

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:
Завідувач кафедри Мітюшкіна Х.С.

—
«___» _____ 2025 р.

**«ЕКОМІСТА: СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЗМЕНШЕННЯ
ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ»**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти другого
(магістерського) рівня вищої освіти освітньо-
професійної програми «Екологія та охорона
навколишнього середовища»
Мороза Дмитра Олександровича
Науковий керівник:
к.е.н., доцент
Іванова Вікторія Віталіївна
Рецензент: Буцяк Анна Андріївна,
к.с.-г. н., доцент, доцент кафедри біоекології
та природоохоронних технологій, Львівський
національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені
С.З. Гжицького

Кваліфікаційна робота захищена
з оцінкою _____
Секретар ЕК _____
«___» _____ 20__ р.

Анотація

Мороз Д.О. Екоміста: стратегії сталого розвитку та зменшення вуглецевого сліду

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища». – Маріупольський державний університет, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми післявоєнної відбудови урбаністичних систем України на засадах сталого розвитку. В умовах, коли міста споживають понад 75 % світових енергоресурсів та генерують близько 70 % викидів парникових газів, трансформація зруйнованих війною промислових центрів, таких як Маріуполь, вимагає відмови від застарілих індустріальних моделей. У роботі обґрунтовано, що катастрофічні руйнування створюють прецедент «чистого аркуша» (*tabula rasa*), що дозволяє спроектувати принципово нову, кліматично нейтральну інфраструктуру відповідно до стандартів Європейського «Зеленого курсу» (*The European Green Deal*).

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та практична розробка концепції еко-міст як стратегії зменшення вуглецевого сліду, з урахуванням світового досвіду та специфіки післявоєнної відбудови України.

Об'єктом дослідження є процеси трансформації урбаністичних систем в умовах сталого розвитку. Предметом виступають моделі, алгоритми та механізми формування еко-міст.

У першому розділі здійснено теоретичний аналіз еволюції концепції еко-урбанізму. Систематизовано основні типи еко-міст (зелені, енергоефективні, екомобільні, смарт-екологічні, кліматично-адаптивні) та визначено їх ключові характеристики. Проаналізовано структуру вуглецевого

сліду міського середовища, де основними джерелами емісії визначено транспорт, енергетику та житловий сектор.

У другому розділі проведено компаративний аналіз ефективності моделей еко-міст (Копенгаген, Фрайбург, Ванкувер, Куритіба, Сінгапур). Розраховано Коефіцієнт сталої мобільності $K_{(sm)}$, який засвідчив, що європейські столиці досягають показника 0,80 завдяки велоінфраструктурі, тоді як модель Куритіби забезпечує показник 0,70 за рахунок системи швидкісних автобусів (BRT) при значно менших капіталовкладеннях. На основі економічного моделювання доведено перевагу впровадження систем BRT для міст України порівняно з будівництвом підземного метрополітену (індекс економічної доцільності вищий у 8–12 разів). За результатами SWOT-аналізу обґрунтовано доцільність застосування в Україні гібридної моделі адаптації, що поєднує технологічні рішення та соціальні інновації.

У третьому розділі розроблено авторську концепцію «EcoMariupol», яка передбачає перехід від моноцентричного промислового міста до поліцентричної структури «15-хвилинного міста» з децентралізованою енергетичною системою на базі відновлюваних джерел.

Сформульовано інтегральну математичну модель еко-міста:

$$E_{\text{місто}} = f(D, M, Z, C, I)$$

де функція залежить від п'яти драйверів: декарбонізації (D), сталої мобільності (M), зелено-блакитної інфраструктури (Z), циркулярності ресурсів (C) та інтелектуально-соціального капіталу (I).

Проведено апробацію моделі на прикладі Маріуполя: розрахований інтегральний індекс становить 0,50, що відповідає «перехідному стану» і вказує на необхідність пріоритетних інвестицій у переробку відходів, руйнувань та енергоефективність.

Розроблено покроковий алгоритм впровадження концепції (8 етапів), який слугує дорожньою картою для муніципалітетів — від екологічного аудиту до моніторингу результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці інтегральної моделі оцінки сталості міста та алгоритму її імплементації, що дозволяє кількісно вимірювати прогрес відбудови.

Практичне значення роботи полягає у створенні прикладного інструментарію для стратегічного планування відновлення постраждалих громад, що узгоджується з національним Планом відновлення України.

Ключові слова: еко-місто, сталий розвиток, вуглецевий слід, «EcoMariupol», інтегральна модель, відновлювана енергетика, стала мобільність, система BRT, циркулярна економіка, післявоєнна відбудова.

Abstract

Moroz D.O. Eco-cities: strategies for sustainable development and carbon footprint reduction.

Master's thesis for the degree of «Master» under the educational program «Ecology and Environmental Protection». – Mariupol State University, 2025.

The Master's thesis is dedicated to addressing the urgent scientific and practical problem of the post-war reconstruction of Ukraine's urban systems based on sustainable development principles. In a context where cities consume over 75% of global energy resources and generate approximately 70% of greenhouse gas emissions, the transformation of war-destroyed industrial centers, such as Mariupol, requires abandoning obsolete industrial models. The thesis substantiates that the catastrophic destruction creates a «clean slate» (*tabula rasa*) precedent, allowing for the design of fundamentally new, climate-neutral infrastructure in accordance with the standards of the European Green Deal.

The purpose of the study is the theoretical substantiation and practical development of the eco-city concept as a strategy for reducing the carbon footprint, taking into account global experience and the specificities of Ukraine's post-war reconstruction.

The object of the research is the processes of transformation of urban systems under conditions of sustainable development. The subject of the research acts as the models, algorithms, and mechanisms for the formation of eco-cities.

The first chapter provides a theoretical analysis of the evolution of the eco-urbanism concept. The main types of eco-cities (green, energy-efficient, eco-mobile, smart-ecological, climate-adaptive) are systematized, and their key characteristics are defined. The structure of the urban carbon footprint is analyzed, identifying transport, energy, and the residential sector as the main sources of emissions.

The second chapter conducts a comparative analysis of the effectiveness of eco-city models (Copenhagen, Freiburg, Vancouver, Curitiba, Singapore). The Sustainable Mobility Coefficient $K_{(sm)}$ was calculated, demonstrating that European capitals achieve a score of 0.80 due to cycling infrastructure, while the Curitiba model secures a score of 0.70 through the Bus Rapid Transit (BRT) system at significantly lower capital costs. Based on economic modeling, the advantage of implementing BRT systems for Ukrainian cities compared to building an underground metro is proven (the economic feasibility index is 8–12 times higher). According to the results of the SWOT analysis, the expediency of applying a hybrid adaptation model in Ukraine, combining technological solutions and social innovations, is substantiated.

The third chapter develops the author's concept of «EcoMariupol», which envisions the transition from a monocentric industrial city to a polycentric «15-minute city» structure with a decentralized energy system based on renewable sources.

An integral mathematical model of the eco-city is formulated:

$$E_{city} = f(D, M, G, C, I)$$

where the function depends on five drivers: Decarbonization (D), Sustainable Mobility (M), Green-Blue Infrastructure (G), Circularity of resources (C), and Intellectual-Social Capital (I).

The model was tested on the example of Mariupol: the calculated integral index is 0.50, which corresponds to a «transitional state» and indicates the need for priority investments in the recycling of destruction waste and energy efficiency.

A step-by-step algorithm for implementing the concept (8 stages) has been developed, serving as a roadmap for municipalities — from environmental audit to monitoring of results.

The scientific novelty of the obtained results lies in the development of an integral model for assessing city sustainability and an algorithm for its

implementation, which allows for the quantitative measurement of reconstruction progress.

The practical significance of the work lies in the creation of applied tools for strategic planning of the recovery of affected communities, which aligns with the national Recovery Plan of Ukraine.

Keywords: eco-city, sustainable development, carbon footprint, «EcoMariupol», integral model, renewable energy, sustainable mobility, BRT system, circular economy, post-war reconstruction.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ ТА ЕКО-УРБАНІЗМУ.....	13
1.1. Теоретичні аспекти сталого розвитку міст та еко-урбанізму.....	13
1.2. Еко-міста як концепція сталого урбанізму.....	17
1.3. Вуглецевий слід міського середовища: джерела, індикатори, вплив....	23
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРАКТИК РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ЕКО-МІСТ У СВІТІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ АДАПТАЦІЇ В УКРАЇНІ.....	31
2.1. Глобальні тенденції трансформації урбаністичних систем: від теоретичних моделей до стратегій кліматичної нейтральності.....	31
2.2. Порівняльний аналіз ефективності моделей еко-міст	44
Висновки до розділу 2.....	51
РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ЕКО-МІСТ.....	53
3.1. Концепція формування еко-міста у процесі відбудови Маріуполя післявоєнного.....	53
3.2. Інтегральна модель еко-міста: складові та методологічне обґрунтування.....	58
3.3. Алгоритм впровадження концепції еко-міст у післявоєнних громадах України.....	69
Висновки до розділу 3.....	71
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку цивілізації людство стикається з безпрецедентними викликами екологічного характеру. Глобальна зміна клімату, виснаження природних ресурсів, стрімка урбанізація та деградація біорізноманіття вимагають докорінного перегляду підходів до організації життєвого простору. Міста, які займають лише 3 % поверхні суші, споживають понад 75 % світових енергоресурсів та продукують близько 70 % викидів парникових газів, стаючи головними драйверами екологічної кризи. У цьому контексті концепція сталого розвитку та формування еко-міст (*eco-cities*) трансформується з теоретичної моделі на безальтернативну стратегію виживання та розвитку урбаністичних систем.

Для України ця проблема набуває особливої гостроти та специфіки в умовах повномасштабної війни. Військова агресія призвела до катастрофічних руйнувань міської інфраструктури, житлового фонду та промислових об'єктів, завдавши непоправної шкоди довкіллю. Місто Маріуполь стало трагічним символом цих руйнувань, втративши значну частину своєї забудови та інженерних мереж. Однак, парадоксальним чином, ця ситуація створює унікальний прецедент «чистого аркуша» (*tabula rasa*): можливість не просто відновити зруйноване за старими радянськими лекалами, а побудувати принципово нове, екологічно безпечне та енергоефективне місто майбутнього.

Відбудова українських міст має відбуватися з урахуванням європейських стандартів, зокрема «Зеленого курсу» (*The European Green Deal*), що є необхідною умовою євроінтеграції. Перехід від моделі індустріального центру з високим рівнем забруднення до поліцентричного еко-міста вимагає наукового обґрунтування нових підходів до планування, енергозабезпечення та управління ресурсами. Саме необхідність розробки концептуальних та практичних засад такої трансформації для умов післявоєнної України зумовлює актуальність обраної теми дослідження.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та практична розробка концепції еко-міст як стратегії сталого розвитку та зменшення вуглецевого сліду, з урахуванням світового досвіду, глобальних тенденцій та українських реалій післявоєнної відбудови.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- розкрити сутність сталого розвитку та особливості його впровадження у міському контексті.
- охарактеризувати концепцію еко-міст як форму сталого урбанізму.
- проаналізувати джерела, індикатори та вплив вуглецевого сліду міського середовища.
- дослідити глобальні тенденції трансформації урбаністичних систем та їхній перехід до стратегій кліматичної нейтральності.
- провести порівняльний аналіз ефективності моделей еко-міст у різних країнах.
- розробити концепцію формування екоміста у процесі післявоєнної відбудови Маріуполя.
- сформувати інтегральну модель екоміста, визначивши її складові та методологічне обґрунтування.
- запропонувати алгоритм впровадження концепції еко-міст у післявоєнних громадах України.

Об'єкт дослідження:

- Урбаністичні системи та процеси їх трансформації в умовах сталого розвитку й післявоєнної відбудови.

Предмет дослідження:

- Концепція еко-міст, її моделі, алгоритми та практичні механізми зменшення вуглецевого сліду у міському середовищі.

Наукова новизна дослідження:

- запропоновано інтегральну формулу екоміста ($E_{\text{місто}} = f(D, M, Z, C, I)$), яка поєднує ключові складові сталого урбанізму.
- розроблено алгоритм впровадження концепції еко-міст у післявоєнних громадах України як практичну дорожню карту для муніципалітетів.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ ТА ЕКО-УРБАНІЗМУ

1.1. Поняття сталого розвитку та його впровадження у міському контексті

Поняття «сталий розвиток» (англ. *Sustainable development*) стало ключовою парадигмою сучасної глобальної екологічної політики. Воно пройшло довгий шлях становлення, трансформуючись з локальних ініціатив у всеосяжну стратегію людства щодо збереження планети для майбутніх поколінь.

Вперше ідеї про необхідність узгодження економічної діяльності з екологічними обмеженнями з'явилися ще у 1960-х роках. Зокрема, у звіті Римського клубу «Межі зростання» (1972) підкреслювалася неможливість безкінечного економічного зростання в умовах обмежених ресурсів[11]. У цьому документі вперше науково обґрунтовувалась необхідність збалансованого розвитку.

У 1987 році Всесвітня комісія з довкілля та розвитку ООН під керівництвом Гру Гарлем Брундтланд опублікувала доповідь «Наше спільне майбутнє», яка ввела офіційне визначення сталого розвитку:

«Сталий розвиток – це розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби».

Це визначення стало класичним і базовим для подальшої розробки концепції. У подальшому поняття було розширене і деталізоване в міжнародних документах, зокрема на Конференції ООН в Ріо-де-Жанейро (1992), де було прийнято «Порядок денний на XXI століття» (Agenda 21)- глобальна програма дій для сталого розвитку [3].

Згідно з сучасним підходом, сталий розвиток включає три взаємопов'язані компоненти:

1. **Економічний** – забезпечення ефективного використання ресурсів, економічної стабільності та зростання добробуту.
2. **Екологічний** - збереження навколишнього природного середовища, біорізноманіття та екосистем.
3. **Соціальний** - забезпечення рівності, соціальної справедливості, доступу до освіти, охорони здоров'я та участі у прийнятті рішень.

Ці компоненти не існують ізольовано. Їхній баланс є критично важливим для забезпечення довгострокового розвитку суспільства. Порушення одного з елементів призводить до кризисів системи.

Міста стали головним фокусом реалізації політики сталого розвитку. За даними ООН, станом на 2023 рік близько 57% населення світу проживає в міських агломераціях, і ця цифра продовжує зростати[33]. Міста генерують значну частину ВВП країн, проте є одночасно:

- Споживають понад 75% енергоресурсів;
- Генерують понад 70% викидів парникових газів[27];
- є осередками забруднення повітря, води та ґрунтів;
- стикаються з проблемами соціальної нерівності, перенаселення та транспортного перевантаження.

Тому сталий розвиток міста передбачає **інтегроване управління усіма аспектами міського життя**: від транспорту та енергетики до зелених зон, житлового будівництва та поводження з відходами.

Цілі сталого розвитку ООН (SDGs) і міста

У 2015 році Генеральна Асамблея ООН ухвалила **Порядок денний сталого розвитку до 2030 року**, що включає **17 Цілей сталого розвитку** (Sustainable Development Goals, SDGs)[1]. Вони охоплюють всі сфери життя: подолання бідності, забезпечення освіти, рівність, чисту енергію, екологію тощо.

Особливо важливою у контексті урбанізації є **Ціль №11**–«Зробити міста і населені пункти відкритими, безпечними, стійкими і сталими».

Основні завдання цієї цілі:

- забезпечення доступу до житла та базових послуг;
- розвиток сталого транспорту;
- зменшення негативного впливу міст на довкілля;
- розширення зелених зон;
- підвищення стійкості до стихійних лих;
- участь громадян у процесі прийняття рішень.

Основні Цілі сталого розвитку (SDGs), пов'язані з еко-містами (табл. 1.1)

Таблиця 1.1

Основні Цілі сталого розвитку

Ціль ООН	Суть	Зв'язок з еко-містами
SDG 11: Сталий розвиток міст і громад	Зробити міста інклюзивними, безпечними, стійкими та екологічними	Це головна ціль: еко-міста прямо спрямовані на зменшення вуглецевого сліду, розвиток сталої мобільності, зелених просторів та участі громади.
SDG 7: Доступна та чиста енергія	Забезпечити доступ до відновлюваних джерел енергії	Еко-міста впроваджують сонячні, вітрові та біоенергетичні системи, будівлі nZEB, «розумні» мережі.
SDG 13: Боротьба зі зміною клімату	Вжити термінових заходів для зменшення впливу кліматичних змін	Еко-міста знижують викиди CO ₂ , адаптуються до екстремальних погодних явищ, впроваджують «місто-губку» та зелені коридори.
SDG 12: Відповідальне споживання і виробництво	Перехід до циркулярної економіки	Еко-міста впроваджують ZeroWaste, повторне використання води й ресурсів, локальні системи переробки.
SDG 3: Міцне здоров'я і благополуччя	Забезпечити здорове життя та добробут	Зменшення забруднення повітря й шуму, розвиток зелених зон, доступність екологічного транспорту.
SDG 9: Інновації та інфраструктура	Створення стійкої інфраструктури та інноваційних технологій	Еко-міста інтегрують SmartCity-рішення, цифрові платформи участі громади, інтелектуальні системи управління ресурсами.

Джерело: складено автором на основі [1]

Сучасні підходи до розвитку міст спираються на такі ключові принципи:

- **Комплексність** – управління містом як єдиним живим організмом, де всі системи взаємо пов’язані;
- **Участь громади** – залучення мешканців до планування та ухвалення рішень;
- **Енергоефективність і ресурсозбереження** – мінімізація енергоспоживання, використання ВДЕ;
- **Мобільність і доступність** – пріоритет громадському транспорту, велосипедній інфраструктурі;
- **Зелені простори** - створення парків, озеленення територій, розвиток екосистем;
- **Адаптація до змін клімату**-врахування ризиків і підвищення міської стійкості;
- **Кліматична справедливість**-захист вразливих груп населення від екологічних ризиків [2,30].

Для України, яка перебуває у складних умовах війни, відновлення зруйнованих міст має відбуватися на принципах сталого розвитку. Це означає [17]:

- Створення енергоефективної інфраструктури;
- Використання екологічних будівельних матеріалів;
- Запровадження екологічного транспорту;
- розвиток локального виробництва;
- інтеграція екологічних підходів у міське планування.

В умовах повоєнної реконструкції особливо актуальним є формування нової філософії урбаністичного відновлення, яка враховує довгострокову стійкість, безпеку та якість життя мешканців.

1.2. Еко-міста, як концепція сталого урбанізму

У сучасному світі, де урбанізація досягає безпрецедентного рівня, міста повинні не лише адаптуватися до екологічних викликів, а й стати їх активними вирішувачами. Саме тому з'являється концепція еко-міста (*ecocity*), яка інтегрує ідеї сталого розвитку безпосередньо в структуру та функціонування міського простору.

Еко-місто - це міське утворення, спроектоване та кероване таким чином, щоб мінімізувати вплив на навколишнє середовище, раціонально використовувати ресурси, забезпечувати комфортні умови життя мешканцям і залишатися стійким до соціально-економічних та екологічних викликів.

Ця концепція базується на гармонії між природним середовищем, міською інфраструктурою та людською діяльністю. Її головна мета – досягнення високої якості життя при мінімальному екологічному сліді.

До ключових ознак, що відрізняють еко-міста відтрадиційних урбаністичних моделей, належать:

Таблиця 1. 2

Ключові ознаки еко-міст

№	Характеристика	Складові та заходи
1	Низький рівень викидів ПГ	• Використання чистої енергії • Будівництво енергоефективних споруд • Перехід на електротранспорт
2	Сталий транспорт	• Розвинені мережі громадського транспорту • Велосипедні доріжки • Пріоритет пішохідних зон
3	Енергоефективність	• Технології «розумного міста» • Зелені дахи та сонячні панелі • Автономне освітлення
4	Зелена інфраструктура	• Парки, міські ліси, водно-болотні угіддя • Зелені фасади • покращення мікроклімату та якості повітря
5	Комплексне управління відходами	• Максимальна переробка • Повторне використання ресурсів • Принципи циркулярної економіки
6	Раціональне водокористування	• Збір дощової води • Очищення стічних вод • Використання вторинної води

7	Участь громади	• Включення мешканців у прийняття рішень • Екологічна освіта • Громадська відповідальність
8	Соціальна інклюзивність	• Доступність інфраструктури (безбар'єрність) • Інтеграція різних груп у спільний еко-простір

Джерело: складено автором за [9,26]

Кожна модель еко-міста втілює свою логіку просторової організації:

Модель «15-хвилинного міста»

Розроблена професором Карлосом Морено (Франція), вона передбачає, що всі ключові сервіси-магазини, школи, медзаклади-мають бути доступними в межах 15-хвилинної пішої або вело-дистанції [12].

- Приклад: Париж активно реалізує цю модель із 2020 року;
- Барселона застосовує подібний підхід через «суперквартали» [43].

Вертикальне озеленення та еко архітектура

Використання зелених дахів, вертикальних садів, фасадів, що поглинають CO₂.

- Приклад: Bosco Verticale у Мілані (Італія) – житлові хмарочоси з понад 20 тисячами рослин.
- Приклад: «Живі будівлі» в Сінгапурі (наприклад, Parkroyal on Pickering) [39].

Компактне змішане зонування

Сприяє зниженню транспортного навантаження, розвитку локальних громад.

- Приклад: Ванкувер - одне з перших міст із повністю інтегрованою моделлю mixed-used development [35].

Мережі екологічних коридорів

Створення «зелених» зв'язків між парками, водними об'єктами, лісами в межах міста.

- Приклад: Сеул – відновлення річки Чхонгечхон, яка перетворилась із автостради на екологічну вісь міста.

Максимальна щільність без перенаселення – ефективне використання простору без створення «урбаністичних джунглів».

- Приклад: Копенгаген — Ørestad, Nordhavn середня поверховість, щільна забудова, багато зелені, все поруч (школи, магазини, транспорт), мінімум авто, максимум велосипедів.

Термомодернізація будівель – утеплення, багатофункціональні фасади, «розумні» системи обігріву та вентиляції.

- Приклад: Фрайбург (Vauban) будинки з надвисокою теплоізоляцією, рекуперація тепла, сонячні панелі.

Міські ферми та агроурбанізм – розвиток міського землеробства, теплиць, громадських садів

- Приклад: SkyGreens (Сінгапур) - вертикальні ферми у місті, вирощування зелені у багатоповерхових конструкціях, мінімум землі, замкнений цикл води.

У світі активно формуються нові підходи до організації міського простору, які відповідають принципам сталого розвитку. Еко-міста- це не лише архітектурні чи технологічні рішення, а цілий комплекс політик, практик і управлінських моделей, щодо зводяють зменшити вуглецевий слід, покращити якість життя та забезпечити адаптацію до кліматичних змін. Існують різні типи еко-міст, які реалізуються з урахуванням місцевого контексту, технологічних можливостей і пріоритетів.

На основі ключових характеристик міжнародного досвіду еко-міст можна поділити на кілька основних типів.

Треба зазначити, що типи еко-міст часто перетинаються: одне місто може бути одночасно «зеленим» і «смайт».

Післявоєнна відбудова України буде потребувати поєднання кількох типів - енергоефективність, кліматична адаптація та соціальна інтеграція.

Приклади реалізації концепції еко-міст

1. **Копенгаген (Данія)**-лідер у сфері сталого розвитку, має амбітну ціль стати вуглецево-нейтральним 2025 року [34]. Місто скоротило викиди CO₂ приблизно на 80–82 % порівняно з рівнем 2009 року, але 0% так і не було досягнуто і було переосмислення стратегії стати кліматично позитивними до

2035 року. Цілі нової «кліматично-позитивної» стратегії до 2035 року - це скорочення споживання, циркулярна економіка та зниження трафіку, тож надалі активно продовжується розвиток велоінфраструктури, інвестування у вітрову енергетику, запровадили централізовану систему теплопостачання на основі біомаси.

Таблиця 1.3

Типи еко-міст

Тип екоміст	Основний акцент	Приклад реалізації
Зелене	Орієнтовані на максимальну інтеграцію природи: парки, зелені коридори, вертикальні сади, зелені дахи	Сінгапур із концепцією «місто-сад»
Енергоефективне	Фокус на зменшенні споживання енергії та використанні відновлюваних джерел (сонячна, вітрова, біоенергія)	Лінц (SolarCity)
Екомобільне	Пріоритет громадського транспорту, велосипедів, пішохідних зон, електротранспорту. Транспорт без викидів	Копенгаген, де понад 60% мешканців пересуваються велосипедом.
Смарт-екологічне	Використання цифрових технологій для управління ресурсами: «розумні» системи моніторингу повітря, води, шуму; оптимізація енергоспоживання	Стокгольм
Кліматично-адаптивне	Орієнтовані на протидію кліматичним змінам: системи утримання дощової води, охолодження міських просторів, стійкі до екстремальних погодних явищ	Роттердам із системою «watersquares»
Соціально-екологічне	Акцент на участі громади, екологічній освіті, культурі сталого розвитку	Фрайбург у Німеччині, де мешканці активно залучені до екологічних рішень.

Джерело: складене автором

2. Фрайбург (Німеччина) - приклад міста, де поєднуються екологічне зонування, високий рівень енергоефективності житла, екологічний транспорт та активна участь громадян[9].

3. **Сінгапур** - мегаполіс із розвинутою системою вертикального озеленення, інтеграції природних екосистем у міське планування, утилізації відходів з виробленням електроенергії.

4. **Ванкувер (Канада)** - став першим північно-американським містом, яке ухвалило «Зелений план дій», спрямований на повний перехід до відновлюваної енергії та розвиток громадського транспорту.

5. **Masdar City (OAE)** - місто з нульовими викидами (план), працює на сонячній енергії. Відсутність приватного транспорту - лише електромобілі та автономні капсули. Однак, реалізація стикається з труднощами: повільний темп забудови, переосмислення концепції через економічні виклики.

6. **Сондо (Південна Корея)** - Smart-місто з автоматизованими системами збору сміття, управління водою, цифровим контролем ресурсів. Значна частка парків, велодоріжок, підключені освітні та медичні установи.

7. **Куритіба (Бразилія)** - один із перших прикладів міста, що планується під екологічну ефективність. Знаменита система BusRapidTransit, що зробила громадський транспорт доступним і популярним. 52 м² зелених зон на людину (світовий рекорд).

8. **Мальме (Швеція)** - реновація старих промзон у «зелені» квартали, зразкове управління водними ресурсами, інфраструктура для сортування сміття. В районі WesternHarbour- 100% енергії з відновлюваних джерел.

Переваги еко-міст

- Покращення якості повітря, води та міського мікроклімату.
- Зниження захворюваності, пов'язаної з екологічними чинниками.
- Економія енергоресурсів та зменшення витрат населення.
- Підвищення інвестиційної привабливості міста.
- Зростання екологічної свідомості населення.
- Посилення соціальної згуртованості.

Екоміста відкривають нові можливості для сталого розвитку та підвищення якості життя. Водночас, щоб ці переваги стали реальністю,

необхідно врахувати низку викликів і ризиків. Розглянемо їх детальніше (з урахуванням українських реалій):

1. Фінансові та економічні:

- Висока вартість інноваційних технологій: зелені дахи, сонячні панелі, системи моніторингу потребують значних інвестицій.
- Обмежені бюджети громад: після війни більшість коштів спрямовуються на базову інфраструктуру, а не на екологічні інновації.
- Залежність від донорів: без зовнішньої підтримки багато проєктів можуть залишитися нереалізованими.

2. Політичні та інституційні:

- Неузгодженість політик: відсутність єдиної державної стратегії сталого розвитку міст.
- Бюрократія та корупція: ризик, що кошти на «зелені» проєкти будуть використані неефективно.
- Низька компетентність місцевих органів влади: чиновники часто не мають знань у сфері урбоекології.

3. Соціальні та культурні:

- Спротив змінам: мешканці звикли до автомобілів, одноразового пластику, неготові до нових практик.
- Нерівність доступу: екологічні рішення можуть бути доступні лише для заможних верств населення.
- Брак екологічної освіти: без просвітницьких програм люди не розумітимуть цінності екоміст.

4. Технічні та інфраструктурні:

- Зруйнована інфраструктура: після війни потрібно відновлювати базові системи (вода, тепло, транспорт), що ускладнює інтеграцію «зелених» рішень.
- Відсутність локальних виробників: більшість технологій доведеться імпортувати, що збільшує витрати.

- Складність інтеграції старих будівель: модернізація радянських багатоповерхівок потребує великих ресурсів.

5. Екологічні та природні:

- Забруднені території: руйнування промислових об'єктів залишає токсичні сліди у ґрунтах і воді.
- Кліматичні зміни: екстремальні погодні явища можуть зруйнувати зелену інфраструктуру.
- Втрати біорізноманіття: відновлення екосистем потребує часу й спеціальних програм.

6. Управлінські та моніторингові:

- Відсутність системи оцінки ефективності: без чітких індикаторів складно виміряти успіх.
- Недостатня прозорість: громада може не довіряти владі, якщо дані не публікуються.
- Ризик формалізації: концепції залишаються «на папері», без реального впровадження.

1.3. Вуглецевий слід міського середовища: джерела, індикатори, вплив

Вуглецевий слід (carbonfootprint) - це сукупність прямих та непрямих викидів парникових газів (ПГ), що виникають у результаті діяльності окремої особи, організації, продукту або, в нашому випадку, міста.

У контексті урбаністичного середовища, вуглецевий слід - це загальний обсяг ПГ, який утворюється через функціонування міської інфраструктури, транспорту, промисловості, житлового сектору, поводження з відходами та споживання ресурсів[7].

Парникові гази, щовраховуються у розрахунках, включають:

- **Діоксид вуглецю (CO₂)** - основний компонент, щовиникає при спалюванні викопного палива;

- **Метан (CH_4)** - утворюється при розкладанні органічних відходів;
- **Закис азоту (N_2O)** - утворюється у результаті сільськогосподарської діяльності та спалювання палива;
- **Гідрофтор вуглеці (HFCs)** - використовуються в холодильниках, кондиціонерах;
- Інші ПГ з високим потенціалом глобального потепління.

Щоб порівняти вплив різних газів, усі вони переводяться у **CO_2 -еквіваленти (CO_2e)**-одиницю виміру вуглецевого сліду.

Викиди ПГ у міському середовищі мають різноманітне походження. Основні джерела включають:

1. Транспорт

- Основне джерело CO_2 в містах.
- Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння - основний
- Також: вантажні перевезення, таксі, авіасполучення.
- Викиди посилюються заторами, старим автопарком, відсутністю громадського транспорту.

2. Енергетика

- Виробництво електроенергії та тепла з викопного палива.
- Погано термомодернізовані будинки вимагають більше енергії.
- Вугільна енергетика залишається основним джерелом CO_2 в багатьох країнах.

3. Житловий сектор

- Опалення, охолодження, освітлення, електроприлади.
- Великий вуглецевий слід мають будівлі з низькою енергоефективністю.
- Викиди зростають при неправильному проектуванні та забудові [18].

4. Промисловість

- Залежно від структури міської економіки - металургія, хімічна промисловість, виробництво цементу тощо.
- Часто концентрується у промзонах без належної екологічної модернізації.

5. Відходи

- Сміттєзвалища-джерела метану.
- Спалювання відходів без фільтрації-джерело CO₂ та токсичних речовин.
- Відсутність сортування поглиблює проблему [20].

6. Споживання (непрямі викиди)

- Викиди, пов'язані з виробництвом товарів, що споживаються у місті (одяг, їжа, техніка).
- Часто «приховані» викиди, такі як (чадний газ (CO), оксиди азоту (NO_x), леткі органічні сполуки (ЛОС, як бензол, формальдегід, толуол), тверді частинки (PM_{2.5}, PM₁₀, сажа), сірчисті сполуки (SO_x), важкі метали та аміак) - невраховуються у стандартних методиках

Оцінка вуглецевого сліду міста є складним процесом, який базується на стандартизованих методиках. Найпоширеніші з них:

1. Протокол GHG (Greenhouse Gas Protocol)

- Створений WRI та WBCSD;
- Визначає три «сфери» викидів:
 - Рівень 1 – прямі викиди в межах міста;
 - Рівень 2 – непрямі викиди від споживання електроенергії та тепла;
 - Рівень 3 - інші непрямі викиди (виробництво товарів, поїздки мешканців тощо).

2. ISO 14064 - міжнародний стандарт обліку викидів.

3. ICLEI's HEAT+ - платформа для оцінки вуглецевого балансу муніципалітетів [6].

4. Carbon Disclosure Project (CDP) - глобальна база даних, куди міста звітують про свої викиди [10].

5. PAS 2070 (Британія) - стандарт оцінки викидів на рівні міста (наприклад, використовується в Лондоні).

Зростання вуглецевого навантаження має багатовимірні негативні наслідки:

- **Кліматичні:** глобальне потепління, зростання кількості екстремальних погодних явищ (повені, спека, посухи).
- **Екологічні:** погіршення якості повітря, кислотні дощі, зниження біорізноманіття.
- **Соціальні:** зростання захворюваності (астма, хвороби серця), нерівність у доступі до екологічних благ.
- **Економічні:** збільшення витрат на охорону здоров'я, ремонт інфраструктури, страхування, втрати через простоїв наслідок надзвичайних ситуацій.
- **Політичні:** тиск на органи місцевого самоврядування щодо підзвітності, потреба в екологічних реформах.

Таблиця 1. 4

Приклади викидів ПГ у містах

Місто	Рік	Викиди (тонн CO ₂ e на душу населення)	Джерело	Примітки для аналізу
Нью-Йорк	2023	≈ 6,2	2023 (NYC.gov)	Основне джерело-будівлі (опалення).
Лондон	2022	≈ 3,9	2022 (GLA)	Лідер зі зниження. Знизив викиди на 52% з 1990 р.
Сінгапур	2022	≈ 7,9	2022 (Carbon Monitor)	Високі викиди через промисловість та кондиціонування.
Париж	2021	≈ 3,8	2021 (C40/Paris)	Акцент на «15-хвилинне місто» та велоінфраструктуру
Копенгаген	2023	≈ 1,6	2023 (CPH)	Одне з найнижчих значень (велика частка вітроенергетики).

Джерело: складено автором за даними [13,14]

Світові тенденції свідчать про необхідність декарбонізації міст. Це передбачає:

- Перехід до відновлюваних джерел енергії;
- Розвиток громадського та електричного транспорту;

- Термомодернізацію будівель;
- Розумне міське планування;
- Цифрові платформи для моніторингу викидів (smartcity).

Міста стають не лише об'єктами політики, а й активними її суб'єктами-членами міжнародних мереж на кшталт C40, ICLEI, CarbonNeutralCities Alliance, тощо [13,15].

Сталий розвиток урбанізованих територій давно став пріоритетом світового порядку денного, оскільки понад половина населення світу мешкає в містах, як і водночас є основними джерелами викидів парникових газів. У відповідь на виклики кліматичних змін, надмірного споживання ресурсів та соціальної нерівності, було розроблено низку глобальних ініціатив і стратегічних документів, які задають вектор для впровадження екологічно орієнтованої міської політики.

Порядок денний ООН у сфері сталого розвитку до 2030 року (Agenda 2030). Документ передбачає 17 Цілей сталого розвитку (ЦСР), серед яких **ЦСР 11** («Зробити міста безпечними, стійкими, інклюзивними та сталими») є центральною у контексті урбанізації. Основні завдання цієї цілі включають:

- забезпечення доступного житла та базових послуг,
- розвиток сталої транспортної інфраструктури,
- мінімізацію екологічного впливу міст (особливо як джерел викидів CO₂),
- посилення міст до стійкості перед надзвичайними ситуаціями.

ЦСР надає орієнтири для урядів, муніципалітетів та громад щодо розробки сталих політик і заходів.

Нова урбаністична програма (New Urban Agenda, 2016).

Прийнята під егідою ООН на конференції НАВІТАТ III, програма є дорожньою картою трансформації міст. Вона акцентує:

- інтегроване просторове планування,
- участь громадян у прийнятті рішень,
- збереження природного середовища в межах міських територій,
- розвиток сталого житла, транспорту, енергії.

Цей документ є основою для розробки концепції еко-міст як практичного інструменту досягнення сталого розвитку.

Європейський «Зелений курс» (EU Green Deal)

Цестратегія ЄС для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, яка прямо стосується міст.

Передбачає:

- повний перехід на відновлювану енергетику,
- розвиток «зеленого» транспорту,
- модернізацію будівель із фокусом на енергоефективність,
- підтримку циркулярної економіки в містах.

Окрем ініціативи, такі як **Місія ЄС «100 кліматично нейтральних міст до 2030 року»**, активно просувають створення еко-міст на практиці.

C40 Cities та ICLEI

- **C40 Cities** - глобальна мережа великих міст, які зобов'язалися досягти вуглецевої нейтральності. Працює над інтеграцією інновацій у сфері міського транспорту, будівництва, енергетики.
- **ICLEI - Local Governments for Sustainability** - мережа муніципалітетів, що просуває локальні дії зі сталого розвитку, обмін знаннями, впровадження екологічних ініціатив на місцях.

Висновки до Розділу 1

Сталий розвиток у сучасному світі є ключовою парадигмою екологічної політики та глобальної стратегії виживання людства. Його сутність полягає у гармонійному поєднанні економічних, соціальних та екологічних аспектів розвитку, що дозволяє задовольняти потреби нинішніх поколінь без загрози для майбутніх. У міському контексті ця концепція набуває особливої актуальності, адже саме міста є головними споживачами ресурсів і джерелами парникових викидів, концентруючи більшість населення та економічної активності. Урбанізація створює як нові можливості для розвитку, так і серйозні екологічні виклики, що потребують комплексного управління всіма сферами міського життя — від транспорту та енергетики до зелених зон і поводження з відходами [2,26].

У відповідь на ці виклики формується концепція еко-міст, які інтегрують принципи сталого розвитку безпосередньо у структуру та функціонування урбаністичних просторів. Еко-місто — це не лише архітектурна чи технологічна модель, а цілісна система управління, що поєднує природні екосистеми, інноваційні технології, соціальну інклюзивність та активну участь громади. Його головна мета полягає у забезпеченні високої якості життя мешканців при мінімальному екологічному сліді.

Міжнародний досвід показує, що існують різні типи еко-міст, які реалізуються залежно від місцевого контексту та пріоритетів: зелені, енергоефективні, екомобільні, смарт-екологічні, кліматично-адаптивні та соціально-екологічні. Вони відрізняються акцентами, але часто поєднуються у практиці. Приклади Копенгагена, Фрайбурга, Сінгапура, Ванкувера, MasdarCity, Сондо, Куритіби та Мальме демонструють різноманітність моделей і підтверджують ефективність еко-урбанізму у зменшенні

вуглецевого сліду, розвитку зеленої інфраструктури та підвищенні якості життя населення [32].

Переваги еко-міст є очевидними: покращення стану довкілля, зниження рівня захворюваності, економія ресурсів, зростання інвестиційної привабливості, формування екологічної свідомості та посилення соціальної згуртованості. Водночас, їхня реалізація супроводжується низкою викликів і ризиків — фінансових, політичних, соціальних, технічних та екологічних. Висока вартість інноваційних технологій, обмежені бюджети громад, бюрократичні бар'єри, низька компетентність управлінців, а також забруднені території та кліматичні зміни можуть суттєво ускладнити процес впровадження. Саме тому успішність еко-міст залежить від здатності враховувати ці ризики та знаходити шляхи їх мінімізації.

Для України, яка перебуває у процесі післявоєнної реконструкції, концепція еко-міст має стратегічне значення. Відновлення зруйнованих територій повинно відбуватися не за старими індустріальними моделями, а на принципах сталого розвитку. Це означає створення енергоефективної інфраструктури, використання екологічних будівельних матеріалів, розвиток чистого транспорту, інтеграцію зелених зон та активне залучення громадян до процесів планування. Особливо актуальним є поєднання кількох типів еко-міст — енергоефективності, кліматичної адаптації та соціальної інтеграції, що дозволить не лише відновити зруйновані міста, а й закласти основу для довгострокового сталого розвитку та підвищення якості життя населення.

Таким чином, еко-міста постають не утопічною ідеєю, а реальним інструментом вирішення глобальних і локальних екологічних викликів. Вони здатні стати базовою моделлю відновлення українських міст у XXI столітті, поєднуючи екологічну стійкість, соціальну справедливість та економічну ефективність [17,36].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ПРАКТИК РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ЕКО-МІСТ У СВІТІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ АДАПТАЦІЇ В УКРАЇНІ

2.1. Глобальні тенденції трансформації урбаністичних систем: від теоретичних моделей до стратегій кліматичної нейтральності

Сучасний етап урбаністичного розвитку характеризується глибокими структурними змінами, спричиненими комплексом глобальних факторів, серед яких домінують кліматичні виклики, енергетична криза та деградація міського середовища. У цих умовах концепція екоурбанізму трансформується з теоретичної моделі на безальтернативний напрям формування нової якості життя, орієнтованої на екологічну безпеку та економічну стійкість. Згідно з даними ООН, представленими у звіті *WorldUrbanizationProspects* (2023), понад 57% населення світу вже проживає у містах, а до 2050 року ця частка зросте до 68% [33]. Цей демографічний зсув створює колосальне навантаження на екосистеми, оскільки саме урбаністичні території споживають понад 75% світових енергоресурсів та генерують понад 70% викидів парникових газів, фактично визначаючи успіх або провал глобальної кліматичної політики [27].

Аналіз еволюції еко-міст дозволяє стверджувати, що у ХХІ столітті цей напрям перетворився на інтеграційну парадигму, яка базується на кількох взаємопов'язаних тенденціях. Першою і визначальною тенденцією є глобальний курс на декарбонізацію та енергоефективність. Провідні мегаполіси світу інтегрують у свої стратегії амбітні цілі щодо досягнення повної кліматичної нейтральності. Яскравим прикладом є Копенгаген, який планував досягти нульового вуглецевого балансу до 2025 року, та Гельсінкі - до 2035 року[34]. Реалізація цих планів відбувається шляхом масштабного переходу на відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова та

геотермальна, а також через впровадження систем «розумного» енергоменеджменту та стандартів енергоефективного будівництва. Але треба зазначити, що Копенгаген не зміг повністю досягти нульового вуглецевого балансу у 2025 році. Місто скоротило викиди приблизно на 80% від рівня 2009 року, але ціль «carbonneutral» довелося переосмислити. Замість цього Копенгаген ухвалив нову стратегію — стати *кліматично позитивним* до 2035 року. Не вдалося Копенгагену досягти 0% через те, що:

- частина викидів залишилася у транспортному секторі та будівництві.
- економічні та технологічні обмеження не дозволили повністю замінити викопне паливо.
- зростання населення та економіки створює додаткове навантаження.

Паралельно з енергетичною трансформацією відбувається докорінна зміна транспортної парадигми. Оскільки транспортний сектор залишається найбільшим джерелом викидів CO₂, сучасні екостратегії передбачають відхід від автомобілецентризму на користь розвитку громадського транспорту, електромобільності та велосипедної інфраструктури. Міста, такі як Амстердам і Копенгаген, стали символами "велосипедної революції", тоді як Осло у 2019 році створив прецедент, повністю заклавши свій історичний центр для приватних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння.

Важливою складовою сучасного еко-урбанізму є розвиток зеленої інфраструктури та природоорієнтованих рішень (*nature-based solutions*). Концепції блакитно-зеленої інфраструктури, що реалізуються у Сінгапурі, Мельбурні та Відні, передбачають активну інтеграцію природних екосистем у структуру міста через створення екокоридорів, зелених фасадів та міських лісів, що не лише покращує мікроклімат, а й підвищує стійкість міст до екстремальних погодних явищ. Крім того, спостерігається перехід до моделі циркулярної економіки, де продукти та матеріали циркулюють у замкненому циклі, мінімізуючи утворення відходів. Прикладом такої політики є Токіо, де рівень переробки та утилізації відходів сягає 99%.

Завершує цей комплекс тенденцій цифровізація управління міським господарством. Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) та аналізу великих даних (*BigData*) дозволяє оптимізувати використання ресурсів у реальному часі, як це реалізовано у "розумному місті" Сонгдо[9]. Географічно ці тенденції диференціюються: Європа фокусується на кліматичній нейтральності, Азія - на технологічних рішеннях, а Північна Америка - на громадській участі та циркулярній економіці. Таким чином, розвиток еко-міст є результатом комплексного підходу, де екологічна ефективність поєднується з інноваціями та гуманістичними цінностями, створюючи базу для адаптації цих моделей в Україні.

Модель кліматичної нейтральності (Копенгаген, Фрайбург)

Енергетична модель: симбіоз технологій та рекреації. Основою енергетичної безпеки Копенгагена є унікальна система централізованого теплопостачання (*DistrictHeating*), яка охоплює 98% житлового фонду міста[29]. Це одна з найстаріших і найефективніших мереж у світі, яка дозволяє використовувати тепло, що раніше втрачалось при виробництві електроенергії. Головним елементом системи генерації є перехід від викопного палива (вугілля, нафта) до відновлюваних джерел - біомаси, вітрової енергії та енергетичної утилізації відходів. Знаковим інфраструктурним об'єктом, що втілює цей підхід, став сміттєспалювальний завод *AmagerBakke* (*Copenhill*). Цей високотехнологічний комплекс переробляє до 400 тис. тонн відходів щорічно, забезпечуючи теплом 60 тис. домогосподарств та електроенергією ще 30 тис. споживачів. Унікальність *AmagerBakke* полягає в його архітектурно-соціальній концепції. Замість того, щоб приховати промисловий об'єкт, архітектори *BjarkeIngelsGroup* перетворили його на центр міської рекреації: на похилому даху заводу облаштовано всесезонну гірськолижну трасу, бігові доріжки та найвищу в світі штучну стіну для скелелазіння. Цей кейс є революційним прикладом того, як інфраструктура поводження з відходами може бути інтегрована в публічний простір міста, підвищуючи якість життя мешканців.

Транспортна парадигма «CycleFirst» Транспортна політика Копенгагена базується на пріоритеті активної мобільності. Місто спроектоване таким чином, що велосипед є найшвидшим та найзручнішим видом транспорту для поїздок на відстані до 10 км. Згідно з даними муніципальної статистики:

- 49% усіх поїздок на роботу чи навчання здійснюються на велосипеді.
- Мережа велодоріжок перевищує 400 км і є фізично відокремленою від проїжджої частини, що гарантує безпеку користувачів.
- Інфраструктура включає «зелені хвилі» світлофорів для велосипедистів, скошені урни для сміття (щоб викидати на ходу) та підніжки на перехрестях. Паралельно місто розвиває систему громадського транспорту, що включає повністю автоматизоване метро (яке працює цілодобово), мережу електричних річкових трамваїв та перехід автобусного парку на електрику та водень. Це дозволило знизити рівень автомобілізації до 20%, що є одним із найнижчих показників у Європі.

Фрайбург-ім-Брайсгау (земля Баден-Вюртемберг) представляє собою унікальну модель «громадянського еко-урбанізму», де рушійною силою змін виступила не директива «згори», а низова ініціатива мешканців. Історія екологічної трансформації міста почалася у 1970-х роках із масових протестів проти будівництва атомної електростанції, що трансформувалися у конструктивний рух за альтернативну енергетику.

Енергетична децентралізація та «сонячна архітектура». Фрайбург отримав неофіційний титул «сонячної столиці Європи» завдяки системному використанню фотоелектричних технологій. Кліматична стратегія міста базується на трьох принципах: енергозбереження, енергоефективність та використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ключовою особливістю є модель власності: значна частина генеруючих потужностей належить не великим корпораціям, а самим мешканцям через механізм енергетичних кооперативів. Громадяни інвестують у встановлення сонячних панелей на дахах шкіл, стадіонів та муніципальних будівель, отримуючи прибуток від

генерації («зелений тариф»). Станом на 2023 рік, загальна потужність сонячних установок перевищує 15 МВт, а понад 50% електроенергії в місті генерується з ВДЕ.

Урбаністичний експеримент: Район Ваубан (Vauban) Найбільш показовим прикладом сталого планування є район Ваубан, збудований на місці колишньої французької військової бази. Цей район, де проживає близько 5500 мешканців, став всесвітньо відомою лабораторією еко-життя. Основні характеристики району:

Стандарт пасивного будинку: Усі будівлі спроектовані таким чином, щоб споживання теплової енергії не перевищувало 15 кВт·год/м² на рік. Більше того, частина забудови складається з будинків «плюс-енергії», які виробляють більше енергії, ніж споживають, віддаючи надлишок у загальну мережу.

Концепція «Car-freeliving»: У житлових кварталах району відсутні паркувальні місця біля будинків. Власники автомобілів зобов'язані купувати дороге місце у спеціальному гаражі на периферії району. Це стимулює відмову від приватного транспорту: рівень автомобілізації тут становить менше 170 авто на 1000 мешканців (у середньому по Німеччині - понад 500).

Соціальна інфраструктура: Планування району здійснювалося за активної участі майбутніх мешканців через форум *ForumVauban*. Це забезпечило високий рівень соціальної згуртованості та відповідальності за спільний простір.

Транспортна інтеграція Успіх транспортної моделі Фрайбурга базується на розгалуженій трамвайній мережі, яка розглядається як «хребет» міського розвитку. Принцип планування полягає в тому, що жоден новий район не заселяється доти, доки до нього не буде прокладена трамвайна лінія. Запровадження єдиного «Екологічного квитка» (*RegioKarte*), що діє на всі види транспорту в регіоні, призвело до того, що понад 70% пересувань у місті здійснюються без використання автомобіля.

покривається саме за рахунок рециклінгу стічних вод, що робить систему надзвичайно стійкою до кліматичних змін та посух.

Особливої уваги заслуговує підхід Сінгапура до формування зеленого каркасу в умовах надщільної забудови. Законодавче регулювання зобов'язує забудовників компенсувати будь-яку втрату природного ландшафту створенням еквівалентних зелених зон на конструктивних елементах будівель, що призвело до того, що нині понад 47% території міста вкрито зеленими насадженнями. Візитівкою цього підходу став футуристичний парк *GardensbytheBay*, де розташовані конструкції «Супердерев» (*Supertrees*) - вертикальні споруди висотою до 50 метрів, які виконують мультифункціональну роль: вони слугують вертикальними садами, збирають дощову воду для поливу та генерують сонячну енергію для нічного освітлення.

У сфері архітектури місто активно впроваджує стандарти зеленого будівництва *BCA GreenMark*, стимулюючи девелоперів через систему податкових пільг та грантів. Яскравим прикладом реалізації цих стандартів є готель *Parkroyal on Pickering*, де площа зелених терас та садів удвічі перевищує площу самої забудови, створюючи власний мікроклімат та знижуючи енерговитрати на кондиціонування. Паралельно Сінгапур розвиває концепцію «Розумної нації» (*SmartNation*), використовуючи цифрові сенсори та Інтернет речей (IoT) для моніторингу енергоспоживання в реальному часі, що дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу в громадських будівлях на 10–15%.

Транспортна політика міста спрямована на жорстке обмеження використання приватних автомобілів через систему ліцензування та електронну плату за в'їзд у центр (ERP). Натомість пріоритет надається розвитку автоматизованого рейкового транспорту (MRT) та створенню інтегрованих пішохідних зон, що дозволило зменшити викиди CO₂ на душу населення на 30% протягом останніх двох десятиліть.

Канадський досвід, репрезентований містом Ванкувер, демонструє ефективність північноамериканської моделі еко-урбанізму, де принципи сталого розвитку інтегровані в економічну стратегію та базуються на активній участі громадянського суспільства. У 2011 році муніципалітет затвердив амбітний план дій *GreenestCityActionPlan* (GCAP), який поставив за мету перетворення Ванкувера на найзеленіше місто світу шляхом повної декарбонізації міського середовища до 2050 року [32, 41]. Унікальність ванкуверської моделі полягає в тому, що екологічні ініціативи розглядаються як драйвер економічного зростання: сектор «зеленої економіки» вже створив понад 25 тисяч робочих місць, а стартапи у сфері кліматичних технологій забезпечують мільярдні обіги, доводячи, що екологія може бути прибутковою.

Енергетичний профіль міста характеризується надзвичайно високою часткою відновлюваних джерел. Завдяки ефективному використанню гідроенергетичного потенціалу провінції Британська Колумбія, близько 95% електроенергії у місті виробляється з відновлюваних джерел. Стратегія *RenewableCityStrategy*, що діє з 2016 року, спрямована на повний перехід усіх секторів, включаючи опалення та транспорт, на відновлювану енергію. Важливим елементом цієї системи є розвиток районних теплових мереж, що працюють на альтернативному паливі, зокрема, система *False Creek Energy Centre* успішно використовує теплову енергію, рекуперовану з каналізаційних стоків, для опалення житлових кварталів. Результатом послідовної енергетичної політики стало скорочення споживання енергії у житловому секторі на 23% навіть на тлі зростання чисельності населення.

Одним із найбільш значущих досягнень Ванкувера є реалізація концепції циркулярної економіки через стратегію *Zero Waste 2040*. Місто відмовилося від традиційного захоронення сміття на користь замкненого циклу використання ресурсів. Станом на 2023 рік показники ефективності цієї системи є одними з найвищих на континенті: 60% побутових відходів переробляються або компостуються, а обсяг сміття, що потрапляє на

полігони, становить менше 250 кг на особу на рік, що значно менше середньоканадського показника. Це досягається завдяки розгалуженій інфраструктурі сортувальних станцій, центрів повторного використання (*ReuseCentres*) та жорстким законодавчим обмеженням на використання одноразового пластику [35].

У сфері містобудування Ванкувер дотримується принципів компактного міста (*CompactCity*) та транзитно-орієнтованого розвитку (TOD), що передбачає ущільнення забудови навколо транспортних вузлів. Нові будівельні норми, зокрема *Zero Emissions Building Plan*, вимагають від забудовників проектування об'єктів, які не продукують парникових газів під час експлуатації, що супроводжується активним впровадженням зелених дахів та систем збору дощової води. Транспортна стратегія міста ставить за мету забезпечення здійснення не менше двох третин усіх поїздок пішки, велосипедом або громадським транспортом, і вже сьогодні 56% переміщень у місті відбувається без використання приватного автомобіля.

Соціально-орієнтовані та просторові моделі (Куритіба, Париж, Барселона).

Сучасний етап розвитку світової урбаністики характеризується зміщенням фокусу з суто технологічних рішень на глибоке переосмислення просторової організації міського життя. Провідні європейські міста впроваджують концепції, спрямовані на децентралізацію сервісів, повернення вуличного простору пішоходам та створення самодостатніх громад.

Париж під керівництвом Анн Ідальго активно імплементує концепцію «15-хвилинного міста» (*Villeduquartd'heure*), розроблену професором Карлосом Морено. Суть цієї моделі полягає у трансформації моноцентричного мегаполіса в поліцентричну структуру, де всі життєво необхідні функції - робота, освіта, медицина, магазини та дозвілля - знаходяться в межах 15-хвилинної доступності пішки або на велосипеді від місця проживання [12].

Реалізація стратегії передбачає масштабну декарбонізацію мобільності: місто планує розширити мережу велодоріжок до 1000 км та повністю заборонити дизельні автомобілі до 2030 року, що вже призвело до зменшення автомобільного трафіку в центрі на 30%.

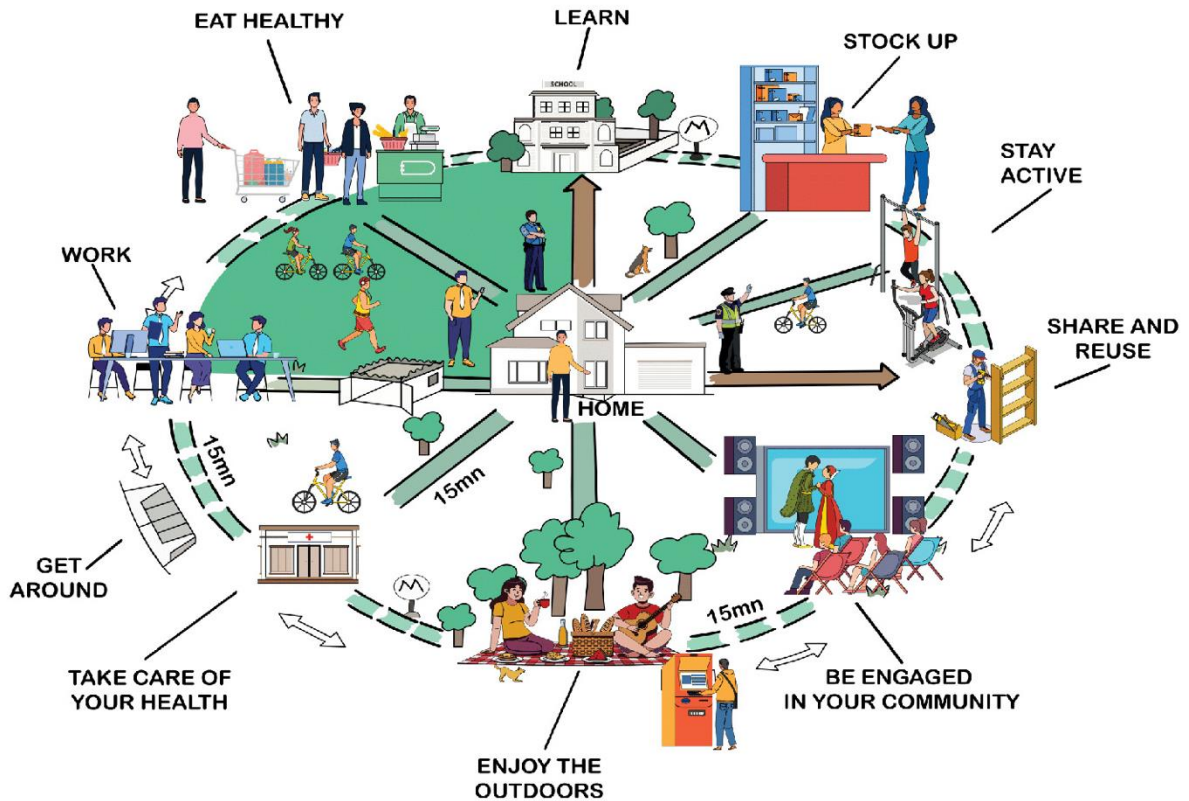


Рис.2.2 Ілюстрація моделі «15-хвилинне місто»

Така децентралізація не лише зменшує навантаження на транспортну систему, але й сприяє відродженню локальних спільнот та малого бізнесу.

Барселона пропонує інноваційне рішення проблеми перенасиченості транспортом через впровадження системи «суперкварталів» (*Superblocks*) [42]. Ця модель передбачає об'єднання групи з дев'яти кварталів у єдиний кластер, всередині якого рух транзитного транспорту заборонено, а швидкість обмежена до 10 км/год, що фактично повертає вулиці пішоходам. Звільнений простір трансформується у «вуличні кімнати» - публічні зони для спілкування, ігор та культурних подій, що сприяє соціальній інтеграції. Екологічний ефект від впровадження суперкварталів є значним: у пілотних районах зафіксовано покращення якості повітря на 33%, зниження шумового

забруднення на 25% та трикратне зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод.

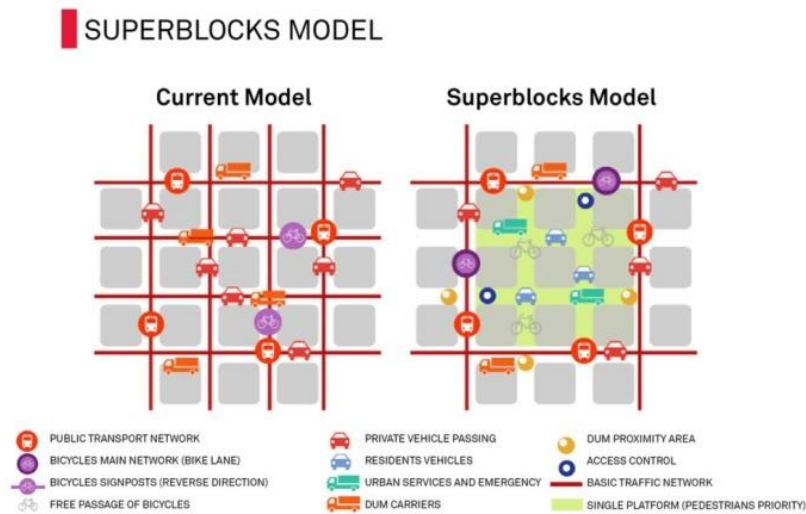


Рис. 2.3. Ілюстрація міської моделі «суперкварталів»

Стокгольм розвиває модель інтегрованих еко-районів, що функціонують як лабораторії сталого розвитку. Район *HammarbySjöstad*, збудований на місці колишньої промзони, демонструє ефективність замкненого метаболізму міського середовища (*HammarbyModel*). Система базується на синергії інфраструктурних мереж: очищені стічні води використовуються для виробництва біогазу, який живить міський транспорт та кухонні плити, а теплова енергія стоків повертається у систему централізованого опалення. Район *NorraDjurgårdsstaden* йде ще далі, впроваджуючи технології «розумних мереж» та систему підземного вакуумного збору сміття, що дозволяє повністю відмовитися від сміттєвозів у житловій зоні та досягти повної переробки відходів [37].

Узагальнюючи досвід цих міст, можна виділити спільний знаменник новітнього екоурбанізму: перехід від адаптації міста під потреби автомобіля до пріоритету людського масштабу, соціальної взаємодії та екологічної рівноваги. Ці моделі доводять, що сталий розвиток - це не лише інженерне завдання, а й питання зміни культури споживання простору та часу в місті.

Для системного узагальнення переваг, ризиків та перспектив реалізації концепції еко-міст доцільно застосувати методологію SWOT-аналізу. Цей інструмент дозволяє оцінити внутрішні сильні та слабкі сторони моделі, а також зовнішні можливості та загрози, що впливають на її ефективність у глобальному та національному контексті. Нижче наведено структурований SWOT-аналіз, сформований на основі міжнародного досвіду та актуальних викликів, з якими стикаються українські громади у процесі екологічної трансформації.

Таблиця 2.1.

SWOT-аналіз концепції еко-міст на основі міжнародного досвіду

S — Strengths (Сильні сторони)	W — Weaknesses (Слабкі сторони)
• Зниження вуглецевого сліду (ВДЕ, енергоефективність, чистий транспорт). • Покращення якості життя: чисте повітря, вода, зелені зони. • Соціальна згуртованість і залучення громади до рішень. • Інвестиційна привабливість для бізнесу та туризму. • Інноваційність: інтеграція цифрових технологій у міське управління.	• Висока вартість впровадження інноваційних технологій. • Обмежені бюджети громад (особливо у післявоєнний період). • Недостатня компетентність управлінців у сфері урбоекології. • Ризики бюрократії та корупції при реалізації проєктів. • Низький рівень екологічної свідомості частини населення.
O — Opportunities (Можливості)	T — Threats (Загрози)
• Після воєнна відбудова: шанс інтегрувати стандарти «з нуля». • Міжнародна фінансова підтримка (ЄС, ООН, гранти). • Розвиток «зеленої економіки» та створення робочих місць. • Використання потенціалу ВДЕ (сонце, вітер, біомаса). • Зростання ролі громадянсько-господарства у плануванні.	• Економічна нестабільність та пріоритет «базових» потреб. • Кліматичні зміни: посухи, підтоплення, екстремальні температури. • Військові ризики та загроза руйнування інфраструктури. • Залежність від зовнішніх донорів (ризик зупинки проєктів). • Опір змінам через консервативні звички суспільства.

Як видно з матриці, сильні сторони та можливості взаємно підсилюють одна одну: міжнародна підтримка може компенсувати фінансові слабкості, а післявоєнна відбудова дає шанс інтегрувати інновації «з нуля». Водночас слабкі сторони та загрози концентруються навколо фінансів, управління та соціальної готовності, що вимагає підвищення компетентності місцевих

органів влади та екологічної освіти населення. Міжнародний досвід дає Україні орієнтири для відбудови. Для України даний SWOT-аналіз показує, що найбільш перспективний шлях — це поєднання енергоефективності, кліматичної адаптації та соціальної інтеграції у відбудові міст.

Важливо відзначити, що Україна також формує власне бачення екологічної трансформації міст. У 2022 році на конференції в Лугано було презентовано План відновлення України, який передбачає інтеграцію принципів «зеленого курсу» ЄС у процес післявоєнної відбудови. Документ включає напрями розвитку відновлюваної енергетики, управління відходами, циркулярної економіки та екологічної безпеки. Таким чином, Україна вже закладає стратегічні основи для створення еко-міст, що узгоджуються з міжнародними моделями [25].

План Лугано відображає ключові глобальні тенденції, які реалізуються у провідних еко-містах світу. Зокрема, він передбачає енергетичну трансформацію через поступовий перехід від викопного палива до відновлюваних джерел енергії та розвиток децентралізованих систем постачання. Важливим напрямом є циркулярна економіка, що передбачає сучасні системи переробки та повторного використання ресурсів, а також зменшення залежності від полігонів. У документі закладено блок **екологічної безпеки**, який включає понад сімдесят природоохоронних проєктів із бюджетом понад 25 млрд євро, спрямованих на відновлення довкілля та адаптацію до кліматичних змін.

Важливим акцентом Плану є міжнародна підтримка: його презентували за участі понад 50 країн та 20 міжнародних організацій, що свідчить про готовність світової спільноти фінансувати та підтримувати «зелену» відбудову України. Це створює можливості для залучення інвестицій, технологій та експертизи, необхідних для формування сучасних еко-міст.

Водночас екологічні організації (WWF, «Екодія») відзначали, що екологічна складова Плану потребує більшої деталізації та конкретних механізмів реалізації. Це підкреслює, що міжнародні орієнтири вже

закладені, але їхня практична реалізація залежить від активної участі українських громад і місцевих органів влади.

Отже, План Відновлення України можна розглядати як стратегічний місток між міжнародними моделями еко-міст та українською практикою. Він задає рамку для адаптації глобального досвіду, але водночас окреслює виклики, які необхідно подолати для ефективної реалізації концепції еко-міст в Україні.

2.2. Порівняльний аналіз ефективності моделей екоміст

Для об'єктивізації оцінки світових практик та уникнення виключно описового підходу, у дослідженні застосовано метод компаративного аналізу за ключовими кількісними показниками. Для порівняння ефективності транспортних систем нами розраховано **Коефіцієнт сталої мобільності ($K_{ст}$)**, який відображає частку переміщень, здійснених екологічно нейтральними видами транспорту (громадський транспорт, велосипед, піші прогулянки), і визначається як сума часток відповідних видів переміщень у загальній структурі мобільності. Аналіз базується на статистичних даних, наведених у муніципальних звітах досліджуваних міст.

Для оцінки ефективності транспортних систем нами введено розрахунковий Коефіцієнт сталої мобільності ($K_{ст}$). Цей показник відображає частку переміщень, здійснених екологічно нейтральними способами, і розраховується за формулою:

$$K_{sm} = \frac{P_{гр} + P_{п} + P_{в}}{100}$$

де:

- $P_{гр}$ - частка переміщень громадським транспортом (%);
- $P_{в}$ - частка переміщень велосипедом (%);
- $P_{п}$ - частка піших переміщень (%).

Також проаналізовано Індекс енергетичної незалежності Іен (частка ВДЕ в енергобалансі) та Коефіцієнт циркулярності (Кц (відсоток перероблених відходів)).

На основі опрацьованих статистичних звітів муніципалітетів сформовано зведену аналітичну матрицю.

Таблиця 2.2

Порівняльна матриця ефективності еко-моделей

Місто-модель	Коефіцієнт сталої мобільності (Ksm)	Рівень циркулярності відходів (Rсус), %	Зниження викидів CO ₂ (Dco ₂), %	Ключовий драйвер ефективності
Копенгаген	0,80 (49% вело + 30% ГТ)	>60 (енергетична утилізація)	-80% (до рівня 2005 р.)	Інтеграція велотранспорту та когенерації
Фрайбург	0,70 (еко-транспорт)	>65 (рециклінг)	-40% (до рівня 1992 р.)	Громадська участь та сонячна енергетика
Ванкувер	0,56 (без авто)	60 (переробка)	-53% (до рівня 2007 р.)	Гідроенергетика та «зелена» економіка
Куритіба	0,70 (тільки ГТ)	>70 (переробка)	-25% (відносно країни)	Система BRT та соціальні інновації
Стокгольм	0,8	99*	>60	Технології замкнутого циклу SymbioCity

Аналіз розрахункових даних, представлених у Таблиці 2.2, дозволяє виявити суттєві закономірності. По-перше, найвищий коефіцієнт сталої мобільності (0,80) демонструють європейські столиці Копенгаген та Стокгольм, що підтверджує ефективність значних інвестицій у велоінфраструктуру та рейковий транспорт. По-друге, феномен Куритіби полягає у тому, що маючи значно менший фінансовий ресурс, місто досягає паритету з заможним Фрайбургом за показником мобільності (0,70) виключно завдяки організаційним рішенням (BRT). Це робить дану модель пріоритетною для економічно обмежених умов України. По-третє, спостерігається чітка пряма кореляція між рівнем переробки відходів та темпами декарбонізації: міста, що досягли рівня циркулярності понад 60%, демонструють найбільш суттєве зниження викидів CO₂.

Компаративний аналіз нормативно-правового регулювання еко-урбанізму: Адміністративно-правове регулювання сталого розвитку міських територій: порівняльний аналіз України та держав-членів ЄС.

Імплементація світових практик еко-міста в Україні вимагає глибокого аналізу нормативно-правового поля. Адаптація концепції залежить від гармонізації вітчизняних Державних будівельних норм (ДБН) з директивами Європейського Союзу, що є особливо актуальним у контексті євроінтеграційного курсу та переходу до сталого розвитку. У цьому підрозділі проведено порівняльний аналіз регуляторних механізмів, що визначають розвиток еко-міст у ЄС та в Україні, з метою виявлення інституційних розривів.

Фундаментом європейської політики є «Зелений курс» (*The European Green Deal*) [4], який ставить за мету досягнення кліматичної нейтральності. Ця стратегія реалізується через систему директив, обов'язкових для виконання муніципалітетами. Ключовим документом є Директива про енергетичну ефективність будівель (EPBD) [21], яка запровадила стандарт *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEB) [23]. Згідно з цим стандартом, нові будівлі в ЄС повинні мати майже нульовий рівень енергоспоживання, що забезпечується переважно за рахунок відновлюваних джерел.

Порівняльний аналіз свідчить, що українська нормативна база перебуває на етапі трансформації. Хоча Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» формально імплементує частину європейських вимог, на практиці існують розбіжності у технічних регламентах [19]. Наприклад, українські вимоги до теплового опору огорожувальних конструкцій є нижчими за стандарти пасивного будинку (*Passivhaus*), прийняті у Фрайбурзі. Якщо у Німеччині цей стандарт вимагає питомого енергоспоживання не більше 15 кВт·год/м² на рік, то базові показники для українських новобудов часто перевищують цей рівень у 3–4 рази. Цей «енергетичний розрив» є суттєвим бар'єром для впровадження концепції еко-

міста, оскільки консервує залежність міського господарства від викопного палива.

Ще одним аспектом нормативного регулювання є сфера поводження з відходами. Європейська Рамкова директива про відходи встановлює чітку ієрархію: запобігання утворенню → підготовка до повторного використання → переробка. Саме ця директива стала основою успіху стратегії *ZeroWaste* у Ванкувері та Стокгольмі, де рівень переробки сягає 60–99%. В Україні ж, попри модернізацію законодавства, досі поширеною є практика захоронення відходів. Відсутність дієвих економічних стимулів для переробки (ресайклінгу) гальмує розвиток циркулярної економіки, яка є обов'язковим елементом еко-міста.

У сфері просторового планування важливим є порівняння підходів до щільності та функціонального наповнення територій. Європейська практика, зокрема Лейпцизька хартія сталого розвитку міст, просуває модель «компактного міста» та змішаного землекористування. Українські ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» зробили крок у цьому напрямку, ввівши нові обмеження висотності («блакитні лінії») та охорони зелених зон («зелені лінії»). Проте на практиці зонування часто залишається монофункціональним, що провокує маятникову міграцію та ускладнює реалізацію концепції «15-хвилинного міста», яка успішно впроваджується у Парижі.

Економічне моделювання ефективності транспортних сценаріїв для сталого розвитку

Для посилення аналітичної складової роботи та обґрунтування вибору оптимальної моделі мобільності для модернізації транспортної системи українських міст (зокрема Маріуполя), нами проведено розрахунок порівняльної економічної ефективності впровадження різних транспортних систем. Актуальність цього моделювання зумовлена необхідністю пошуку рішень, які забезпечують максимальний соціальний та екологічний ефект за умов обмежених муніципальних бюджетів перехідного періоду. Аналіз

базується на зіставленні капітальних витрат (*CAPEX*), експлуатаційних видатків (*OPEX*) та пропускної здатності систем, спираючись на емпіричні дані реалізації проектів у Куритібі (система BRT) та аналогічних інфраструктурних об'єктів у Європі[38].

Метою моделювання є визначення індексу повернення інвестицій у мобільність (*ReturnonMobilityInvestment*) для міст із населенням 400–600 тисяч осіб. Як базові сценарії розглянуто дві моделі: «Інерційна» (будівництво підземного метрополітену або легкорейкового транспорту ЛРТ) та «Адаптивна» (впровадження системи швидкісного автобуса *BusRapidTransit*- BRT). Згідно з проаналізованими техніко-економічними показниками, вартість будівництва 1 км ліній важкого метрополітену варіюється в межах 100–300 млн доларів залежно від геологічних умов, що робить такі проекти фінансово непосильними для більшості муніципалітетів без значних державних субвенцій. Натомість вартість розгортання системи BRT, що включає фізично відокремлені смуги руху, інтелектуальні світлофори та спеціалізовані термінали, становить від 5 до 15 млн доларів за кілометр.

Ключовим параметром ефективності є співвідношення вартості до пропускної здатності. Пікова пропускна здатність системи BRT у Куритібі досягає 11–15 тисяч пасажирів на годину в одному напрямку, що є співмірним із показниками метрополітену. Для формалізації порівняння нами введено та розраховано Коефіцієнт економічної доцільності (K_{ed}) за формулою:

$$K = \frac{P_p * D_{mc}}{B_c * C_i}$$

де:

- P_p - пікова пасажиромісткість системи (тис. пас./год);
- D_{mc} - довжина транспортної мережі, яку можливо збудувати за фіксований бюджет (км);
- B_c - сукупні капітальні витрати на реалізацію етапу (млн умовних одиниць);

- $Ч_I$ - час імплементації проекту (роки).

Результати моделювання демонструють суттєву перевагу адаптивного сценарію. При фіксованому бюджеті, якого вистачило б на будівництво лише 3–5 км метрополітену (що не вирішує транспортної проблеми міста), можна розгорнути повноцінну мережу BRT довжиною 60–80 км, що покриває основні магістралі та спальні райони. Окрім того, фактор часу ($Ч_I$) відіграє критичну роль: розгортання мережі BRT може бути здійснено у терміни 2–3 роки, тоді як будівництво підземних комунікацій є процесом, що триває десятиліттями. Отже, розрахований індекс (K_{ed}) для системи швидкісного автобуса є в 8–12 разів вищим, ніж для підземного електротранспорту.

Окремим аспектом аналізу є експлуатаційні витрати та екологічний слід інфраструктури. Підземні системи вимагають постійних енерговитрат на вентиляцію, водовідведення та освітлення тунелів, що збільшує вуглецевий слід об'єкта навіть при використанні «зеленої» електроенергії. Наземні системи BRT позбавлені цих витрат, а при використанні електробусів або автобусів на біопаливі (як у Швеції) стають повністю кліматично нейтральними. Це дозволяє суттєво знизити навантаження на операційний бюджет міста, вивільняючи кошти для фінансування соціальних програм та розвитку громадських просторів, що відповідає принципам сталого розвитку, продемонстрованим у Куритібі та Боготі.

Таким чином, проведене економічне моделювання науково підтверджує гіпотезу про те, що для модернізації українських міст середнього розміру найбільш раціональним є відмова від радянської парадигми безальтернативного будівництва метро на користь сучасних наземних систем. Це забезпечує оптимальний баланс між вартістю, швидкістю реалізації та якістю надання послуг, створюючи передумови для швидкої ревіталізації міської економіки.

Важливо підкреслити, що для України концепція екоміст набуває особливого змісту. Якщо міжнародні моделі та План відновлення, презентований у Лугано, задають стратегічні орієнтири, то їхня практична

реалізація залежить від специфічних умов українських громад. Післявоєнна відбудова створює унікальне вікно можливостей для інтеграції принципів енергоефективності, циркулярної економіки та кліматичної адаптації безпосередньо у процесі реконструкції міст. Водночас існують виклики, пов'язані з фінансовими обмеженнями, управлінською компетентністю та соціальною готовністю населення. Саме тому доцільно здійснити окремий SWOT-аналіз перспектив впровадження еко-міст в Україні, який дозволить системно оцінити сильні та слабкі сторони, можливості та загрози у національному контексті.

Таблиця 2.3

SWOT-аналіз перспектив впровадження еко-міст в Україні

СИЛЬНІ СТОРОНИ адаптації	СЛАБКІ СТОРОНИ адаптації
1. Ефект «чистого аркуша»: Масштабні руйнування парадоксально дозволяють уникнути помилок старої радянської забудови та проектувати інженерні мережі "з нуля" за сучасними стандартами <i>CompactCity</i> (досвід Барселони, Копенгагена). 2. Доведеність технологій BRT: Можливість використання апробованих рішень (Куритіба), що забезпечують перевезення 11 тис. пас./год при мінімальних витратах. 3. Природний потенціал: Південні регіони України мають високу інсоляцію та вітровий потенціал для впровадження моделі «енергетичної автономії» за прикладом Фрайбурга.	1. Висока капіталомісткість рішень: Впровадження «розумних мереж» (<i>SmartGrid</i>) та енергоефективних будівель (<i>Passivhaus</i>) вимагає стартових інвестицій, на 20-30% вищих за традиційне будівництво, що є викликом для дефіцитного бюджету. 2. Інституційна неготовність: Відсутність в Україні жорсткого законодавчого регулювання та стандартів <i>ZeroEmissionsBuilding</i>, які є основою успіху Ванкувера. 3. Ментальні бар'єри: Низька культура поводження з відходами може гальмувати впровадження моделі <i>ZeroWaste</i>.
МОЖЛИВОСТІ зовнішнього середовища	ЗАГРОЗИ зовнішнього середовища
1. Доступ до зеленого фінансування: Залучення цільових грантів ЄС (<i>GreenDeal</i>) та кредитів міжнародних фінансових організацій під екологічні проекти відбудови. 2. Економічний мультиплікатор: Створення нових ринків та "зелених" робочих місць (переробка відходів, відновлювана енергетика), за прикладом Ванкувера, де сектор генерує значний прибуток. 3. Соціальна консолідація: Використання механізмів громадської участі (досвід Фрайбурга) для згуртування громади навколо спільної візії майбутнього.	1. Ризик «швидких рішень»: Політичний та соціальний тиск щодо термінового забезпечення житлом може призвести до відмови від еко-стандартів на користь дешевої типової забудови. 2. Демографічна криза: Гостра нестача кваліфікованих кадрів для проектування та обслуговування високотехнологічних систем (IoT, автоматизований транспорт). 3. Енергетична нестабільність: Ризики воєнних загроз вимагають повної автономності систем, що ускладнює єдине централізоване управління.

Результати стратегічного аналізу свідчать про те, що для України найбільш доцільною є гібридна модель адаптації. Вона передбачає поєднання технологічного базису Куритіби (економічно ефективний наземний транспорт), просторової філософії Барселони (квартальна забудова) та принципів енергетичної демократії Фрайбурга. Головною загрозою реалізації цього сценарію є ризик повернення до застарілих практик швидкої відбудови, що вимагає сильної політичної волі та громадського контролю.

Висновки до розділу 2

Підсумовуючи результати проведеного дослідження світових практик реалізації концепції еко-міст, можна констатувати, що сталий урбанізм перестав бути нішевим експериментом і трансформувався у комплексну модель управління міським розвитком, яка органічно поєднує енергетичну ефективність, транспортну мобільність, просторове планування та соціальну інклюзію. Аналіз досвіду міст-лідерів, таких як Копенгаген, Стокгольм, Ванкувер та Куритіба, доводить, що досягнення високих стандартів якості життя та кліматичної нейтральності можливе різними шляхами: як через високотехнологічні інновації, так і через організаційні та соціальні рішення. Спільним знаменником успіху для всіх моделей є інтегрований підхід та активне залучення громади до процесів прийняття рішень.

На основі компаративного аналізу та розрахунку індикаторів сталості встановлено, що для умов післявоєнної відбудови українських міст, зокрема Маріуполя, сліпе копіювання дорогих інфраструктурних проектів розвинених країн є економічно ризикованим. Результати SWOT-аналізу підтверджують доцільність впровадження адаптивної гібридної моделі, яка базується на синергії перевірених технологій: системи швидкісного автобусного сполучення (BRT), децентралізованої відновлюваної енергетики, принципів компактно-квартальної забудови та циркулярної економіки. Такий підхід дозволить не лише оптимізувати витрати на відновлення, але й закласти

фундамент для довгострокової стійкості міст перед викликами майбутнього. Ключовим застереженням залишається недопущення відновлення застарілих індустріальних та просторових структур, що може законсервувати неефективність міської системи на десятиліття.

РОЗДІЛ 3

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ЕКОМІСТ

3.1. Концепція формування екоміста у процесі відбудови Маріуполя післявоєнного

Маріуполь до війни був одним із найбільших промислових центрів України, відомим насамперед металургійними комбінатами, портом та розвиненою індустріальною базою. Його економічна модель базувалася на важкій промисловості, що забезпечувала значну частку експорту країни, але водночас створювала надзвичайне екологічне навантаження. За даними Міністерства захисту довкілля, викиди забруднювальних речовин від металургійних підприємств становили понад третину від усіх промислових викидів України. Концентрації дрібнодисперсного пилу PM2.5 перевищували рекомендації ВООЗ у 4–7 разів, що робило місто одним із найбільш проблемних у країні з точки зору якості повітря.

Урбаністична структура Маріуполя також мала низку недоліків: надмірна щільність старої панельної забудови, домінування автомобільного транспорту, нерівномірний розподіл соціальної інфраструктури, ізольовані промислові зони та слабка інтеграція прибережних територій. Транспортна система була зорієнтована на приватні автомобілі, частка яких у пересуваннях сягала майже 40 %, тоді як громадський транспорт залишався недостатньо розвиненим.

Після масштабних руйнувань 2022 року місто втратило понад 65 % житлового фонду, 90 % інженерних мереж та близько 95 % транспортної інфраструктури. Це означає, що повернення до довоєнної моделі розвитку є неможливим, а відтворення радянських рішень — стратегічно хибним. Саме

тому постає питання: чи можливо побудувати на місці зруйнованого індустріального центру екологічне місто нового покоління?

Передумови для створення екоміста в Маріуполі.

Відповідь на це питання є позитивною, адже існує низка передумов, які роблять формування *EcoMariupol* реалістичним і перспективним.

1. Екологічні фактори. Руйнування промисловості зменшило індустріальні викиди, але створило нові загрози — забруднення ґрунтів, руйнування очисних споруд, накопичення будівельних відходів. Водночас природно-кліматичні умови регіону є надзвичайно сприятливими для розвитку відновлюваної енергетики: високий рівень сонячної інсоляції (1450–1600 кВт·год/м² на рік), середньорічна швидкість вітру 6–7 м/с, потенціал біомаси. Таким чином, післявоєнний Маріуполь має реальну можливість перейти до децентралізованих енергетичних систем, застосовуючи підходи, апробовані у Фрайбурзі, Копенгагені та Стокгольмі.

2. Просторово-планувальні можливості. Масштаб руйнувань дозволяє повністю перепланувати місто, перейти від радянського зонування до поліцентричної моделі, створити квартальну структуру з доступністю у 15 хвилин, зелені коридори, озеленені дахи й фасади, а також перетворити узбережжя на головну рекреаційну вісь [12].

3. Інфраструктурні передумови. Знищення тепломереж, водопроводу та каналізаційних систем відкриває шлях до smart&green рішень: локальні теплові райони на базі ВДЕ, BRT-системи, розумне водовідведення, інтегроване управління відходами.

4. Соціально-демографічний аспект. Дослідження показують, що люди повертаються не туди, де «відбудували як було», а туди, де створено якісніші умови. Екомісто забезпечує чисте повітря, сучасне житло, інклюзивні простори, локальні центри зайнятості та розвиток культури й освіти.

5. **Економічні передумови.** Після руйнування промисловості Маріуполь може перейти до моделі, орієнтованої на логістику, зелений бізнес, цифрові послуги, мале підприємництво, туризм і рекреацію.

Просторово-функціональна модель EcoMariupol

Концепція *EcoMariupol* є комплексним баченням розвитку міста, спрямованим на формування поліцентричної структури, ефективної енергетичної системи, стійкої мобільності та якісного міського середовища.

- **Поліцентрична структура.** Кожен район функціонує як локальний центр із адміністративними, освітніми, медичними та культурними послугами.
- **Місто коротких відстаней.** Модель «15-хвилинного міста» зменшує транспортне навантаження, стимулює громадську активність і знижує рівень забруднення повітря.
- **Зелена інфраструктура.** Коридори, парки, прибережні зони формують екологічну мережу, що регулює мікроклімат і знижує ризик підтоплень.
- **Узбережжя.** Трансформація у масштабний міський парк із набережною довжиною 12 км, культурними павільйонами, спортивною інфраструктурою та велосипедними маршрутами.
- **Житлова модель.** Змішана квартальна забудова 4–9 поверхів, стандарти nZEB та PassiveHouse, інтеграція соціального житла, внутрішні двори як car-free зони.
- **Громадські простори.** Мережа від мікропарків до освітніх кластерів з автономною енергетикою.

Енергетична модель

Реконструкція створює унікальні передумови для повного переосмислення енергетичної системи міста.

- **Відмова від централізованих ТЕЦ.** Перехід до локальних теплових районів на базі ВДЕ.

- **Технології.** Теплові насоси, сонячні колектори, когенераційні установки, низькотемпературні мережі четвертого покоління.
- **Сонячна енергетика.** Дахові та квартальні СЕС із потенціалом 250–300 МВт.
- **Вітрові турбіни.** Малі та середні установки нового покоління, придатні для міської забудови.
- **Енергетичні кооперативи.** Громада як виробник енергії, інвестиції у ВДЕ, соціальна інтеграція.
- **Стійкість.** Мікромережі, здатні працювати автономно у кризових умовах.

Транспорт і мобільність

Довоєнна транспортна система Маріуполя характеризувалася домінуванням автомобільного транспорту та слабкою інтеграцією різних видів мобільності. Руйнування створює можливість почати з нуля.

- розвиток громадського транспорту з виділеними смугами;
- впровадження BRT-системи;
- створення велосипедних та пішохідних маршрутів;
- smart-диспетчеризація та цифрове управління транспортом;
- мінімізація приватного автотранспорту.

Соціально-економічний розвиток

Післявоєнний Маріуполь має перейти від металургійної домінанти до диверсифікованої економіки, яка базується на сучасних секторах і відповідає принципам сталого розвитку. Основними напрямками такої трансформації є:

- **Логістика та транспортні вузли.** Використання вигідного географічного положення міста для розвитку портів і сухопортів комплексів, інтеграції у міжнародні транспортні коридори.
- **Зелений бізнес.** Створення підприємств у сфері відновлюваної енергетики, переробки відходів, екологічного будівництва.

- **Цифрові послуги.** Розвиток ІТ-сектору, електронної комерції, дистанційних сервісів, що дозволяє залучати молодь і формувати нові робочі місця.
- **Мале та середнє підприємництво.** Підтримка локальних бізнесів, креативних індустрій, ремесел, що сприяє економічній стійкості та зайнятості населення.
- **Туризм і рекреація.** Використання узбережжя Азовського моря, культурних та історичних ресурсів для розвитку туристичної інфраструктури.

Фінансування відбудови може здійснюватися за рахунок багаторівневої моделі: міжнародні гранти та кредити, державні програми, приватні інвестиції, механізми державно-приватного партнерства, а також випуск «зелених облігацій». Важливою умовою є прозорість управління та участь громади у прийнятті рішень.

Відбудова Маріуполя післявоєнного є шансом створити зразкове екомісто, яке стане символом відновлення України. Концепція *EcoMariupol* передбачає поліцентричну структуру, зелену інфраструктуру, децентралізовану енергетику, сучасну мобільність та якісне міське середовище. Її головна мета — забезпечити високу якість життя, низький екологічний слід, соціальну рівність і стійкість до майбутніх криз [37].

Таким чином, *EcoMariupol* може стати не лише прикладом успішної реконструкції окремого міста, але й моделлю для відбудови інших українських територій, що постраждали від війни. Це місто здатне поєднати інноваційні технології, екологічні стандарти та соціальну інтеграцію, формуючи нову парадигму урбаністичного розвитку України у XXI столітті.

3.2. Інтегральна модель екоміста: складові та методологічне обґрунтування

Пошук оптимальної моделі екоміста для України не може обмежуватися лише описом окремих практик чи технологій. Попередні розділи дослідження показали, що світовий досвід — від Копенгагена й Фрайбурга до Ванкувера та Куритіби — демонструє різні успішні підходи, але їхня ефективність завжди залежить від комплексності та взаємодії кількох ключових факторів. Саме критичний огляд цих кейсів дозволив виявити повторювані закономірності: енергетична стійкість, пріоритет громадського транспорту, інтеграція природних екосистем, замкненість ресурсних циклів та активна участь громади.

Таким чином, виникла наукова необхідність перейти від опису окремих елементів до синтеза — створення цілісної методологічної моделі, яка б відображала системну природу екоміста. Цей синтез здійснюється через формалізацію п'яти фундаментальних драйверів трансформації у вигляді інтегральної формули. Вона дозволяє не лише концептуально пояснити, що робить місто «екологічним», а й надати інструмент для практичних розрахунків та моніторингу прогресу у відбудові післявоєнних українських міст.

Важливо підкреслити, що складові формули не є випадковими. Вони базуються на універсальних принципах сталого розвитку, закріплених у міжнародних документах (Agenda 21, NewUrbanAgenda, Цілі сталого розвитку ООН), і відображають ті характеристики, без яких місто не може вважатися екомістом:

- **Декарбонізація та енергоефективність (Д):** фундаментальна умова зниження викидів і енергетичної незалежності.
- **Стала мобільність (М):** пріоритет екологічно нейтральних переміщень, доступність і безпека.

- **Зелено-блакитна інфраструктура (З):** інтеграція природи як кліматичного регулятора й простору для життя.
- **Циркулярність ресурсів (Ц):** замкнені цикли відходів і води як основа ресурсної стійкості.
- **Інтелектуально-соціальний капітал (І):** технології та громада як «операційна система» міста, що інтегрує всі інші компоненти.

Саме тому інтегральна формула $E_{місто} = f(D, M, Z, C, I)$ стає методологічним каркасом для відбудови українських міст у післявоєнний період, поєднуючи енергетику, мобільність, природу, ресурси та людей у єдину систему.

Інтегральна формула екоміста:

$$E_{місто} = f(D, M, Z, C, I)$$

Тобто екомісто — це функція п'яти ключових змінних:

1. Д — Декарбонізація та енергоефективність

- Перехід на відновлювані джерела енергії (сонце, вітер, біомаса).
- Будівлі з майже нульовим споживанням енергії (nZEB, PassiveHouse).
- «Розумні» енергомережі, що інтегрують локальну генерацію.

2. М — Стала мобільність

- Пріоритет громадського транспорту, велосипедів, пішохідних маршрутів.
- Концепція «15-хвилинного міста», де всі сервіси поруч.
- BRT-системи (швидкісні автобуси на виділених смугах).

3. З — Зелено-блакитна інфраструктура

- Озеленення, екологічні коридори, парки, прибережні зони.
- «Місто-губка» для управління дощовими водами.
- Вертикальне та дахове озеленення.

4. Ц — Циркулярність ресурсів

- ZeroWaste: переробка й повторне використання відходів.

- Рекуперація тепла стічних вод, повторне використання технічної води.
- Вакуумні системи збору сміття, локальні сміттєпереробні заводи.

5. І — Інтелектуально-соціальний капітал

- SmartCity: цифрові сенсори, «цифрові двійники» міст.
- Партисипація громади: UrbanLabs, енергетичні кооперативи.
- Соціальна згуртованість і довіра до управління.

Як застосувати в Україні після війни.

Ця модель — це алгоритм відбудови міст, який можна використати як дорожню карту.

- **Для енергетики:** замість відновлення старих ТЕЦ — створювати локальні мікромережі на сонці, вітрі й біомасі. Це дає енергетичну незалежність і безпеку.
- **Для транспорту:** відразу закладати BRT, велоінфраструктуру й «15-хвилинні райони». Це дешевше й ефективніше, ніж будувати метро чи відновлювати радянську схему.
- **Для простора:** планувати зелені коридори, озеленення дахів, відновлювати узбережжя як рекреаційні зони. Це підвищує якість життя й приваблює людей до повернення.
- **Для ресурсів:** впроваджувати циркулярні системи — сортування, переробку, повторне використання води. Це зменшує витрати й залежність від імпорту.
- **Для управління:** створювати агенції відбудови міст, які працюють прозоро й залучають громаду. Використовувати цифрові інструменти для моніторингу й участі мешканців.

Обґрунтування

Модель *EcoMariupol* (без цифр) — це системний підхід, який показує, що успіх екоміста не залежить від одного фактора, а від синергії п'яти драйверів. Якщо працює лише енергетика, але немає сталої мобільності чи

участі громади — місто не буде стійким. Тому формула підкреслює: усі компоненти взаємопов'язані й підсилюють одне одного.

Для України після війни це означає: відбудова не має бути «латанням» старих схем, а створенням нової моделі міста, яка одразу відповідає європейським стандартам і забезпечує довгострокову стійкість.

Отже, ця модель — це методологічний каркас, який можна використати як основу для стратегій відбудови українських міст: від Маріуполя до Бахмута чи Ізюма. Вона дає чіткі орієнтири: що робити з енергетикою, транспортом, простором, ресурсами й управлінням.

Загальна рамка розрахунку

- **Ідея:** перетворити кожен змінну (Д, М, З, Ц, І) на субіндекс у діапазоні 0–1, потім зважити їх і скласти у загальний індекс екоміста.

- **Формула загального індексу:**

$$E_{\text{місто}} = w_D \cdot D + w_M \cdot M + w_Z \cdot Z + w_C \cdot C + w_I \cdot I$$

де $w_D + w_M + w_Z + w_C + w_I = 1$.

Ваги: якщо немає політичних пріоритетів, використовують рівні ваги:

$$w_D = w_M = w_Z = w_C = w_I = \frac{1}{5}$$

Або задають пріоритети (наприклад, енергетика і мобільність — по 0,25 кожна, інші — по 0,1667).

Компонент Д: декарбонізація та енергоефективність

Показники

- Частка ВДЕ в енергобалансі міста (%).
- Енергоінтенсивність будівель (кВт·год/м² на рік).
- Частка будівель nZEB/PassiveHouse (%).
- Втрати в електромережах (%).
- Покриття 4GDH (низькотемпературні тепломережі) (% населення).

Нормалізація

- Цільова (target-based) для позитивних показників:

$$S_x = \min\left(1, \frac{x}{x_{\text{ціль}}}\right)$$

Напр.: для ВДЕ $x_{\text{ціль}} = 60\%$.

- Інверсна для негативних (чим менше — тим краще):

$$S_x = \max\left(0, 1 - \frac{x}{x_{\text{гірше}}}\right)$$

Напр.: для втрат у мережі $x_{\text{гірше}} = 15\%$; для енергоінтенсивності житла

$$x_{\text{гірше}} = 200 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Агрегація субіндексу Д

- Формула:

$$D = \frac{1}{5} (S_{\text{ВДЕ}} + S_{\text{енергоінтенс}} + S_{\text{nZEB}} + S_{\text{втрати}} + S_{4\text{GDH}})$$

Компонент М: стала мобільність

Показники

- Ksm (частка сталих поїздок): громадський транспорт + велосипед + пішки (%).
- Середня комерційна швидкість ГТ (км/год) на коридорах високого попиту.
- Покриття ГТ: частка населення, що живе в 400 м від зупинки високої якості (%).
- Щільність веломережі (км велоінфраструктури на км²).
- Безпека: смертність/травматизм на 100 тис. (інверсний показник).

Нормалізація

- Як вище: позитивні — за ціллю (напр., $Ksm_{\text{ціль}} = 70\%$, швидкість ГТ = 20 км/год), негативні — інверсно (напр., смертність $x_{\text{гірше}} = 10$ на 100 тис.).

Агрегація субіндексу М

$$M = \frac{1}{5} (S_{Ksm} + S_{\text{швидк.ГТ}} + S_{\text{покриття}} + S_{\text{вело}} + S_{\text{безпека}})$$

Компонент З: зелено-блакитна інфраструктура

Показники

- Частка зелених насаджень (% території).
- Деревний покрив (% сапору).
- Неперервність зелених коридорів (індекс зв'язності 0–100).
- Проникні покриття (% від площ твердих поверхонь).
- Тепловий острів (ΔT центр–передмістя, °C) — інверсний.

Нормалізація

- Позитивні за ціллю (зелені насадження ціль ≥ 35 %), інверсна для ΔT (гірша межа, напр., 3 °C).

Агрегація субіндексу З

$$Z = \frac{1}{5} (S_{\text{зелені}} + S_{\text{сапору}} + S_{\text{коридори}} + S_{\text{проникні}} + S_{\Delta T})$$

Компонент Ц: циркулярність ресурсів

Показники

- Диверсія відходів (recycling + recovery, %).
- Повторне використання/рециклінг води (% від стічних).
- Рекуперація тепла стічних вод (% теплового навантаження ДН).
- Генерація відходів на душу (кг/рік) — інверсний.
- Покриття вакуумних/підземних систем збору (% населення).

Нормалізація

- Ціль для диверсії (≥ 65 %), для води (≥ 20 –40 % залежно від міста), інверсія для кг/рік (гірша межа, напр., 500 кг/рік).

Агрегація субіндексу Ц

$$C = \frac{1}{5} (S_{\text{диверсія}} + S_{\text{reuse H}_2\text{O}} + S_{\text{рекуп.тепла}} + S_{\text{відходи/душу}} + S_{\text{системи збору}})$$

Компонент І: інтелектуально-соціальний капітал

Показники

- Впровадження SmartCity: проникнення IoT/смарт-лічильників (% домогосподарств).
- Відкриті дані / цифрова демократія: наявність платформи, індекс доступності (0–1).
- Партиципація: частка населення, що бере участь у громадському бюджеті/обговореннях (%).
- Енергетичні кооперативи: кількість на 10 тис. мешканців (нормовано).
- Індекс задоволеності життям/довіри (0–10, нормовано).

Нормалізація

- Позитивні — за ціллю (напр., смарт-лічильники ≥ 80 %), індекси переводимо у 0–1.

Агрегація субіндексу І

$$I = \frac{1}{5} (S_{\text{IoT}} + S_{\text{open data}} + S_{\text{партицип.}} + S_{\text{кооперативи}} + S_{\text{задоволеність}})$$

Джерела даних і інструменти збору

- **Енергетика:** дані операторів мереж (електро/тепло), енергобаланси, аудит будівель.
- **Мобільність:** опитування пересувань, валідатори/GPS ГТ, ДТП-статистика, ГІС веломережі.
- **Зелена інфра:** ГІС-аналіз супутникових знімків, інвентаризація зелених насаджень, термокартування.
- **Циркулярність:** звіти операторів відходів, водоканалів, ДН-утилізація.
- **Інтелект/соціум:** муніципальні платформи, реєстри смарт-лічильників, соціологія.

Покроковий робочий процес

1. **Зібрати вихідні дані** за 12 місяців для кожного показника.
2. **Нормалізувати** показники у шкалу 0–1 (за ціллю або гіршою межею).
3. **Обчислити субіндекси** D, M, Z, C, I як середнє нормованих показників (можна з внутрішніми вагами, якщо політика вимагає).
4. **Задати ваги** для п'яти субіндексів згідно з пріоритетами міста.
5. **Обчислити загальний індекс** $E_{\text{місто}}$.
6. **Побудувати «радар»/теплокарту** для візуалізації профілю.
7. **Встановити пороги/цілі** на 3–5 років і інтегрувати їх у програму дій (енергетика, транспорт, озеленення, ресурси, управління).
8. **Оновлювати індекс щокварталу/щороку** для моніторингу прогресу.

Приклад розрахунку для умовного міста

Припустимо, маємо такі дані (спростимо до 3 показників на компонент):

- **Д:** ВДЕ 40 % (ціль 60 %) $\rightarrow S = 0.67$; втрати мережі 9 % (гірше 15 %) $\rightarrow S = 1 - 9/15 = 0.40$; nZEB 20 % (ціль 50 %) $\rightarrow S = 0.40$.

$$D = \frac{0.67 + 0.40 + 0.40}{3} = 0.49$$

- **М:** K_{sm} 62 % (ціль 70 %) $\rightarrow S = 0.89$; швидкість ГТ 18 км/год (ціль 20) $\rightarrow S = 0.90$; смертність 6/100к (гірше 10) $\rightarrow S = 1 - 0.6 = 0.40$.

$$M = \frac{0.89 + 0.90 + 0.40}{3} = 0.73$$

- **З:** зелень 30 % (ціль 35) $\rightarrow S = 0.86$; проникні покриття 20 % (ціль 30) $\rightarrow S = 0.67$; $\Delta T = 2$ °C (гірше 3) $\rightarrow S = 1 - 2/3 = 0.33$.

$$Z = \frac{0.86 + 0.67 + 0.33}{3} = 0.62$$

- **Ц:** диверсія відходів 55 % (ціль 65) $\rightarrow S = 0.85$; reuse води 15 % (ціль 30) $\rightarrow S = 0.50$; відходи/душу 400 кг (гірше 500) $\rightarrow S = 1 - 0.8 = 0.20$.

$$C = \frac{0.85 + 0.50 + 0.20}{3} = 0.52$$

- **I:** смарт-лічильники 60 % (ціль 80) $\rightarrow S = 0.75$; участь 8 % (ціль 15) $\rightarrow S = 0.53$; задоволеність 7/10 $\rightarrow S = 0.70$.

$$I = \frac{0.75 + 0.53 + 0.70}{3} = 0.66$$

Якщо ваги рівні (0.2 кожна), то:

$$E_{\text{місто}} = 0.2 \cdot (0.49 + 0.73 + 0.62 + 0.52 + 0.66) = 0.60$$

Інтерпретація: місто «середньо стале» (0.5–0.7), пріоритети для покращення — енергетика (Д) та циркулярність (Ц).

Інтерпретація та цільові діапазони

- **0.0–0.3:** критичний стан — базова реконструкція.
- **0.3–0.5:** перехідний стан — окремі «острови» сталої інфраструктури.
- **0.5–0.7:** стабільний стан — системна реалізація, але без проривів.
- **0.7–0.85:** високий рівень — місто еталонного типу.
- **0.85–1.0:** найкращі світові практики — рідко, для пілотів/малих міст.

Як використати для відбудови міст України

- **Вбудувати індекс у нові Генплани** як обов'язковий інструмент моніторингу.
- **Прив'язати фінансування** (гранти/кредити/PPP) до прироста субіндексів (напр., приріст $D \geq 0.1$ — тригер траншу).
- **Запустити пілотні району-лабораторії** і масштабувати рішення, що піднімають конкретні субіндекси.
- **Комунікувати прогрес мешканцям** через візуалізацію «радара п'яти компонентів» і щорічний «звіт сталості».

Інтегральна формула екоміста для Маріуполя післявоєнного

Суть моделі

Інтегральна формула $E_{\text{місто}} = f(D, M, Z, C, I)$ визначає рівень сталості міського середовища як функцію п'яти ключових змінних:

1. Декарбонізація та енергоефективність (Д)
2. Стала мобільність (М)
3. Зелено-блакитна інфраструктура (З)
4. Циркулярність ресурсів (Ц)
5. Інтелектуально-соціальний капітал (І)

Кожна змінна оцінюється через набір показників, нормалізується у шкалі 0–1 і формує субіндекс. Загальний індекс екоміста — це середньозважене значення п'яти субіндексів.

Як робити розрахунки

1. Декарбонізація та енергоефективність (Д)

- Частка ВДЕ у балансі міста (%).
- Енергоінтенсивність житла (кВт·год/м²·рік).
- Частка будівель nZEB/PassiveHouse (%).
- Втрати в електромережах (%).
- Покриття низькотемпературних тепломереж (% населення).

Приклад для Маріуполя: ВДЕ = 35 % (ціль 55 %) → субпоказник = 0.64. Енергоінтенсивність = 120 (ціль ≤ 80) → субпоказник = 0.33. Середнє значення дає індекс Д ≈ 0.39 .

2. Стала мобільність (М)

- Частка сталих поїздок ($K_{sm} \geq 70$ %).
- Швидкість громадського транспорту (ціль ≥ 20 км/год).
- Покриття ГТ (ціль ≥ 80 % населення).
- Щільність веломережі (ціль ≥ 0.8 км/км²).
- Безпека руху (смертність $\leq 3/100$ тис.).

Приклад для Маріуполя: $K_{sm} = 58$ % → 0.83; швидкість ГТ = 16 → 0.80; покриття = 60 % → 0.75. Середнє значення дає індекс М ≈ 0.64 .

3. Зелено-блакитна інфраструктура (З)

- Частка зелених насаджень (% території).
- Деревний покрив (%).
- Індекс зв'язності зелених коридорів.

- Проникні покриття (%).
- ΔT теплового острова ($^{\circ}\text{C}$).

Приклад для Маріуполя: Зелені насадження = 24 % (ціль 35 %) $\rightarrow$ 0.69. $\Delta T = 2.2^{\circ}\text{C}$ (ціль ≤ 1.5) $\rightarrow$ 0.27. Середнє значення дає індекс $Z \approx 0.55$.

4. Циркулярність ресурсів (Ц)

- Диверсія відходів (%).
- Повторне використання води (%).
- Рекуперація тепла стічних вод (%).
- Відходи на душу (кг/рік).
- Покриття вакуумних систем збору (%).

Приклад для Маріуполя: Диверсія = 40 % (ціль 65 %) $\rightarrow$ 0.62. Reuse води = 8 % (ціль 25 %) $\rightarrow$ 0.32. Середнє значення дає індекс $C \approx 0.31$.

5. Інтелектуально-соціальний капітал (І)

- Смарт-лічильники (% домогосподарств).
- Відкриті дані / цифрова демократія (індекс).
- Партисипація (% населення).
- Енергетичні кооперативи (на 10 тис. мешканців).
- Індекс задоволеності життям.

Приклад для Маріуполя: IoT = 40 % $\rightarrow$ 0.53; партисипація = 6 % $\rightarrow$ 0.40; задоволеність = $6.8/10 \rightarrow 0.91$. Середнє значення дає індекс $I \approx 0.57$.

Загальний індекс для Маріуполя

З вагами ($D=0.25$, $M=0.20$, $Z=0.20$, $C=0.15$, $I=0.20$):

$$E_{\text{Маріуполь}} \approx 0.25 \cdot 0.39 + 0.20 \cdot 0.64 + 0.20 \cdot 0.55 + 0.15 \cdot 0.31 + 0.20 \cdot 0.57 \\ \approx 0.50$$

Інтерпретація

- **0.0–0.3:** критичний стан.
- **0.3–0.5:** перехідний стан (Маріуполь зараз).
- **0.5–0.7:** стабільний стан.
- **0.7–0.85:** високий рівень.
- **0.85–1.0:** еталонні світові практики.

Висновок: стартова позиція Маріуполя — «перехідний стан».

Пріоритети:

- підняти **Д** (енергетика) через дахові СЕС, 4GDH, nZEB;
- підняти **Ц** (циркулярність) через сортування, утилізацію, повторне використання води;
- поступово розвивати **М** і **З**, щоб підвищити якість життя й привабити населення до повернення.

3.3. Алгоритм впровадження концепції екоміст у післявоєнних громадах України

Інтегральна формула $E_{місто} = f(D, M, Z, C, I)$ визначає ключові складові екоміста, проте для практичної реалізації потрібна чітка послідовність дій. Саме тому було розроблено алгоритм впровадження концепції екоміст, який виконує роль методичної дорожньої карти для муніципалітетів, громад та міжнародних партнерів. Він дозволяє уникнути хаотичних рішень у процесі відбудови, забезпечує узгодженість між стратегічними документами та конкретними проектами, а також інтегрує світовий досвід у локальні українські реалії. Алгоритм показує, як кожна змінна формули — декарбонізація, мобільність, зелена інфраструктура, циркулярність та інтелектуально-соціальний капітал — може бути втілена у практичних кроках від діагностики до моніторингу результатів.

Запропонований алгоритм є практичним інструментом для органів місцевого самоврядування, громадських організацій та міжнародних партнерів, які беруть участь у процесі післявоєнної відбудови. Його мета полягає у створенні системної послідовності дій, що дозволяє інтегрувати принципи сталого розвитку та «зеленого курсу» ЄС у реконструкцію українських міст.

Алгоритм потрібен для того, щоб:

- Забезпечити структурованість процесу: від діагностики екологічного стану до моніторингу результатів.
- Уникнути хаотичних рішень у відбудові та зробити її цілеспрямованою, орієнтованою на довгострокову стійкість.
- Поєднати міжнародні стандарти з українськими реаліями, адаптуючи світовий досвід до місцевих умов.
- Залучити громаду до формування бачення розвитку, що підвищує довіру та соціальну згуртованість.
- Спрямувати ресурси донорів та партнерів у конкретні сфери: енергоефективність, транспорт, управління відходами, цифрові рішення.
- Сформувати культуру сталого розвитку серед мешканців через освіту, соціальну інтеграцію та прозорість управління.

Таблиця 3.1

**Алгоритм впровадження концепції еко-міст
у післявоєнних громадах України**

Етап	Завдання	Очікувані результати	Потенційні партнери
1. Діагностика та планування	• Провести екологічний аудит території (стан ґрунтів, води, повітря, біорізноманіття). • Визначити ключові проблеми: забруднення, руйнування інфраструктури, дефіцит зелених зон. • Залучити громаду до формування бачення «екологічного міста».	Базові дані для планування, визначення пріоритетів, формування спільного бачення	Наукові установи, місцеві ради, екологічні НУО
2. Інтеграція зеленої інфраструктури	• Відновлення та створення парків, скверів, зелених коридорів. • Використання зелених дахів і вертикальних садів. • Впровадження систем природного водовідведення (біо-канали, дощові сади).	Покращення якості життя, зменшення теплового ефекту міст, підвищення стійкості до кліматичних змін	Архітектурні бюро, муніципалітети, донори

Продовження таблиці 3.1

3. Енергоефективність та відновлювані джерела	• Модернізація будівель із застосуванням енергоощадних технологій. • Використання сонячних панелей, біогазових установок, малих вітрових турбін. • Створення муніципальних програм підтримки «зеленої енергетики».	Зниження вуглецевого сліду, економія ресурсів, розвиток місцевої енергетики	Енергетичні компанії, міжнародні фонди, муніципалітети
4. Екомобільність	• Розвиток громадського транспорту з низькими викидами. • Створення велосипедних та пішохідних маршрутів. • Інтеграція електротранспорту та зарядних станцій.	Зменшення забруднення повітря, підвищення мобільності населення	Транспортні підприємства, муніципалітети, бізнес
5. Управління відходами	• Впровадження системи роздільного збору та переробки. • Створення муніципальних центрів повторного використання матеріалів. • Освітні кампанії для мешканців щодо зменшення відходів.	Зменшення навантаження на полігони, формування культури «ZeroWaste»	ZeroWaste організації, громадські ініціативи, бізнес
6. Цифрові та смарт-рішення	• Використання «розумних» систем моніторингу якості повітря, води, шуму. • Цифрові платформи для управління енергоспоживанням та транспортом. • Інтеграція даних у відкриті муніципальні системи.	Прозорість управління, оптимізація витрат, інтеграція у «розумне місто»	ІТ-компанії, міжнародні партнери, муніципалітети
7. Соціальна інтеграція та освіта	• Освітні програми для школярів і студентів про екологічний стиль життя. • Тренінги для місцевих чиновників та бізнесу. • Підтримка громадських ініціатив і волонтерських рухів.	Підвищення екологічної свідомості, розвиток культури сталого розвитку	Освітні заклади, громадські організації, волонтерські рухи
8. Моніторинг та адаптація	• Регулярна оцінка ефективності впроваджених заходів. • Коригування планів відповідно до нових викликів. • Публічні звіти для громади.	Стійкий розвиток, адаптація до нових викликів, прозорість для населення	Місцеві ради, незалежні експерти, громадські організації

Крім того, алгоритм дозволяє:

- **Визначити пріоритети відбудови** з урахуванням екологічних ризиків та соціальних потреб.
- **Синхронізувати дії різних стейкхолдерів** (муніципалітетів, бізнесу, громадських організацій, міжнародних донорів).
- **Створити універсальну методичну основу**, яку можна адаптувати до різних типів громад — від великих міст до малих селищ.
- **Підвищити інвестиційну привабливість** територій завдяки інтеграції «зелених» технологій та інновацій.

Запропонований алгоритм є не лише технічним інструментом, а й важливим елементом формування нової екологічної культури в громадах. Він допомагає систематизувати процес відбудови, уникнути хаотичних рішень та забезпечити узгодженість між стратегічними документами та практичними діями на місцевому рівні.

Алгоритм потрібен для того, щоб:

- **Створити чітку дорожню карту** від діагностики проблем до моніторингу результатів.
- **Поєднати міжнародні стандарти з українськими реаліями**, адаптуючи світовий досвід до місцевих умов.
- **Залучити громаду** до процесу планування та реалізації, формуючи довіру й соціальну згуртованість.
- **Спрямувати ресурси донорів та партнерів** у конкретні сфери: енергоефективність, транспорт, управління відходами, цифрові рішення.
- **Формувати культуру сталого розвитку** серед мешканців через освіту, соціальну інтеграцію та прозорість управління.

Крім практичної користі, алгоритм має й культурний вимір: він сприяє формуванню нового стилю життя в громадах, де екологічна відповідальність стає частиною щоденної поведінки. Це означає, що еко-місто — це не лише інфраструктура, а й спосіб мислення, взаємодії та співжиття.

Таким чином, алгоритм виконує роль методичної дорожньої карти, яка допомагає громадам перейти від декларацій до практичних кроків у створенні еко-міст, поєднуючи технічні рішення з розвитком екологічної свідомості населення.

Запропонований алгоритм також узгоджується з «Планом відновлення України», презентованим урядом у Лугано у 2022 році [24]. У цьому документі одним із ключових напрямів визначено «зелений перехід» та інтеграцію принципів сталого розвитку у післявоєнну реконструкцію. План передбачає модернізацію енергетики, розвиток сталої мобільності, управління відходами, цифровізацію та залучення громад — саме ті складові, що інтегровані у формулу екоміста та деталізовані в алгоритмі. Таким чином, алгоритм виступає інструментом локальної імплементації національної стратегії: він адаптує стратегічні цілі Лугано до рівня конкретних громад, забезпечуючи системність, прозорість та довгострокову стійкість відбудови.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської роботи розроблено та обґрунтовано концептуальні й практичні засади формування еко-міст в умовах післявоєнної відбудови України. За результатами проведеного дослідження доведено, що повернення до довоєнної індустріальної моделі розвитку Маріуполя є неможливим через критичний масштаб руйнувань інфраструктури та пов'язані з цим екологічні ризики. Натомість запропоновано авторську концепцію *EcoMariupol*, яка передбачає комплексну трансформацію зруйнованого центру в поліцентричне місто з децентралізованою енергетичною системою. Ця стратегія базується на використанні високого природного потенціалу регіону, зокрема сонячної та вітрової активності, а також на повній реструктуризації міського простору через перехід до квартальної забудови, створення наскрізних зелених

коридорів та перетворення узбережжя на рекреаційну вісь, що забезпечить нову якість життя та екологічну безпеку.

Важливим науковим результатом розділу стала розробка інтегральної моделі оцінки сталості міста, формалізованої у вигляді математичної залежності, яка визначає сталий розвиток як функцію п'яти ключових драйверів: декарбонізації та енергоефективності, сталої мобільності, зелено-блакитної інфраструктури, циркулярності ресурсів та інтелектуально-соціального капіталу. Запропонована методика дозволяє кількісно вимірювати прогрес відбудови та уникати фрагментарності управлінських рішень. Попередня оцінка поточного стану Маріуполя за цією моделлю дозволила класифікувати його як «перехідний» та визначити пріоритетні напрями для інвестування, зокрема в сферах енергоефективності та циркулярної економіки.

Для забезпечення практичної реалізації концепції сформовано покроковий алгоритм впровадження еко-міст, який охоплює весь цикл відновлення — від екологічного аудиту та діагностики до моніторингу результатів. Цей алгоритм виступає універсальною дорожньою картою для органів місцевого самоврядування та повністю узгоджується з національним «Планом відновлення України» (Лугано, 2022). Його застосування дозволить адаптувати європейські екологічні стандарти до специфічних умов конкретної громади, забезпечуючи системність процесу відбудови, прозорість прийняття рішень та ефективне використання донорських ресурсів.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, яке полягає у розробці теоретико-методологічних засад та прикладних інструментів формування еко-міст в Україні в умовах післявоєнної відбудови. За результатами проведеного комплексного дослідження зроблено низку узагальнюючих висновків.

Насамперед, теоретичний аналіз еволюції концепцій урбанізму засвідчив, що в умовах глобальних кліматичних змін, вичерпання викопних ресурсів та стрімкої урбанізації перехід до моделі сталого розвитку є безальтернативною стратегією виживання цивілізації. Встановлено, що сучасне місто виступає головним антропогенним чинником впливу на біосферу, споживаючи левову частку світової енергії та генеруючи основний обсяг парникових газів. У цьому контексті доведено, що поняття «еко-місто» трансформувалося з нішевої екологічної ініціативи у всеосяжну управлінську парадигму, яка інтегрує архітектурно-планувальні, інженерно-технічні та соціально-економічні рішення. Визначено, що ключовим трендом сучасного містобудування є відмова від техноцентризму на користь людиноцентричних моделей, які забезпечують високу якість життя через симбіоз урбанізованого середовища та природних екосистем.

За результатами аналітичного дослідження світового досвіду впровадження принципів еко-урбанізму на прикладі провідних міст Європи, Азії та Північної Америки виявлено суттєву диференціацію підходів до досягнення кліматичної нейтральності. Компаративний аналіз моделей розвитку таких міст, як Копенгаген, Фрайбург, Сінгапур та Куритіба, дозволив виокремити як високотехнологічні шляхи трансформації, що потребують значних капіталовкладень, так і організаційні рішення, доступні для економік, що розвиваються. Обґрунтовано, що для України, яка стикається з викликами масштабних руйнувань та обмеженості фінансових

ресурсів, пряме запозичення дорогих західних проєктів є недоцільним. Натомість найбільш перспективною визначено адаптивну гібридну модель, яка поєднує енергетичну децентралізацію, розвиток систем швидкісного громадського транспорту та принципи компактного розселення, що дозволяє досягти ефекту синергії при оптимізації витрат на відновлення.

Ключовим практичним результатом роботи стала розробка концепції трансформації міста Маріуполь, урбаністична система якого зазнала катастрофічних руйнувань внаслідок військової агресії. Доведено, що спроба відтворення довоєнної моделі індустріального центру із застарілою інфраструктурою та домінуванням екологічно небезпечних виробництв є стратегічно помилковою. На противагу цьому запропоновано авторську візію *EcoMariupol*, що базується на унікальній можливості проєктування «з чистого аркуша». Концепція передбачає перехід до поліцентричної структури міста, максимальне використання природного потенціалу регіону для розвитку сонячної та вітрової енергетики, а також повну переорієнтацію транспортної системи на екологічні види мобільності. Такий підхід дозволяє перетворити кризову ситуацію на можливість створення міста нового покоління, яке відповідатиме найвищим стандартам енергоефективності та безпеки.

Вагомим науковим здобутком дослідження є розробка та обґрунтування інтегральної математичної моделі оцінки рівня сталості еко-міста. Запропонована формула формалізує залежність сталого розвитку від п'яти критичних драйверів: рівня декарбонізації, ефективності сталої мобільності, якості зелено-блакитної інфраструктури, ступеня впровадження циркулярної економіки та рівня розвитку інтелектуально-соціального капіталу. Цей методологічний інструмент вперше дозволяє комплексно, а не фрагментарно, оцінювати прогрес міста на шляху до сталості. Апробація моделі на прикладі оцінки потенціалу Маріуполя дозволила ідентифікувати «перехідний» стан міста та визначити пріоритетні сфери для інвестування,

зокрема необхідність першочергового створення потужностей з переробки відходів руйнувань та відновлення зеленого каркаса.

Для забезпечення імплементації теоретичних розробок у практику муніципального управління сформовано покроковий алгоритм впровадження концепції еко-міст у післявоєнних громадах. Цей алгоритм, що складається з восьми етапів — від екологічного аудиту та візюнування до моніторингу результатів — виступає універсальною дорожньою картою відновлення. Він повністю узгоджується із засадами «Зеленого курсу» ЄС та національним Планом відновлення України, забезпечуючи системність, прозорість та ефективність процесу реконструкції. Реалізація запропонованих у роботі рішень сприятиме не лише фізичній відбудові зруйнованих міст, а й формуванню нової екологічної свідомості суспільства, забезпечуючи довгострокову конкурентоспроможність та стійкість українських громад у європейському цивілізаційному просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року: Резолюція Генеральної Асамблеї ООН від 25 вер. 2015 р. № 70/1. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
2. Нова програма розвитку міст (New Urban Agenda): затверджена на Конференції ООН з житла і сталого міського розвитку (Хабітат III). Кіто, 2016. URL: <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda>
3. Порядок денний на XXI століття (Agenda 21): прийнято на Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку, Ріо-де-Жанейро, 3–14 черв. 1992 р. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>
4. The European Green Deal: Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 11.12.2019. COM (2019) 640 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
5. 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030: Implementation Plan of the European Commission Mission. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2021. URL: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu>
7. ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Geneva: ISO, 2018.
8. PAS 2070:2013. Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city. Direct plus supply chain and consumption-based methodologies. London: British Standards Institution (BSI), 2013.
9. Wackernagel M., Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996. 160 p.

10. Bibri S. E. Smart Sustainable Cities of the Future: The Untapped Potential of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Advancing Sustainability. Cham: Springer, 2018.

11. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) / World Resources Institute (WRI), C40 Cities Climate Leadership Group, ICLEI. 2014. 176 p.

10. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books, 1972. 205 p.

11. Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F. Introducing the «15-Minute City»: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*. 2021. Vol. 4, iss. 1. P. 93–111. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>.

12. C40 Knowledge Hub: вебсайт. URL: <https://www.c40knowledgehub.org>

13. Carbon Monitor Cities: Near-real-time daily estimates of CO2 emissions from 1500 cities worldwide. URL: <https://cities.carbonmonitor.org>

14. ICLEI – Local Governments for Sustainability. HEAT+ Greenhouse Gas Emissions Quantification and Monitoring Tool. URL: <https://iclei.org>

15. Carbon Disclosure Project (CDP). Open Data Portal. URL: <https://www.cdp.net>

16. Про затвердження Плану відновлення України: матеріали Конференції з питань відновлення України (URC 2022), Лугано, 4–5 лип. 2022 р. URL: <https://recovery.gov.ua>.

17. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22 черв. 2017 р. № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 185 с.

18. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лют. 2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
19. Про управління відходами: Закон України від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>
20. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 трав. 2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>
21. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012. 46 с.
22. Паризька угода: ратифікована Законом України від 14 лип. 2016 р. № 1469-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. № 32. Ст. 535. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_l61 .
23. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Ратифіковано Законом України № 228-IV від 04.02.2004. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801 .
24. Угода мерів щодо клімату та енергії (Covenant of Mayors for Climate & Energy). Офіційний вебсайт ініціативи в Україні. URL: <https://com-east.eu/uk/>
25. Girardet H. *Creating Regenerative Cities*. London: Routledge, 2014. 256 p.
26. *Global Status Report for Buildings and Construction 2022*. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, 2022. URL: <https://www.unep.org>
27. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. *Official Journal of the European Union*. 2018. L 156. P. 75–91.

28. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Waste Framework Directive). *Official Journal of the European Union*. 2008. L 312. P. 3–30.

29. Leipzig Charter on Sustainable European Cities: agreed at the Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion in Leipzig, 24–25 May 2007. URL: <https://ec.europa.eu>

30. District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy. Nairobi: UNEP, 2015. URL: <https://www.unep.org/resources/report/district-energy-cities>

31. Arcadis Sustainable Cities Index 2024. Amsterdam: Arcadis, 2024. URL: <https://www.arcadis.com/en/knowledge-hub/perspectives/sustainable-cities-index>

32. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (with 2023 updates) / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations, 2019. URL: <https://population.un.org/wup/>

33. CPH 2025 Climate Plan: A Green, Smart and Carbon Neutral City. Copenhagen: The City of Copenhagen, Technical and Environmental Administration, 2012.

34. URL: https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/983_jkP0ekK.pdf

35. Greenest City 2020 Action Plan (GCAP) / City of Vancouver. Vancouver, 2012. URL: <https://vancouver.ca/green-vancouver/greenest-city-action-plan.aspx>

36. Ro3kvit: Urban Coalition for Ukraine. Vision for the Urban Future of Ukraine. 2023. URL: <https://www.ro3kvit.com>

37. Кліматичний план CPH 2025. URL: [Кліматичний план CPH 2025 | Місто Копенгаген](#).

38. Zero Waste 2040: Strategic Plan / City of Vancouver. Vancouver, 2018. URL: <https://vancouver.ca>

39. Singapore Green Plan 2030. Singapore Government, 2021. URL: <https://www.greenplan.gov.sg>

40. Sustainable City – Stockholm: The Hammarby Sjöstad Project. Stockholm: GlashusEtt, 2019.
41. Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F. Introducing the «15-Minute City»: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*. 2021. Vol. 4, iss. 1. P. 93–111. DOI: 10.3390/smartcities4010006.
42. Cervero R. The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Washington, D.C.: Island Press, 1998. (Розділ про Куритібу та BRT).
43. Rueda S. Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Barcelona's Case. *Ecological Urbanism*. 2019. URL: <http://www.bcnecologia.net>
44. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лют. 2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
45. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22 черв. 2017 р. № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
46. Про управління відходами: Закон України від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>
47. Про ринки капіталу та організовані товарні ринки: Закон України від 19 черв. 2020 р. № 738-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3480-15> .
48. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 трав. 2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p> .
49. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квіт. 2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p> .
50. План відновлення України: матеріали Конференції з питань відновлення України (URC 2022), Лугань, 4–5 лип. 2022 р. URL: <https://recovery.gov.ua>

51. Mariupol Reborn: Концепція просторового розвитку міста. Попереднє бачення (Візія, місія та цілі). Київ, 2023. URL: <https://mariupolreborn.com/>.

52. Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року: Резолюція Генеральної Асамблеї ООН від 25 вер. 2015 р. № 70/1. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

53. Паризька угода: ратифікована Законом України від 14 лип. 2016 р. № 1469-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. № 32. Ст. 535. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161.

54. Нова програма розвитку міст (New Urban Agenda): затверджена на Конференції ООН з житла і сталого міського розвитку (Хабітат III). Кіто, 2016. URL: <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda>.

55. The European Green Deal: Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 11.12.2019. COM (2019) 640 final.

56. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. *Official Journal of the European Union*. 2018. L 156. P. 75–91.

57. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Waste Framework Directive). *Official Journal of the European Union*. 2008. L 312. P. 3–30.

58. Circular Economy in Cities: Project Guide. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2019. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>

59. Green Bond Principles (GBP). Guidance for Issuers of Social, Green and Sustainability Bonds. Zurich: International Capital Market Association (ICMA), 2023. URL: <https://www.icmagroup.org>

60. Post-Conflict Reconstruction and Recovery. Urban Planning Guidelines. Nairobi: UN-Habitat, 2022.

61. Leipzig Charter on Sustainable European Cities: agreed at the Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion in Leipzig, 24–25 May 2007.

62. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 185 с.

63. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіон, 2018. 61 с.

64. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон, 2022.

65. ДСТУ ISO 37101:2019. Сталий розвиток в громадах. Система менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ISO 37101:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.

66. ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Geneva: ISO, 2018.

67. PAS 2070:2013. Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city. Direct plus supply chain and consumption-based methodologies. London: British Standards Institution (BSI), 2013.

68. The BRT Standard 2024. New York: Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), 2024. URL: <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/> .

69. CPH 2025 Climate Plan: A Green, Smart and Carbon Neutral City. Copenhagen: The City of Copenhagen, 2012. URL: <https://international.kk.dk>

70. Greenest City 2020 Action Plan (GCAP) / City of Vancouver. Vancouver, 2012. URL: <https://vancouver.ca> .

71. Singapore Green Plan 2030. Singapore Government, 2021. URL: <https://www.greenplan.gov.sg> .

72. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3): February 2022 – December 2023. Washington, DC: World Bank, 2024.
73. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) / WRI, C40 Cities, ICLEI. 2014. 176 p.
74. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva: IPCC, 2023.
75. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (with 2023 updates) / United Nations. New York, 2019.
76. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. The Limits to Growth : A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York : Universe Books, 1972.
77. Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C. Introducing the "15-Minute City": Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*. 2021. Vol. 4. P. 93–111.
78. Gehl J. Cities for People. Washington: Island Press, 2010. 288 p. (Укр. вид.: Гел Я. Міста для людей. Київ: Основи, 2018).
79. Cervero R. The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Washington, D.C. : Island Press, 1998.
80. Rueda S. Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Barcelona's Case. *Ecological Urbanism*. 2019.
81. Arnstein S. R. A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*. 1969. Vol. 35, No. 4. P. 216–224.
82. C40 Cities Climate Leadership Group: Knowledge Hub. URL: <https://www.c40knowledgehub.org> .
83. Carbon Monitor Cities: Near-real-time daily estimates of CO2 emissions. URL: <https://cities.carbonmonitor.org>.
84. ICLEI – Local Governments for Sustainability. URL: <https://iclei.org> .
85. EBRD Green Cities Methodology. URL: <https://www.ebrdgreencities.com> .