on the management of urolithiasis. *Eur Urol.* 2025;87(5):651-670.
2. Mykoniatis I, Sarafidis P, Memmos D, Anastasiadis A, Dimitriadis G, Hatzichristou D. Are endourological procedures for nephrolithiasis treatment associated with renal injury? A review of potential mechanisms and novel diagnostic indexes. *Clin Kidney J.* 2020;13(4):531-541.
3. Hinojosa-Gonzalez DE, Stern KL, Hein S, Ziembra JB. Biomarkers in urolithiasis. *Urol Clin North Am.* 2023;50(1):65-74.
4. Lasota A, Salagierski M, Drewa T, Tyloch JF, Wolski Z. Current status of protein biomarkers in urolithiasis: a systematic review. *J Clin Med.* 2023;12(22):7135.
5. Kellum JA, Romagnani P, Ashuntantang G, Ronco C, Zarbock A, Anders HJ. Acute kidney injury. *Nat Rev Dis Primers.* 2021;7(1):52.
6. Ostermann M, Zarbock A, Goldstein S, Kashani K, Macedo E, Murugan R, et al. Recommendations on acute kidney injury biomarkers from the Acute Disease Quality Initiative Consensus Conference. *JAMA Netw Open.* 2020;3(10):e2019209.
7. Canney M, Clark EG, Hiremath S. Biomarkers in acute kidney injury: on the cusp of a new era? *J Clin Invest.* 2023;133(13):e171431.
8. Yoon SY, Kim JS, Jeong KH, Kim SK. Acute kidney injury: biomarker-guided diagnosis and management. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(3):340.
9. Tan D, Zhao L, Peng W, Wu FH, Zhang GB, Yang B, et al. Value of urine IL-8, NGAL and KIM-1 for the early diagnosis of acute kidney injury in patients with ureteroscopic lithotripsy-related urosepsis. *Chin J Traumatol.* 2022;25(1):27-31.
10. Memmos D, Sarafidis P, Alexandrou ME, Papagianni A, Ntriniias T, Tziomalos K, et al. The effect of standard percutaneous nephrolithotomy, miniaturized percutaneous nephrolithotomy and retrograde intrarenal surgery on biomarkers of renal injury: a randomized clinical trial. *Clin Kidney J.* 2023;16(11):2216-2225.
11. Ecer G, Kumsar S, Ozcan F, Ozturk A, Yilmaz M, Aydin M. Comparison of retrograde intrarenal stone surgery with mini-percutaneous nephrolithotomy using novel biomarkers of renal injury. *Int Braz J Urol.* 2022;48(4):705-714.
12. Küçük E, Aydın M, Bitkin A, Yıldız H, Ordulu R, Görgün S, et al. Assessing the effects of using a ureteral access sheath on kidney injury in retrograde intrarenal surgery with KIM-1 and NGAL biomarkers in urine: a prospective cohort study. *J Urol Surg.* 2024;11(2):80-86.

13. Ertaş K, Türk H, Çakır A, Küçük U, Sönmez MG, Şahin S, et al. Effects of flexible ureteroscopy on kidney: evaluation with urinary biomarkers and serum cystatin C. *Turk J Urol.* 2020;46(4):297-302.
14. Benli E, Ayyildiz SN, Cirrik S, Noyan T, Ayyildiz A, Cirakoglu A. Early term effect of ureterorenoscopy on the kidney: research measuring NGAL, KIM-1, FABP and cystatin C levels in urine. *Int Braz J Urol.* 2017;43(5):887-895.
15. Dede O, Dağgüli M, Utangaç M, Yüksel H, Bodakci MN, Hatipoğlu NK, et al. Urinary expression of acute kidney injury biomarkers in patients after retrograde intrarenal surgery: a prospective, controlled study. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(5):8147-8152.
16. Daggülli M, Utangaç MM, Dede O, Bodakçi MN, Hatipoğlu NK, Penbegül N, et al. Potential biomarkers for the early detection of acute kidney injury after percutaneous nephrolithotripsy. *Ren Fail.* 2016;38(1):151-156.
17. Fahmy N, Sener A, Sabbisetti V, Nott L, Lang RM, Welk BK, et al. Urinary expression of novel tissue markers of kidney injury after ureteroscopy, shockwave lithotripsy, and in normal healthy controls. *J Endourol.* 2013;27(12):1455-1462.
18. Ronco C, Bellomo R, Kellum JA. Acute kidney injury. *Lancet.* 2024;403(10460):1949-1964.
19. Schmid M, Dalela D, Tahbaz R, Langetepe J, Randazzo M, Dahlem R, et al. Novel biomarkers of acute kidney injury: evaluation and evidence in urologic surgery. *World J Nephrol.* 2015;4(2):160-168.
20. Ostermann M, Kashani K, Forni LG, Zarbock A. Precision medicine and biomarker-guided management of acute kidney injury: future directions. *Nat Rev Nephrol.* 2025;21(2):87-102.

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ РІВНИННИХ ПРОМИСЛОВИХ МАЙДАНЧИКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Пилипенко Олександр Володимирович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
охорони праці, цивільної та техногенної безпеки,
УДУНТ ННІ «ПДАБА», Дніпро, Україна

Вступ. Реконструкції та стабілізації такого великого за площею об'єкту як рівнинні хвостосховища колишнього уранового виробництва виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ») в умовах воєнного стану є задачею, з досить високим ступенем ризику, як для самого радіаційного об'єкту, так і для його персоналу. При проведенні будівельно-монтажних, відновлювальних, стабілізаційних чи рекультиваційних робіт на радіаційних об'єктах необхідно застосовувати комплекс різних будівельних робіт та фахівців, а для мінімізації їх опромінення проводити систематичні моніторингові дослідження. Експлуатація хвостосховищ, накопичувачів, відстійників та інших спеціальних споруд дозволяє в штатному (робочому) режимі провести збір даних регламентованих радіаційних параметрів (РРП) на радіаційно-небезпечному об'єкті (РНО), використовуючи пішу або автомобільну гама-зйомку безпосередньо на периметрі хвостосховища.

Для проведення безпечних досліджень для персоналу таких об'єктів є лише два варіанти: 1 варіант, це застосування автономних дистанційно-керованих повітряних та наземних апаратів; 2 варіант, це застосування емпіричних, статистичних, математичних або аналітичних моделей для розрахунку доз опромінення персоналу РНО. Представлена прогностична модель допомагає заповнити прогалину при відсутності певних вимірів в часі та дозволяє визначити потужність еквівалентної дози, за рахунок моделювання процесу збору даних при їх неможливості вимірювання.

В статті представлено одну з розроблених автором універсальної математичної експрес моделі для визначення впливу гама-випромінювання на персонал рівнинних хвостосховищ через розрахунок потужності еквівалентної дози в точках перебування людей в залежності від часу. Представлена математична модель дозволяє визначити таку кількість значень потужності еквівалентної дози для певної ситуації. Використання даної моделі є основою для побудови 2D моделі, а при необхідності і 3D моделі радіаційного забруднення території РНО.

1. Актуальність дослідження. Проблема забезпечення довгострокової екологічної безпеки хвостосховищ гірничодобувної та переробної промисловості є нагальною для багатьох регіонів світу, включаючи Україну. Існуючі рівнинні

хвостосховища ВО «ПХЗ», особливо ті, що експлуатувалися протягом десятиліть без належних заходів із захисту навколишнього середовища, потребують невідкладних заходів з реконструкції та стабілізації їх поверхневого шару. Недотримання будівельних та експлуатаційних вимог, відсутність ефективних систем дренажу та інфільтраційні процеси призводять до зниження механічної стійкості поверхні хвостосховища, а також до міграції забруднюючих речовин у ґрунтові води та суміжні екосистеми. Однією із задач представленого дослідження є наукове обґрунтування застосування комплексу інженерно-будівельних та технічних рішень, спрямованих на забезпечення довгострокової екологічної безпеки РНО, шляхом їх реконструкції.

Проектування та реконструкція рівнинних хвостосховищ регулюються відповідними державними будівельними нормами України, а ключовими підходами до реконструкції рівнинних РНО є: визначення реперних точок об'єкту, гідротехнічна рекультивация, геотехнічна стабілізацію, монтаж дренажних систем та будівництво ізолюючих екранів.

Критично важливим, перед початком будівельно-монтажних робіт, є впровадження автоматизованих систем геоecологічного моніторингу в режимі реального часу. Ці системи дозволяють розробити проект організації будівельного виробництва з визначенням реальних ключових параметрів, таких як: рівні ґрунтових вод, деформації огорожувальних споруд, якість фільтраційних вод та, у випадку радіоактивних об'єктів, рівні зовнішнього іонізуючого випромінювання будівельників та персоналу РНО.

Гідротехнічна рекультивация передбачає оптимізацію водного балансу об'єкта. Застосування інженерних рішень, таких як будівництво ефективних периферійних водовідвідних каналів та систем управління поверхневим стоком, мінімізує інфільтрацію атмосферних опадів у тіло хвостосховища. Це вкрай важливо для запобігання перенасиченню «тіла хвостосховища» водою, що є основною передумовою втрати механічної стійкості насипу.

Геотехнічна стабілізація спрямована на забезпечення фізичної стійкості огорожувальних конструкцій та укосів. Основні заходи спрямовані на посилення основи насипу, шляхом ущільнення ґрунтів, нарощування тіла з додаванням додаткових шарів ґрунтів з інертними матеріалами, використання геотекстилю і георешіток для армування та підвищення фільтраційних характеристик побудованих захисних бар'єрів.

При проведенні будівельних робіт з улаштування протифільтраційних екранів використовується технологія пошарового насипання і подальшого ущільнення глинистих ґрунтів спеціалізованою будівельною технікою (екскаватори, грейфери та котки). В останні роки активно застосовується технологія монтажу геосинтетичних лайнерів (HDPE мембран), які мають надзвичайно низький коефіцієнт фільтрації.

Будівництво та монтаж дренажних систем і спеціальних лотків виконується з використанням сучасних перфорованих труб із ПВХ або поліетилену, обгорнутих геотекстилем для запобігання замулюванню. Ці системи збирають фільтраційні води та направляють їх назовні, подалі від периметра хвостосховища.

Для фіналізації проекту та прогнозування поведінки хвостосховища після завершення реконструкції та закриття використовуються спеціалізовані програмні комплекси (пакет програм) для гідродинамічного моделювання фільтраційних процесів (SEEP/W, SEEP/W + 3D, SLOPE/W, SLOPE/W + 3D для визначення стійкості схилів, насипів та дамб, MODFLOW-2005, MODFLOW-NWT, MODFLOW-USG для комплексного аналізу моделювання потоків підземних вод, використовуючи метод кінцевих елементів (FEM), метод скінчених різниць (FDM) чи специфічні методи (FDTD та FTCS). Результати моделювання дозволяють оптимізувати параметри дренажних систем та конструкції ізолюючих екранів.

Після завершення реконструкції РНО та проведення будівельних робіт, настає черга щоденної експлуатації відновленого об'єкту. Експлуатація хвостосховищ, накопичувачів, відстійників та інших спеціальних споруд дозволяє в штатному (робочому) режимі провести збір даних регламентованих радіаційних параметрів (РРП) на радіаційно-небезпечному об'єкті (РНО), використовуючи пішу або автомобільну гама-зйомку безпосередньо на периметрі хвостосховища. Але в умовах воєнного стану, особливо при оголошенні повітряної тривоги персонал РНО має певні ризики для життя і обмежувальні обставини перебування безпосередньо на промисловому майданчику чи хвостосховищі.

Розробка та використання математичної моделі для прогнозування ситуації на радіаційно-забруднених територіях промислового майданчику, відстійника чи хвостосховища є доцільним інструментом, з огляду на аналіз застосованих методів [1], для отримання значень регламентованих радіаційних параметрів (РРП) при проведенні моніторингових досліджень.

Результати досліджень експериментів, різних вимірювань, статистичні дослідження, дослідження процесів і явищ потребують їх аналізу, математичної обробки, отримання аналітичних результатів з використанням різних математичних методів, які включають апроксимацію (наближення) їх зручними функціями (поліномами, тригонометричними функціями, алгебраїчними, спеціальними, зокрема, поліномами Лежандра, тощо), розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, використання методів найменших квадратів у звичайному вигляді чи в інтегральному. При цьому потрібно застосовувати числові реалізації математичних методів з використанням персональних комп'ютерів і певних мов алгоритмічного програмування. У випадках визначення деяких середньостатистичних параметрів залучаються методи теорії ймовірностей. Якщо кількість вимірів велика, то для аналітичного опису відповідних залежностей, які пов'язують незалежні параметри і залежні від них результати, використовують, як правило, звичайні методи апроксимації.

Метод апроксимації результатів вимірювання поліномами полягає в тому, що ламану, яка проходить через експериментальні точки, замінюють неперервною плавною кривою. Вказана крива описується повним поліномом (містить усі потрібні степені незалежного параметра) ступеня на одиницю менше, ніж кількість точок вимірювання (незалежний параметр – результат). Невідомі

коефіцієнти цього полінома визначаються із системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Ліві частини цих рівнянь визначають аналітичні значення ординат, а праві – значення вимірів. Вони повинні бути однаковими. Розв'язання системи рівнянь проводиться будь-яким класичним методом [2–9], а практично – з використанням персональних комп'ютерів і відповідних підпрограм. Такий метод є найбільш точним для зображення аналітичних залежностей результатів вимірів від незалежного параметра.

Може бути використаний метод найменших квадратів. Цим методом можна виразити аналітичною залежністю результатів вимірювання від незалежного параметра простіше – у вигляді повного або неповного полінома нижчого ступеня, ніж за першим методом. Але сам процес визначення коефіцієнтів складніший і містить аналітичну процедуру (умови мінімуму квадратичного відхилення) та чисельну процедуру (чисельне розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь).

Можуть також використовуватися інші апроксимації результатів вимірювань від незалежного параметра з використанням методу найменших квадратів: апроксимація лінійна, квадратична, степенева, показова, логарифмічна, дробово-лінійна, гіперболічна, дробово-раціональна. Послідовний опис різних апроксимацій функцій і результатів вимірювань можна знайти в [2–6]. У [7–8] наведені рішення неklasичних проблем апроксимації функцій, у тому числі при наявності обмежень [7]. У [8] розглянуті також алгоритми апроксимації функцій комплексної змінної.

При розрахунку зовнішньої дози опромінення в радіаційні безпеці спираються на новітні наукові дослідження, апробовані практичні експерименти та рекомендації МРКЗ [12-16], тенденції, з використанням сучасної методології розрахунку радіаційної шкоди [17].

Міжнародна комісія з радіаційного захисту запропонувала оновлені біокінетичні моделі для нових радіонуклідів [9] що враховують, як РН потрапляють в організм людини, можливі шляхи переміщення по внутрішнім органам, де РН накопичуються та яким чином виводяться з організму. Ці моделі дозволяють проводити більш точний розрахунок доз від внутрішнього опромінення, що є критично важливим для професійного радіаційного захисту. Процедура розрахунку радіаційної шкоди визначає тривалість втраченого життя в нелетальних умовах життєдіяльності людини та розрахунок номінального ризику появи раку протягом життя, від природніх чи штучних ДІВ [10].

Зазвичай дози опромінення органів розраховують в медичних установах при дослідженнях або профілактиці захворювань/травм з розрахунком дози опромінення для пацієнтів, в залежності від певної процедури [11], для цього застосовують метод Монте-Карло. Моделювання методом Монте-Карло застосовують в медичних і радіобіологічних дослідженнях, в агропромисловому комплексі, для збільшення врожаю та модифікації посівних культур, фруктів та овочів, а також в інших галузях і сферах діяльності людини.

Метою дослідження є розробка математичної моделі для експрес-оцінювання апроксимації значень дози опромінення персоналу аналітичною функцією в будь-

якій точці периметру хвостосховища, в залежності від часу, використовуючи лінійні алгебраїчні рівняння, з подальшим теоретичним обґрунтуванням даних, які планували отримати у 2021÷2026 рр., спираючись на отримані значення за період 2009÷2019 рр. Найбільш доцільним інструментом для прогнозування ситуації на радіаційно-забруднених територіях промислового майданчику чи окремого хвостосховища, є розробка математичної експрес моделі визначення базового показника зовнішнього опромінення персоналу в умовах невизначеності ситуації воєнного стану або для моделювання прогностичних ситуацій в майбутньому [12]. Матеріал досліджень відповідає державним нормам України [13-14], енергетичної стратегії України на період до 2050 року [15].

2. Методи дослідження. Об'єктом дослідження є хвостосховища колишнього уранового виробництва, що розташовані на рівнинному промисловому майданчику «База-С», на якому розташовані відходи уранової сировини та ряд ПРН. У цьому дослідженні використовуються аналітичні та математичні методи, які закладені в основу фундаментальних принципів індивідуального та колективного радіаційного опромінення персоналу та функції спаду радіоактивності в часі, залежно від обраного радіонукліду (РН), типу хвостосховища та агрегатного стану РАВ [16].

Дослідження було направлене на визначення прогнозних значень ПЕД гамма-випромінювання, необхідної кількості досліджуваних точок вимірювання при проведенні моніторингу та розробки розрахункової математичної моделі що враховує кількість вимірювань в певних точках, в залежності від часу. Для проведення досліджень необхідно було послідовно вирішити два завдання:

– розробити математичну модель ММРС $f(x, y, t)$ для визначення ПЕД експрес-методом з подальшим порівнянням фактично отриманих даних та прорахованих регламентованих радіаційних параметрів (РПП) для забезпечення радіаційної безпеки на РНО з адаптацією математичної моделі на інші РНО та промислові майданчики з ДІВ;

– провести аналітичні дослідження отриманих даних методом апроксимації та екстраполяції (інтерполяції), визначити можливі значення на найближчі п'ять років, що реалізуються в розробленій математичній моделі.

3. Розробка моделі. Перша задача, була реалізована за рахунок розробки та адаптації математичної моделі ММРС $f(x, y, t)$ для визначення координат місця знаходження кожної точки вимірювання, визначення оптимальної кількості точок, в залежності від часу збору даних та сумарної дози опромінення кожного співробітника з персонал РНО. Для впровадження математичної моделі необхідно визначити базові вихідні дані, умови функціонування об'єкту та визначити математичну постановку задачі.

3.1. Побудова моделі. Для побудови математичної моделі ММРС $f(x, y, t)$ визначення значення ПЕД гамма випромінювання в певній точці на периметрі промислового майданчику чи окремому хвостосховищі треба враховувати наступні дані: наявність ПРН, його активність, період напіврозпаду, категорію стійкості атмосфери, температуру, наявність опадів, тиск, вологість і тип хвостосховища. Для моделювання процесу було прийнято найгірший варіант

щодо погодних умов для рівнинних хвостосховищ та промислових майданчиків, з перепадом висот до 1,5-2 метрів.

Для побудови математичної моделі приймаємо умову, що промисловий майданчик має плоску форму з перепадом висот до 1,5-2 метрів. При проведенні вимірів регламентованих радіаційних параметрів (РРП) використовують дозиметри, дозиметри-радіометри та радонетри. Основним параметром, що дає вклад від 75 до 95 відсотків в сумарну дозу опромінення персоналу на радіаційно-небезпечному об'єкті (РНО) є потужність еквівалентної дози (ПЕД). Зовнішню складову дозу опромінення визначають від 2 (1 раз на пів року) до 12 раз на рік (1 раз на місяць), в залежності від потреби та погодних умов. Стандартний підхід включає виїзд безпосередньо на промисловий майданчик з підвищеним ризиком додаткового опромінення. Отже для визначення РРП важливо мати методи експрес розрахунків ПЕД гамма випромінювання для побудови карт дозових навантажень для окремо розташованого хвостосховища чи промислового майданчику. Найбільш безпечним та швидким інструментарієм для побудови 2D моделі та 3D моделі є експрес-моделі або математичні моделі, які прораховують необхідну кількість точок вимірювання.

3.2. Просторово-часова модель. Нехай точка периметра описується нормалізованими просторовими координатами: ПЕД = (x_i, y_i) , де x_i та y_i – масштабовані координати. Нехай τ – нормалізований час. Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання апроксимується просторово-часовим поліномом: $EД = (x_i, y_i, T) =$ добутку значень від альфа, бета та гамма випромінюючих ПРН. Для редукованої просторової структури коефіцієнтні функції представлені п'яти параметричним редукованим квадратичним базисом:

$$b_r(x_i, \eta) = \beta_{r0} + \beta_{r1} x_i + \beta_{r2} \eta + \beta_{r3} x_i^2 + \beta_{r4} \eta^2.$$

Перехресний член x_i та y_i – не враховується в п'яти точковому редукованому базисі, якщо використовується повний двовимірний квадратичний поліном:

$$b_r(x_i, \eta) = \beta_{r0} + \beta_{r1} x_i + \beta_{r2} \eta + \beta_{r3} x_i^2 + \beta_{r4} x_i \eta + \beta_{r5} \eta^2,$$

тоді потрібно щонайменше шість-вісім незалежних просторових точок. Ця відмінність є суттєвою, оскільки повна квадратична поверхня має шість коефіцієнтів і не може бути визначена однозначно лише з п'яти просторових точок.

3.3 Часове скорочення. Скорочена часова структура використовує чотири сезонні вузли. Ці вузли вибрані для представлення консервативних сезонних умов EDR. Якщо в заданому просторовому вузлі доступні чотири часові спостереження, часові коефіцієнти можна отримати з лінійної системи:

$$\begin{bmatrix} 1 & \tau_1 & \tau_1^2 & \tau_1^3 \\ 1 & \tau_2 & \tau_2^2 & \tau_2^3 \\ 1 & \tau_3 & \tau_3^2 & \tau_3^3 \\ 1 & \tau_4 & \tau_4^2 & \tau_4^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}$$

Скорочена структура годин використовує чотири сезонні вузли. Ці вузли

вибрані для представлення консервативних сезонних умов вимірювання значень ПЕД. Якщо в заданому просторовому вузлі доступні чотири години спостереження, часові коефіцієнти можна отримати з лінійної системи.

3.4. Вихідні параметри. Для певної двовимірної чи тривимірної області такої як периметр РНО чи вся площа промислового майданчику необхідно визначити розрахункову кількість точок від певного джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) Сумарно точки контуру із-за цього отримують певні ПЕД, які вимірюються натурним чином декілька разів з певним інтервалом часу (1 вимірювання в 1 секунду ÷ 3 хвилини). Виміри проводяться 1 раз у місяць (12 разів за рік). Потрібно математично описати рівень ПЕД в будь-якій точці на контурі хвостосховища у будь-який час року, тобто, потрібно побудувати функцію $f(x, y, t)$, яка залежить від часу t і від площинних координат (x, y) та давала б можливість визначити ПЕД у будь-якій точці контуру (не тільки в точках виміру) з найбільшою точністю (найменшою похибкою).

Тоді змінна t у функціях $P = f(x, y, t)$ змінюватиметься від 1 до 365 (або 366), тобто ці функції від t будуть уже дискретними, але їх можна розглядати і як неперервні, враховуючи рік, день року, години, хвилини і секунди, коли проводилось вимірювання ПЕД. Наприклад, якщо $t=3$, то це відповідатиме такому часу: 4 червня, 9.00 ранку.

Вигляд апроксимуючого полінома для ПЕД $P_j = f(x_j, y_j, t)$ в цьому випадку при кількості усереднених вимірювань $m =$ (від 1 до 12), згідно з [28] буде мати вид:

$$P_j(x_j, y_j, t) \approx f_j(x_j, y_j, t) = a_{j,0}(x_j, y_j) + a_{j,1}(x_j, y_j)t + a_{j,2}(x_j, y_j)t^2 + \dots \\ \dots + a_{j,11}(x_j, y_j)t^{11} = \sum_{i=1}^{12} a_{j,i-1}(x_j, y_j)t^{i-1}. \quad (1)$$

У цьому випадку (12 вимірів у кожній точці вимірювання) для знаходження коефіцієнтів $a_{j,0}, a_{j,1}, \dots, a_{j,11}$ матимемо 12 ЛАР з 12-ма невідомими $a_{j,0}, a_{j,1}, \dots, a_{j,11}$.

Відомі матриці T_j, P_j і шукана матриця коефіцієнтів A_j системи лінійного алгебраїчного рівняння (ЛАР) у цьому випадку для кожної точки $M_j(x_j, y_j)$ матимуть такий вигляд (2):

$$T_j = \begin{bmatrix} 1 & t_{j,1} & t_{j,1}^2 & \dots & t_{j,1}^{m-1} \\ 1 & t_{j,2} & t_{j,2}^2 & \dots & t_{j,2}^{m-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & t_{j,m} & t_{j,m}^2 & \dots & t_{j,m}^{m-1} \end{bmatrix}, \quad A_j = \begin{bmatrix} a_{j,0} \\ a_{j,1} \\ \vdots \\ a_{j,m-1} \end{bmatrix}, \quad P_j = \begin{bmatrix} P_j(x_j, y_j, t_{j,1}) \\ P_j(x_j, y_j, t_{j,2}) \\ \vdots \\ P_j(x_j, y_j, t_{j,m}) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Таких систем ЛАР потрібно розв'язати стільки, скільки точок вимірювання $M(x_j, y_j)$, тобто n . І якщо брати $30 \div 250$ точок, у яких проводились натурні вимірювання, то потрібно буде розв'язати $30 \div 250$ систем ЛАР, кожна з яких містить 12 рівнянь відносно 12 невідомих. З практичної точки зору таке розв'язання задачі не буде економічним, а отримувана точність не відповідатиме затратам.

Тому пропонується наступна методологія вирішення цієї проблеми.

3.5. Визначення функцій $f_j(x_j, y_j, t)$, тобто приймаємо $j = (1, 2, 3, \dots, n)$ випадків. Методологія базується на принципі врахування найнесприятливіших умов, тим більше, що проблема пов'язана зі збереженням здоров'я людей, які працюють рядом зі РНО. Кількість рівнянь у системах ЛАР для кожної точки в цьому випадку суттєво зменшиться: від 12-ти до 4-х.

Тоді відомі матриці T_j, P_j та шукана матриця коефіцієнтів A_j системи ЛАР у згідно [28] з формулою (4) для довільної точки $M_j(x_j, y_j)$, матимуть такий вигляд (3):

$$\begin{cases} a_0(x = x_1; y = y_1) = a_{1,0}(x_1; y_1); \\ a_0(x = x_2; y = y_2) = a_{2,0}(x_2; y_2); \\ \dots\dots\dots; \\ a_0(x = x_n; y = y_n) = a_{n,0}(x_n; y_n); \end{cases} \quad (3)$$

Що стосується кількості врахованих місць (точок), у яких проводилися заміри, це питання буде обговорено нижче.

Надалі поставимо наступну мету: отримати аналітичну функцію $f_j(x_j, y_j, t)$ ПЕД таку, за якою можна було б визначати аналітично ПЕД у будь-якому місці (будь-якій точці) контуру РНО у будь-який момент часу. Це дало б можливість, не проводячи натурні вимірювання, знаходити наближено реальний рівень ПЕД на контурі РНО у довільному місці в довільний час.

3.6. Апроксимація значень функції в довільній точці периметру в залежності від часу. Математично задача полягатиме в тому, щоб апроксимувати в (3) [28] кожний коефіцієнт $a_{j,0}, a_{j,1}, \dots, a_{j,m-1}$, який залежить від координат точок вимірювань, відповідною функцією від двох змінних x, y .

Тобто, ми маємо множину відомих коефіцієнтів $a_{j,0}, a_{j,1}, \dots, a_{j,m}$ для кожної точки $M_j(x_j, y_j)$, у якій проводилися вимірювання за формулою 3:

З пошуком значень коефіцієнтів, за формулою 4:

$$\begin{aligned} & a_{1,0}(x_1, y_1), a_{2,0}(x_2, y_2), a_{3,0}(x_3, y_3), \dots, a_{n,0}(x_n, y_n); \text{ (відомі коефіцієнти при } t^0 \text{);} \\ & a_{1,1}(x_1, y_1), a_{2,1}(x_2, y_2), a_{3,1}(x_3, y_3), \dots, a_{n,1}(x_n, y_n); \text{ (відомі коефіцієнти при } t^1 \text{);} \\ & a_{1,2}(x_1, y_1), a_{2,2}(x_2, y_2), a_{3,2}(x_3, y_3), \dots, a_{n,2}(x_n, y_n); \text{ (відомі коефіцієнти при } t^2 \text{);} \\ & a_{1,i}(x_1, y_1), a_{2,i}(x_2, y_2), a_{3,i}(x_3, y_3), \dots, a_{n,i}(x_n, y_n); \text{ (відомі коефіцієнти при } t^i \text{);} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (4)$$

$$a_{1,m-1}(x_1, y_1), a_{2,m-1}(x_2, y_2), a_{3,m-1}(x_3, y_3), \dots, a_{n,m-1}(x_n, y_n); \quad (\text{при } t^{m-1}).$$

Розглянемо загальний випадок. Кількість точок $M_j(x_j, y_j)$ на контурі РНО дорівнює n ($j = 1, 2, \dots, n$).

Будемо апроксимувати коефіцієнти a з індексом k при однакових степенях k змінної t функціями від x, y – поліномами від двох змінних x і y . Тобто, задача полягатиме в тому, щоб коефіцієнти кожного рядка (4) були значеннями апроксимуючого полінома від двох змінних для кожної j -ї точки. Ці поліноми матимуть наступний вигляд (5):

$$\begin{aligned} a_k = & (b_{k,1,0} x + b_{k,0,1} y) + (b_{k,2,0} x^2 + b_{k,1,1} x y + b_{k,0,2} y^2) + \\ & + (b_{k,3,0} x^3 + b_{k,2,1} x^2 y + b_{k,1,2} x y^2 + b_{k,0,3} y^3) + \\ & + (b_{k,4,0} x^4 + b_{k,3,1} x^3 y + b_{k,2,2} x^2 y^2 + b_{k,1,3} x y^3 + b_{k,0,4} y^4) + \\ & + \dots + \\ & + (b_{k,l,0} x^l + b_{k,(l-1),1} x^{l-1} y + b_{k,(l-2),2} x^{l-2} y^2 + \dots + b_{k,0,l} y^l) + \\ & + \dots + \\ & + (b_{k,s,0} x^s + b_{k,(s-1),1} x^{s-1} y + b_{k,(s-2),2} x^{s-2} y^2 + \dots + b_{k,0,s} y^s), \end{aligned} \quad (5)$$

де $k = 0, 1, \dots, m-1$, в дужках виділені однорідні повні поліноми 1-го, 2-го, 3-го, ..., l -го, ..., s -го ступенів, коефіцієнти b з індексами невідомі і підлягають визначенню; другий індекс у цих коефіцієнтах вказує на показник ступеня у множнику x , а третій – у множнику y .

Значення цього полінома в точках вимірювання повинні співпадати зі значеннями ПЕД $P_j(x_j, y_j, t)$ в цих точках в даний час. З цієї умови і знаходяться коефіцієнти b з індексами в (5). Тобто для їх визначення матимемо наступну систему ЛАР:

Після чого часові коефіцієнти $a(j, k)$ були визначені у вибраних точках (x_j, y_j) , кожен коефіцієнт розглядається як просторова функція (6):

$$a_k(x_j, y_j) = a_{j,k}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots, m-1. \quad (6)$$

Просторова залежність кожного коефіцієнта апроксимується за допомогою повного полінома від двох змінних без постійної змінної параметра (7):

$$a_k(x, y) = \sum_{\ell=1}^s \sum_{p+q=\ell} b_{k,p,q} x^p y^q. \quad (7)$$

Системи ЛАР для визначення всіх коефіцієнтів b з індексом k ($k = 0, 1, \dots, m-1$) будуть такими (8):

функції координат точки при фіксованому степені змінної t потрібно буде розв'язати систему 135 ЛАР. А враховуючи реальну кількість вимірювань у кожній точці контуру РНО, то таких систем потрібно розв'язати 12, що в загальному (реальному випадку) є досить проблематично в часі (набір значень відомих матриць).

Таким чином, очевидно, використовувати всі значення вимірювань у всіх точках і в кожний час є недоцільним для математичного аналітичного опису ПЕД в кожній точці контуру РНО.

І тому пропонується наступна методологія математичного опису натурних вимірювань ПЕД в залежності від місця розташування точки і часу.

Таким чином, апроксимація ПЕД в часі буде зображена у вигляді повного полінома третього ступеня відносно змінної часу t і повними поліномами другого ступеня відносно двох координатних змінних (з 5-ма коефіцієнтами).

В остаточному вигляді отримаємо (12):

$$\begin{aligned}
 P_j(x_j, y_j, t_{ji}) \approx f(x, y, t) = & \\
 = & (b_{0,1,0} x + b_{0,0,1} y) + (b_{0,2,0} x^2 + b_{0,1,1} x y + b_{0,0,2} y^2) + \\
 & + (b_{1,1,0} x + b_{1,0,1} y) + (b_{1,2,0} x^2 + b_{1,1,1} x y + b_{1,0,2} y^2) \cdot t + \\
 & + (b_{2,1,0} x + b_{2,0,1} y) + (b_{2,2,0} x^2 + b_{2,1,1} x y + b_{2,0,2} y^2) \cdot t^2 + \\
 & + (b_{3,1,0} x + b_{3,0,1} y) + (b_{3,2,0} x^2 + b_{3,1,1} x y + b_{3,0,2} y^2) \cdot t^3, \quad (12)
 \end{aligned}$$

де коефіцієнти b з індексами уже відомі – визначені вищенаведеною методикою.

3.7. Вимоги до перевірки результатів. Надійність моделі можна оцінити лише за допомогою незалежних виміряних даних, які не використовувалися для оцінки коефіцієнтів поліноміалу. Якщо результати вимірювань залежать від двох незалежних параметрів, то теж можна використати повні поліноми відповідних степенів, але уже від двох змінних. У випадках, якщо результати дослідження мають за мету збереження здоров'я і життя людей, надійного і довготривалого функціонування будівель і споруд, то, на наш погляд потрібно виходити з принципу найгіршої ситуації.

3.8. Валідація та аналіз невизначеності. Валідацію слід проводити з незалежними вимірюваннями ПЕД (ППД), які не використовувалися для визначення коефіцієнтів поліномів. Для кожної точки та дати валідації змодельоване значення слід порівнювати з відповідним вимірним значенням, а різницю слід підсумовувати за допомогою середньої абсолютної похибки, середньоквадратичної похибки, середньої абсолютної відсоткової похибки або середньої відносної похибки, максимальної абсолютної похибки, коефіцієнта детермінації та графіків залишків. Оскільки поточна редакція не містить незалежного набору даних для валідації, в даній статті не наведено жодної числової метрики валідації. Доки не буде додано таке порівняння виміряних та

змодельованих даних, скорочений ММРС $f(x, y, t)$ слід інтерпретувати, як консервативну модель скринінгу та планування, а не як валідовану заміну польовим вимірюванням.

4. Висновки. У попередніх роботах було проаналізовано стан радіаційного забруднення за період 2009–2019 рр., викладених в науково-практичних дослідженнях, які виконувались на хвостосховищах, для збору та накопичення практичної бази даних значень ППД та ПЕД яружних хвостосховищ з екраном шару РН та ДІВ у вигляді ставка з водою [12, 17], побудови двовимірних моделей РНО із застосуванням приладів радіаційного контролю [18].

У подальшому пропонується розробити математичну моделі ММРС $f(N)$, спираючись на розроблену математичну модель визначення дози опромінення персоналу від розташування персоналу в певних локаціях периметру ММРС $f(x, y)$.

У перспективі слід продовжити удосконалення методів дослідження на хвостосховищах колишнього уранового виробництва ВО «ПХЗ». Результати цих досліджень можуть бути використані для інших хвостосховищ плоского або яружного типу, на яких проводилась рекультивация земель або земляні роботи по вирівнюванню поверхні хвостосховища.

Один з найбільш прийнятний для інженерних розрахунків при моделюванні радіаційної ситуації на РНО, є метод апроксимації повними поліномами відповідних степенів. Аналітично він потребує тільки уважного складання матриць коефіцієнтів лівих і правих частин ЛАР, а чисельно – використання відповідної підпрограми.

Розроблено математичну модель, можна застосовувати для 2D та 3D моделювання і формування графічних матеріалів. В результаті проведених досліджень було виявлено окремі локації/об'єкти з підвищеним рівнем РРП ПЕД на промисловому майданчику «База-С».

Запропонована математична модель дозволяє визначити ПЕД гама випромінювання в будь-якій точці знаходження в системі координат поверхні об'єкту (РНО) дослідження. Однак розроблена математична модель потребує певних уточнень щодо достатньої кількості вимірів N_i , типу хвостосховищу та застосованих на ньому протирадіаційних технічних заходів, якщо такі мали місце, або планується їх проведення в майбутньому.

Список літератури

1. Лященко М. Я., Головань М. С. Чисельні методи. К.: Либідь, 1996.
2. Чабан В. Й. Чисельні методи. Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2001.
3. Клепко В.Ю., Голець В.Л. Метод найменших квадратів. 2-е видання. К.: Центр учбової літератури, 2009.
4. Кутнів М. В. Чисельні методи. Львів: Вид-во «Растр-7», 2010.
5. Задачин В. М., Конюшенко І. Г. Чисельні методи. Нав. пос. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014.
6. Мусіяка В. Г. Основи числових методів. Підручник. Дніпро: ЛІРА, 2017.

7. Yuji Nakatsukasa and Lloyd N. Trefethen. An Algorithm for Real and Complex Rational Minimax Approximation *SIAM Journal on Scientific Computing*, 2020, Vol. 42, No. 5 : pp. A3157-A3179. <https://doi.org/10.1137/19M1281897>.

8 Пилипенко О. В., Железняк Г.С., Саньков П. М., Рибалка К. А., Тимофєєв В. В. Застосування методів дослідження для визначення та моделювання радіаційних параметрів на промислових майданчиках і хвостосховищах. *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. Rotterdam, Netherlands. 2025. Pp. 87-99. URL: <https://isg-konf.com/development-of-higher-education-trends-and-prospects/>

9. ICRP, 2022. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5. ICRP Publication 151. *Ann. ICRP* 51 (1–2).

10. ICRP, 2022. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. *Ann. ICRP* 51(3).

11. A Review of Organ Dose Calculation Methods and Tools for Patients Undergoing Diagnostic Nuclear Medicine Procedures. Choonsik Lee / *J. Radiat. Prot. Res.* 2024; 49(1):1-18. DOI: <https://doi.org/10.14407/jrpr.2023.00087>

12. Volodymyr Korotaev, Anatolij Belikov, Oleksandr Pylypenko, Serhii Podkopaev, Oleksandr Tkachuk, Volodymyr Shalomov. (2024). Theoretical and practical substantiation for prediction of equivalent dose rate of gamma radiation at the Sukhachivske tailings storage facility I section. *Technology Audit and Production Reserves*, - №6/2(80), 2024. 68p. p.16-27. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.319636>.

13. Норми радіаційної безпеки України (НРБК-97) / State hygiene standards. Radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97).

14. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 № 255/95-ВР.

15. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року» Київ 2023. / Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 21, 2023. No. 373-r "On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050" Kyiv 2023.

16. Pylypenko, O., Zelensky, A., Rybalka, K., Kolokhov, V., Nazha, P. (2025). Express method for determining power of equivalent dose in radiation-contaminated territories of radioactive tailings storage facilities. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (3 (83)), 48–55. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.331755>.

17. Пилипенко О.В. Динаміка визначення фактичних та прогнозованих значень потужності еквівалентної дози на хвостосховищі «Сухачівське» II секція. *Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. Boston, USA. 2024. Pp. 115-125. URL: <https://isg-konf.com/innovative-scientific-research-theory-methodology-practice/>

18. Особливості організації радіаційного контролю на об'єктах ядерно-паливного комплексу України / Пилипенко, О. В., Саньков П.М., Дзюбан О.В., Папірник Р.Б. Ткач Н.О. // Scientific Collection «InterConf», (124): with the Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference «Scientific horizon in the context of social crises» (September 16-18, 2022). Tokyo, Japan: Otsuki Press, 2022. 207 p. с.196-206 URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1316>

LEGAL FRAMEWORK GOVERNING THE ACTIVITIES OF THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE UNDER MARTIAL LAW

Kerdyvar Valentyn

Ph.D., s.r. head of the educational and research laboratory of extreme and crisis psychology of the educational and research institute of operational and rescue units
National University of Civil Protection of Ukraine

On 24 February 2022, pursuant to Presidential Decree No. 64/2022, Ukraine introduced martial law, fundamentally altering the operating conditions of all state institutions. The State Emergency Service of Ukraine (SESU) found itself in an entirely new environment: in addition to its traditional mandate of responding to natural and man-made emergency situations (ES), it became confronted with the large-scale consequences of armed aggression. Ensuring a robust legal basis for these activities became critically important, as the effectiveness of rescue operations and the protection of the civilian population depends directly on the clarity of the regulatory framework.

The aim of this paper is to systematise the principal legal norms governing SESU activities under martial law and to characterise their practical significance for the execution of duties by service personnel.

The constitutional basis of martial law is laid down in Article 17 of the Constitution of Ukraine, which stipulates that the protection of sovereignty and territorial integrity, and the maintenance of economic and information security, are among the most important functions of the state and the responsibility of the entire Ukrainian people [5]. The specific legislative instrument is the Law of Ukraine 'On the Legal Regime of Martial Law' of 12 May 2015, No. 389-VIII [4], which defines the content of this regime, the procedure for its introduction and termination, and the legal framework for the activities of state authorities, military command and local self-government bodies.

Martial law is a special legal regime introduced in Ukraine or in certain localities in the event of armed aggression or the threat of attack, or danger to state independence or territorial integrity. It empowers the relevant authorities with the competencies necessary to repel the threat and ensure national security, while temporarily restricting constitutional rights and freedoms [4]. The introduction of martial law simultaneously triggers the transition of all departmental structures, including SESU, to the operational mode of the special period.

The concept of 'special period' covers the time from the moment of the mobilisation announcement or the introduction of martial law, and encompasses the period of mobilisation, wartime and, in part, the post-hostilities reconstruction period [3]. As of 2024, martial law in Ukraine is being extended in 90-day increments in accordance with the requirements of current legislation.

The Civil Protection Code of Ukraine (hereinafter 'the Code') is the principal legislative act regulating relations in the sphere of protecting the population, territories and property from emergency situations, and defines the powers of the USCPS and its

components [6]. During the special period the Code supplements the USCPS's core mission with specific wartime functions, including:

- alerting management bodies and the population of the threat or use of weapons of destruction;
- organising and conducting rescue and other urgent operations, and liquidating the consequences of ES caused by military (combat) operations;
- identifying hazardous areas and conducting humanitarian demining;
- bringing protective structures to readiness and ensuring round-the-clock access to them;
- transitioning civil protection management bodies and forces to wartime staffing levels;
- organising the evacuation of the population and material and cultural assets from areas of combat operations to safe areas [6].

Analysis of the Code indicates that during the special period SESU activities are reoriented primarily towards protecting the population from the consequences of rocket and artillery strikes, neutralising explosive ordnance (EO), organising evacuation measures, and maintaining fire safety at critical infrastructure facilities.

The procedure for placing SESU bodies and units on enhanced duty is governed by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine (MIA) No. 116 of 10 February 2022, 'On Approval of the Procedure for Organising Internal, Garrison and Guard Service in Bodies and Units of the State Emergency Service of Ukraine' [9]. Under this document, an order introducing enhanced duty mode specifies: the justification and duration; the list of units covered; the list of measures and timelines; the procedure for readiness monitoring; and restrictions on the use of official vehicles.

Inter-agency cooperation between SESU, the National Police and the National Guard of Ukraine is regulated by MIA Order No. 859 of 22 August 2016 [10]. Cooperation is carried out at three levels — national, regional and local — and encompasses: joint notification of ES threats and occurrences; the organisation of joint operational briefings; and the coordination of response to ES and dangerous incidents, including those caused by enemy shelling.

The 'Charter of Actions in Emergency Situations for Management Bodies and Units of the Operational Rescue Service of Civil Protection', approved by MIA Order No. 340 of 26 April 2018 [11], establishes a clear operational algorithm for personnel under conditions of potential rocket and artillery attack. The Charter requires: mandatory threat assessment before any departure; identification of safe and alternative routes; mandatory use of ballistic protection (body armour and helmets); maintenance of continuous communication with the Operational Coordination Centre (OCC); and pre-designation of cover positions for personnel and equipment at the scene.

SESU Order No. 375 of 2 April 2024 approved the 'Recommendations on the Specifics of Mission Execution by SESU Management Bodies and Units in Settlements and on Territories During Armed Aggression' [12] — the first comprehensive SESU document to reflect the realities of full-scale warfare. The Recommendations govern:

- the organisation of rotational duty shifts (2 days on/6 days off) for units deployed in frontline areas;

- specific requirements for equipping fire and rescue vehicles (heavy tankers, ambulances, high-mobility light vehicles for reconnaissance);
- communications organisation via Starlink satellite terminals and redundant communication channels;
- the dispatch protocol for responding to incidents under shelling threat: advance reconnaissance team - situation assessment - deployment of main forces;
- marking of vehicles with internationally recognised civil protection distinctive emblems.

A separate regulatory act — SESU Order No. 349 of 29 March 2024 — establishes the standard-issue norms for individual ballistic protection equipment (body armour of protection class 6/Level IV and helmets of class 1A/Level IIIA) for personnel engaged in operations in areas subject to fire [13].

Order of the Ministry of Health No. 441 of 9 March 2022 approved an updated procedure for pre-hospital emergency care for casualties in combat conditions [14]. The document introduces the concept of 'threat zones' — direct, indirect and evacuation — and establishes a sequential action algorithm for first responders depending on the hazard level: from self-aid and haemorrhage control in the direct threat zone to full casualty assessment and treatment in the indirect threat zone. This substantially enhances protection for both SESU personnel and the people they rescue.

SESU activities under martial law are governed by an extensive regulatory framework that encompasses constitutional provisions, special legislation, codified acts and departmental secondary legislation. The analysis identifies four key trends in legal regulation:

- 1) a significant expansion of SESU's mandate to encompass specific wartime functions (demining, shelter management, evacuation under active hostilities);
- 2) stringent formalisation of personnel safety protocols (mandatory ballistic protection, dispatch procedures under shelling threat);
- 3) institutionalisation of inter-agency cooperation between SESU, the Armed Forces, the National Police and the National Guard of Ukraine;
- 4) adaptation of pre-hospital care standards to conditions of active combat through the introduction of a zone-based approach.

Further development is needed with regard to the psychological protection of SESU personnel and the normative consolidation of algorithms for psychological support of rescue workers following the execution of their duties in conditions of armed conflict.

This paper was prepared within research project No. 2025.05/0018 "Development of Conceptual Provisions and Methodological Recommendations on Psychological Support and Assistance for SESU Specialists under Current Military Conflict Conditions and in the Post-War Period", funded by the National Research Foundation of Ukraine from the state budget.

References

1. Constitution of Ukraine, 28 June 1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

2. Presidential Decree of Ukraine No. 64/2022, 24 February 2022, 'On the Introduction of Martial Law in Ukraine'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022>.

3. Law of Ukraine No. 3543-XII, 21 October 1993, 'On Mobilisation Preparation and Mobilisation'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3543-12#Text>.

4. Law of Ukraine No. 389-VIII, 12 May 2015, 'On the Legal Regime of Martial Law' (as amended to 27 July 2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text>.

5. Law of Ukraine No. 1550-III, 16 March 2000, 'On the Legal Regime of the State of Emergency'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-14#Text>.

6. Civil Protection Code of Ukraine No. 5403-VI, 2 October 2012 (as amended to 21 September 2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.

7. Klymenko N. Features of Ensuring Civil Protection Under Martial Law. Scientific Bulletin: Public Administration. 2022. No. 2 (12). Pp. 218-233. URL: [https://doi.org/10.33269/2618-0065-2022-2\(12\)-218-233](https://doi.org/10.33269/2618-0065-2022-2(12)-218-233).

8. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 631, 3 July 2014, 'On Approval of the Regulation on the Operational Rescue Service of Civil Protection of the State Emergency Service of Ukraine' (as amended to 16 February 2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0853-14#Text>.

9. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 116, 10 February 2022, 'On Approval of the Procedure for Organising Internal, Garrison and Guard Service in Bodies and Units of the State Emergency Service of Ukraine' (as amended to 7 March 2023). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0534-22#Text>.

10. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 859, 22 August 2016, 'On Approval of the Instruction on Cooperation between SESU, the National Police of Ukraine and the National Guard of Ukraine in the Field of Prevention of and Response to Emergency Situations, Fires and Dangerous Incidents'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text>.

11. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 340, 26 April 2018, 'On Approval of the Charter of Actions in Emergency Situations for Management Bodies and Units of the Operational Rescue Service of Civil Protection and the Charter of Actions of Management Bodies and Units of the Operational Rescue Service of Civil Protection in Fire-Fighting Operations'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text>.

12. SESU Order No. 375, 2 April 2024, 'On Approval of the Recommendations on the Specifics of Mission Execution by SESU Management Bodies and Units in Settlements and on Territories During Armed Aggression'. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/0/8/0/8/1/6/rekom.pdf>.

13. SESU Order No. 349, 29 March 2024, 'Standard-Issue Norms for Material Property and Table of Equipment, Expenditure and Service Life of Fire and Rescue Vehicles, Operation of Fire-Rescue, Technological and Garage Equipment, Tools, Individual Kit and Equipment, Repair and Maintenance Materials, Furniture and Inventory for SESU Units'.

14. Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 441, 9 March 2022, 'On Approval of Procedures for Providing Pre-Hospital Emergency Care to Persons in Emergency Conditions'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0391-22#Text>.

15. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 594, 19 July 2023, 'On Approval of the Procedure for Cooperation between SESU Psychologists and National Police of Ukraine Psychologists During Martial Law Regarding the Provision of Psychological Assistance to Victims of Emergency Situations'. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1313-23#Text>.

16. Analytical Report on Fires and Their Consequences in Ukraine for the 12 Months of 2022. Institute of Public Administration and Research in Civil Protection. URL: <https://idundcz.dsns.gov.ua>. (accessed: 20 September 2024).

17. Methodological Recommendations on the Organisation of Operational Actions by SESU Units When Extinguishing Fires at Petroleum Product Depots Caused by Shelling During Hostilities. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16177>. (accessed: 14 October 2024).

ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ

Захарченко Леонід Леонідович,
аспірант
Національний Транспортний Університет

Анотація У статті досліджено комплекс техніко-економічних, інфраструктурних та регуляторних викликів, пов'язаних із розгортанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у контексті виконання Стратегії Міжнародної морської організації (ІМО) щодо досягнення Net-Zero близько 2050 року. Проаналізовано специфіку використання ВДЕ як безпосередньо на борту судна (первинна енергія вітру та сонця), так і на суходолі для синтезу екологічно чистих е-палив (зеленого водню, аміаку та метанолу). Із залученням соціотехнічного підходу обґрунтовано міждисциплінарні шляхи подолання інерції морського сектора, зокрема через розбудову «зелених судноплавних коридорів», упровадження глобального вуглецевого податку (МВМ) та інтеграцію потенціалу країн Глобального Півдня.

Ключові слова: декарбонізація, морський транспорт, відновлювані джерела енергії (ВДЕ), ІМО, зелені коридори, е-палива, вуглецеве замикання.

Вступ. Прийнята у 2023 року Переглянута Стратегія Міжнародної морської організації (ІМО) щодо скорочення викидів парникових газів (ПГ) встановила безкомпромісні орієнтири для світового флоту — досягнення чистих нульових емісій (Net-Zero) до або близько 2050 року [1]. Цей нормативний макроімператив докорінно змінює архітектуру світового судноплавства, вимагаючи повної відмови від традиційного викопного палива (мазуту й дизелю), на яке наразі припадає близько 2,8% глобальних антропогенних викидів ПГ [2].

Досягнення амбітних цілей Міжнародної морської організації (ІМО) щодо декарбонізації глобального флоту (зокрема, прагнення до нульових викидів парникових газів близько 2050 року) критично залежить від масового впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Енергетичний перехід на морі є унікальним, оскільки ВДЕ використовуються двома шляхами:

- безпосередньо на судні - бортовий контур (енергія вітру, сонця). Пряма утилізація кінетичної енергії вітру та сонячної радіації для зменшення навантаження на головні двигуни;

- на суходолі - сухопутний контур (для генерації зеленого водню, аміаку та метанолу). Використання гігаватних потужностей ВДЕ для процесу електролізу води (генерація зеленого водню) та подальшого синтезу вуглецево-нейтральних палив (е-метанолу, е-аміаку). Проте цей процес стикається з низкою жорстких викликів соціотехнічного, економічного та інженерного характеру.

Метою цієї статті є комплексний аналіз ключових викликів інтеграції ВДЕ у морську логістику та обґрунтування міждисциплінарних траєкторій їх подолання.

Системні виклики впровадження ВДЕ.

Сучасна наукова література в галузі енергетичного менеджменту та промислової екології класифікує бар'єри впровадження ВДЕ на три виміри:

- Техно-технологічні бар'єри та дискретність генерації (Intermittency)

Головним недоліком прямого використання ВДЕ на борту є їхня низька енергетична щільність та нестабільність. Пряме використання ВДЕ на борту (сонячні панелі, вітрогенератори) залежить від погодних умов і не може забезпечити постійну пропульсивну потужність для великих океанських суден без буферних накопичувачів енергії (ESS) [3].

Що стосується альтернативних палив, вироблених за допомогою сухопутних ВДЕ (е-палива), вони мають значно нижчу об'ємну щільність енергії порівняно з мазутом (HFO).

Щодо сухопутного контуру, палива, синтезовані за допомогою ВДЕ, характеризуються низькою об'ємною щільністю енергії порівняно з традиційним мазутом (HFO). Розрахунки показують, що рідкий водень потребує в 4–5 разів більшого об'єму паливних баків, а зелений аміак — у 3 рази [4]. Це призводить до критичного скорочення корисного вантажного простору судна (cargo space loss), знижуючи комерційну ефективність рейсів.

- Інфраструктурне замикання та проблема «курки та яйця»

Морський сектор перебуває у стані глибокого інституційного та інфраструктурного «вуглецевого замикання» (carbon lock-in) [5]. Виникає класичний координаційний тупик: судновласники відмовляються інвестувати сотні мільйонів доларів у будівництво суден на ВДЕ-паливі через відсутність мережі заправних (бункерувальних) станцій у портах. Портова інфраструктура, своєю чергою, не розгортає дорогі термінали криогенного зберігання е-палив через брак гарантованого попиту з боку чинного комерційного флоту [6].

- Макроекономічний дефіцит потужностей ВДЕ на суходолі та «зелена премія»

Для повної декарбонізації світового флоту шляхом переходу на е-палива знадобиться обсяг відновлюваної електроенергії, що, за оцінками аналітиків DNV, перевищує поточну сумарну глобальну генерацію всіх сухопутних ВДЕ [7]. Морський сектор змушений вступати у жорстку міжгалузеву конкуренцію за доступ до «зелених» кіловат-годин з авіацією, металургією та муніципальними мережами.

- Економічний розрив («Зелена премія») та фінансові ризики

Собівартість палив, синтезованих з ВДЕ, наразі у 2–4 рази вища за вартість викопного аналога. Враховуючи тривалий життєвий цикл суден (25–30 років), інвестиції в технології ВДЕ несуть ризик «знецінення активів» (stranded assets), якщо обраний технологічний трек (наприклад, водень проти метанолу) програє ринкову гонку. Ця фінансова різниця становить так звану «зелену премію» (green premium), яка стримує приватний капітал від активних інвестицій у перехід [8].

Шляхи подолання бар'єрів впровадження ВДЕ

Подолання зазначених викликів потребує скоординованого міждисциплінарного інструментарію, що поєднує інженерні інновації, ринкове регулювання та просторове планування.

- Стратегічне управління нішами: «Зелені коридори»

Для подолання інфраструктурного тупика «курки та яйця» соціотехнічна теорія пропонує механізм формування локальних захищених ніш — Зелених судноплавних коридорів (Green Shipping Corridors) [9]. Зелені коридори — це конкретні торговельні маршрути між визначеними портами (наприклад, Роттердам — Сінгапур), на яких консорціуми держав, портової влади, судновласників та енергетичних гігантів синхронно інвестують у розгортання ВДЕ-інфраструктури. Координація капіталовкладень на обмеженому географічному просторі мінімізує фінансові ризики та створює комерційний прецедент для подальшого масштабування технології на весь глобальний соціотехнічний режим [6].

- Ринкові механізми (MBM) та ліквідація «зеленої премії»

Економічне нівелювання цінового розриву між ВДЕ-паливом та мазутом покладено на майбутні ринкові механізми (Market-Based Measures — MBM) ІМО, впровадження яких очікується в найближчі роки. Наукова спільнота обґрунтовує безальтернативність введення глобального вуглецевого податку (Carbon Tax) на кожну тону емітованого суднами [10].

Штучне здорожчання викопного палива через систему штрафів та податків (як це вже частково реалізовано на рівні ЄС через директиви EU ETS та FuelEU Maritime) дозволить зрівняти фінансову привабливість рішень. Кошти, акумульовані у глобальних фондах декарбонізації ІМО, мають цілеспрямовано спрямовуватися на субсидування виробників наземних ВДЕ, знижуючи собівартість зеленого водню та аміаку.

.- Інтеграція Глобального Півдня та Справедливий перехід (Just Transition)

Вирішення проблеми дефіциту потужностей ВДЕ лежить у площині географічної децентралізації інвестицій. Країни Глобального Півдня (Латинська Америка, Африка, Південна Азія) володіють унікальним і найвищим у світі природним потенціалом сонячної та вітрової інсоляції. Залучення міжнародного капіталу (зокрема через програми Світового банку) у розгортання гігаватних плантацій ВДЕ та заводів електролізу в цих регіонах дозволить розв'язати проблему паливного дефіциту [11]. Водночас це реалізує базові засади концепції Справедливого переходу (Just Transition), трансформуючи екологічний виклик морського сектора на інструмент подолання бідності та створення нових високотехнологічних робочих місць на суходолі в країнах, що розвиваються [12].

- Just-In-Time (JIT) прибуття та III-оптимізація

Синхронізація руху судна з готовністю портового причалу за допомогою штучного інтелекту дозволяє уникнути перевищення швидкості та подальшого спалювання палива на рейді. Це знижує загальне енергоспоживання флоту, зменшуючи потребу в обсягах дефіцитного ВДЕ-палива.

Гібридизація бортових енергосистем та концепція WAPS

Для нівелювання фактора нестабільності ВДЕ на борту сучасне суднобудування розвиває концепцію гібридних пропульсивних комплексів. Вона передбачає синхронізацію первинної енергії вітру з інтелектуальними системами управління енергією (PMS) та літій-іонними акумуляторними батареями (ESS).

Великого наукового інтересу набуло повернення вітрових асистуючих систем (Wind-Assisted Propulsion Systems — WAPS) [13]. Дослідження підтверджують, що використання енергії віру в комбінації із цифровою оптимізацією маршруту (AI-driven Weather Routing) дозволяє знизити потребу в основному паливі на 15–30%, суттєво зменшуючи об'єми дефіцитного е-палива, яке необхідно мати на борту [14].

Системні виклики впровадження WAPS

Проте інтеграція WAPS у структуру сучасного комерційного судна наражається на комплекс жорстких системних викликів аеродинамічного, інфраструктурного та регуляторного характеру. Метою цієї статті є типізація ключових системних викликів впровадження WAPS та обґрунтування міждисциплінарних шляхів їх подолання.

- Аеродинамічні та конструктивно-технічні обмеження

Головним інженерним викликом при встановленні WAPS на великих комерційних суднах (контейнеровозах, балкерах, танкерах) є зміна остійності та гідродинамічних характеристик транспортного засобу. Високі вертикальні конструкції — жорсткі вітрила-крила (Rigid Wing Sails) або турбовітрила/ротори Флеттнера (що використовують ефект Магнуса) — під дією бокового вітру створюють значний перекидаючий момент (heeling moment) та додатковий гідродинамічний дрейф судна (leeway) [15].

Крім того, великі механічні вітрильні системи мають значну масу, що призводить до зміщення центру ваги судна вгору і вимагає перерахунку балансу баластних танків. Окремим викликом є аеродинамічна інтерференція: коли на борту встановлено кілька роторів чи крил, вони можуть створювати зони аеродинамічного затінення та завихрень один для одного, що суттєво знижує сумарний ККД системи [16].

- Операційно-інфраструктурні виклики та обмеження вантажних операцій

Морські транспортні засоби функціонують у межах жорстко оптимізованого портового мезорегіму. Встановлення стаціонарних вертикальних конструкцій на палубі судна вступає в прямий конфлікт із чинною логістичною інфраструктурою:

- Обмеження огляду (Blind Sectors): Високі вітрила можуть перекривати сектори огляду з ходового містка, що порушує вимоги Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (SOLAS).

- Вантажні операції в портах: Для балкерів та контейнеровозів жорсткі палубні вітрила створюють фізичні перешкоди для роботи берегових кранів (Gantry Cranes). Це збільшує час простою судна під обробкою, що фінансово нівелює екологічну економію палива [6].

- Габаритні обмеження: Висота щогл WAPS лімітує прохід судна під мостами на критичних торговельних артеріях, викликаючи ефект просторового замикання.

- Метеорологічна дискретність та координація маршрутів

Кінетична енергія вітру має стохастичний, стовідсотково дискретний характер. Традиційна морська логістика побудована на лінійних маршрутах за принципом найкоротшої відстані (Great Circle). Проте для судна, обладнаного WAPS, класичний маршрут може виявитися неефективним через зони штилю або зустрічного вітру, коли вітрила створюють лише додатковий аеродинамічний опір [14]. Ефективне впровадження WAPS вимагає повної перебудови штурманського мислення від лінійної навігації до динамічного планування.

Шляхи подолання системних викликів WAPS

Розв'язання зазначених соціотехнічних та інженерних протиріч лежить у площині цифровізації, динамічної трансформації конструкцій суден та оновлення міжнародного регуляторного поля.

- Телескопічні, складні конструкції та інноваційний дизайн

Для усунення портових інфраструктурних обмежень сучасні розробники (наприклад, компанії BAR Technologies, Cargill, Norsepower) створюють адаптивні конструкції WAPS. Новітні жорсткі крила-вітрила (зокрема, технологія WindWings) проектуються складними (tiltable) або телескопічними. Під час заходу в порт або проходження під мостами щогли автоматично складаються на палубу за допомогою гідравлічних систем, звільняючи простір для портових кранів та усуваючи проблему обмеження огляду для судноводіїв [17].

- Синхронізація з ШІ та теорія полісинхронної оптимізації

Подолання фактора нестабільності вітру досягається шляхом інтеграції WAPS з інтелектуальними інструментами Індустрії 4.0. Впровадження алгоритмів штучного інтелекту для динамічного метеорологічного маршрутування (AI-driven Weather Routing) дозволяє безперервно аналізувати глобальні супутникові прогнози погоди й перераховувати траєкторію судна [13,14].

Судно прямує не найкоротшим, а «найбільш енергетично вигідним» маршрутом, де кут і сила вітру максимізують ККД вітрил. ШІ в реальному часі координує кут атаки крил-вітрил із роботою інтелектуальних систем управління енергією (PMS) судна, автоматично знижуючи подачу традиційного палива в головний двигун, коли вітер забезпечує достатню пропульсивну тягу.

- Реформування правового поля та індексів ІМО (EEDI/EECI)

Донедавна міжнародні регуляторні інструменти стримували впровадження WAPS через недосконалість математичних моделей оцінки енергоефективності судна. У межах ІМО триває активна робота з модернізації методології розрахунку Конструктивного коефіцієнта енергоефективності (EEDI) та Коефіцієнта енергоефективності наявних суден (EECI) [10].

Нові правові рамки дозволяють легітимно враховувати статистичний внесок вітрових асистуючих систем у зниження вуглецевої місткості судна на основі матриць історичних вітрових умов на глобальних торговельних маршрутах. Це

підвищує комерційну привабливість WAPS для судновласників, звільняючи їх від жорстких штрафних санкцій у межах ініціатив EU ETS та логіки FuelEU Maritime.

Висновки. Досягнення амбітних екологічних цілей ІМО щодо Net-Zero близько 2050 року перебуває в прямій залежності від спроможності глобальної системи інтегрувати відновлювані джерела енергії. Основні виклики цього процесу лежать не в площині браку інженерних рішень, а у площині економічної та інфраструктурної інерції чинного вуглецевого режиму. Подолання цих бар'єрів потребує нелінійних кроків: координації інвестицій через створення «зелених коридорів», жорсткого регуляторного тиску через механізм глобального вуглецевого податку ІМО, впровадження гібридних бортових систем WAPS (телескопічних та складних конструкцій), математичного інструментарію ШІ для полісинхронної оптимізації метеомаршрутів та оновлення міжнародної нормативно-правової бази ІМО. Активного включення ресурсного потенціалу країн Глобального Півдня. Декарбонізація морського транспорту на базі ВДЕ має розвиватися як інтегрований соціотехнічний макропроцес, що поєднує інновації на морі із перебудовою енергетичного сектору на суходолі.

Список літератури

1. IMO (International Maritime Organization). (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. Resolution MEPC.377(80).
2. IMO (International Maritime Organization). (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. International Maritime Organization.
3. Bouman, E. A., Lindstad, E., Rialland, A. I., & Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.022>
4. Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policy. *Energy Conversion and Management*, 182, 72–88. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>
5. Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)
6. Halim, R., Kirstein, L., Merk, O., & Martinez, L. (2018). Decarbonization pathways for international maritime transport: A model-based policy impact assessment. *Sustainability*, 10(7), 2243. <https://doi.org/10.3390/su10072243>
7. DNV (Det Norske Veritas). (2023). *Maritime Forecast to 2050: Energy Transition Outlook*. DNV GL.
8. Kander, A., Malanima, P., & Warde, P. (2021). Technological transitions in the maritime sector: A multi-level analysis of carbon lock-in and decarbonization pathways. *Marine Policy*, 132, 104673. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104673>

9. Kemp, R., Schot, J., & Hoogma, R. (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche management: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), 175–198. <https://doi.org/10.1080/09537329808524310>
10. Gager, S., & Guerin, E. (2021). Integrating Life Cycle Assessment and social criteria into international maritime regulations: Challenges and opportunities for the IMO. *Marine Policy*, 129, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104523>
11. World Bank. (2021). *Green Development Opportunities for Developing Countries in the Transition toward Low-Carbon Shipping*. World Bank Group.
12. ITF (International Transport Workers' Federation). (2022). *A Position Paper on Just Transition in the Maritime Sector: Putting Seafarers First*. ITF Global.
13. Wang, S., Ji, B., Zhao, J., Liu, W., & Xu, T. (2021). A polysynchronous optimization approach for ship weather routing and speed profile planning under dynamic environments. *Applied Energy*, 290, 116740. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116740>
14. Zis, T., Psaraftis, H. N., & Ding, L. (2020). Ship weather routing: A review and trajectory data analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 114, 441–463. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.02.012>
15. Chou, T., Kosmas, V., Acciaro, M., & Ren, J. (2021). A moth-flame optimization choices for wind-assisted ship propulsion systems. *Applied Energy*, 304, 117700. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117700>
16. Lindstad, E., Bø, T. I., & Riialand, A. (2019). Potential for reducing emissions and cost by multi-disciplinary voyage and propulsion optimization. *Journal of Marine Science and Technology*, 24(4), 1102–1114. <https://doi.org/10.1007/s00773-018-0609-0>
17. DNV (Det Norske Veritas). (2022). *Digitalization and New Training Paradigms: Simulators in the Maritime Decarbonization Era*. DNV GL Maritime.

The authors of the XXVI International Scientific and Practical Conference «Scientific research: challenges and ways to overcome them in modern realities» were representatives of the following educational institutions:

Ukrainian Research Institute of Special Equipment; Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas; Zaporizhzhia National University; National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv; V. N. Karazin Kharkiv National University; Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University; Oles Honchar Dnipro National University; National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University; Kharkiv National University of Internal Affairs; Astana Medical University; S. D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University; Kazakhstan-Russian Medical University; Shokan Ualikhanov Kokshetau University; Marat Ospanov West Kazakhstan Medical University; Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University; Semey Medical University; South Kazakhstan Medical Academy; Educational and Research Institute of National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia; National University of Civil Defense of Ukraine; National Transport University and others.

SCIENTIFIC RESEARCH: CHALLENGES AND WAYS TO OVERCOME THEM IN MODERN REALITIES

Scientific publications

Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference
«Scientific research: challenges and ways to overcome them in modern realities»,
Paris, France. 208 p.
(June 30 – July 03, 2026)

UDC 01.1

ISBN – 979-8-90383-416-7

DOI – 10.46299/ISG.2026.1.26

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: Koshchii I., Klimko Y. Amidoalkylating agents in the synthesis of spiro-derivative nitrogenous heterocycles with a framework fragment. Proceedings of the XXVI International Scientific and Practical Conference. Paris, France. 2026. Pp. 19-20 URL: <https://isg-konf.com/scientific-research-challenges-and-ways-to-overcome-them-in-modern-realities/>