

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

До захисту допустити:  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ завідувача кафедри)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«ВПЛИВ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ ТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕННЯ НА**  
**ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В МІСТАХ: ДОСВІД ЄС»**

Кваліфікаційна робота здобувача вищої освіти  
першого бакалаврського рівня вищої освіти  
освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та  
збалансоване природокористування»

(назва освітньо-професійної програми)

Петухової Агнеси Іванівни

(прізвище, ім'я, п батькові здобувача вищої освіти)

Науковий керівник:

Зеленська Вікторія Анатоліївна

кандидат біологічних наук,

доцент кафедри раціонального природокористування

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи)

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою \_\_\_\_\_

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ «\_\_» 20\_\_ р.

## АНОТАЦІЯ

Петухова А. І. Вплив зелених дахів та вертикального озеленення на якість повітря в містах: досвід ЄС. – Кваліфікаційна робота.

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

У кваліфікаційній роботі досліджено роль зелених дахів як інструменту покращення якості повітря в урбанізованому середовищі.

У першому розділі проаналізовано теоретичні аспекти функціонування зелених дахів, їхні екологічні переваги та механізми впливу на мікроклімат міських територій.

Другий розділ присвячено аналізу європейського досвіду впровадження зелених дахів у містах. Розглянуто приклади з Німеччини, Франції, Швеції, зокрема їх нормативно-правові засади, підтримку на муніципальному рівні та ефективність реалізації.

У третьому розділі досліджено можливості адаптації європейських практик до українських реалій, запропоновано рекомендації щодо впровадження зелених дахів у вітчизняну екологічну політику з метою зниження рівня забруднення повітря у містах.

Результати дослідження свідчать про значний потенціал зелених дахів у підвищенні якості міського середовища та формуванні екологічно стійких міст.

**Ключові слова:** зелені дахи, якість повітря, урбанізація, екологічна безпека, сталий розвиток.

## Abstract

Petukhova A. I. "The impact of green roofs and vertical gardening on urban air quality: the EU experience". - Qualification work.

Qualification work for The Bachelor's degree in the OPP "Ecology, Environmental Protection and balanced nature management". - Mariupol State University, 2025. The qualification paper examines the role of green roofs as a tool for improving air quality in an urbanized environment.

The first chapter analyzes the theoretical aspects of the functioning of green roofs, their environmental advantages and mechanisms of influence on the microclimate of urban areas.

The second section is devoted to the analysis of the European experience in implementing green roofs in cities. Examples from Germany, France, Sweden are considered, in particular their regulatory framework, support at the municipal level and implementation efficiency.

The third chapter examines the possibilities of adapting European practices to Ukrainian realities, and offers recommendations for introducing green roofs into domestic environmental policy in order to reduce the level of air pollution in cities. The results of the study indicate a significant potential of green roofs in improving the quality of the urban environment and creating environmentally sustainable cities.

**Keywords:** green roofs, air quality, urbanization, environmental safety, Sustainable Development.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	9
1.1. Сучасні проблеми якості повітря у міських середовищах .....	9
1.2 Зелені технології у містобудуванні: визначення та види .....	14
1.3 Біологічні механізми очищення повітря .....	20
1.4 Зелені дахи та вертикальне озеленення: концепції, типологія, принципи роботи .....	23
Висновки до розділу 1 .....	29
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ЄС .....	31
2.1 Політики та регуляції ЄС щодо зеленого будівництва .....	31
2.2 Приклади впровадження зелених дахів у містах ЄС .....	35
2.3 Порівняльний аналіз ефективності рішень .....	39
Висновки до розділу 2 .....	49
РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ.....	51
3.1. Потенціал українських міст для зелених дахів та вертикального озеленення .....	51
3.2 Бар'єри та виклики для реалізації проєктів .....	55
3.3. Рекомендації для адаптації європейського досвіду в Україні .....	59
Висновок до розділу 3.....	63
ВИСНОВКИ .....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Актуальність теми дипломної роботи обумовлюється гострою необхідністю вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря, яка залишається однією з найсерйозніших екологічних загроз сучасного світу. Шкідливі викиди в повітря не тільки безпосередньо впливають на здоров'я населення, але й спричиняють глобальні кліматичні зміни. Відповідно до даних Всесвітньої організації охорони здоров'я, лише у 2014 році від наслідків забруднення повітря померло близько 3,7 мільйона людей у всьому світі. Це свідчить про масштабність проблеми та необхідність негайного впровадження ефективних заходів для її вирішення.

Забруднення атмосфери має як природне, так і антропогенне походження. До природних факторів належать виверження вулканів, пилові бурі, пожежі, пилок рослин, тобто явища, що існують незалежно від людської діяльності. Водночас саме діяльність людини — насамперед спалювання викопного палива, функціонування транспорту та промислових підприємств — стала домінантним джерелом шкідливих викидів. Результатом цього є підвищення концентрацій вуглекислого газу, сажі, важких металів, озону, оксидів азоту та сірки в повітрі, що спричиняє появу парникового ефекту, руйнування озонового шару, кислотних дощів, зниження якості життя в містах і загострення хронічних захворювань у населення.

За таких умов усе більшої значущості набуває екологічне переосмислення способів організації міського простору. Сучасні підходи до благоустрою територій мають на меті не лише забезпечення естетичного вигляду забудови, але й створення умов для оздоровлення навколишнього середовища, покращення мікроклімату та зниження шкідливого впливу урбанізації. Озеленення міського простору — один із найдієвіших засобів досягнення цих цілей. Рослинність виконує цілу низку функцій: насичує повітря киснем, поглинає пил та гази, знижує рівень шуму, захищає від

перегрівання влітку та охолодження взимку, а також створює психологічно комфортні умови для мешканців.

У цьому контексті особливе значення набувають такі інноваційні практики, як зелені дахи та вертикальне озеленення. Їх використання дозволяє максимально ефективно використовувати обмежені міські площі, інтегруючи рослинність у структуру будівель. Зелені дахи не лише перетворюють неексплуатовані покрівлі на функціональні зони, але й поліпшують теплоізоляцію, затримують дощові води, знижують рівень шуму та очищують повітря. Вертикальне озеленення фасадів, у свою чергу, створює зелений щит від вуличного забруднення та сприяє загальному оздоровленню урбаністичного простору.

Європейський Союз має значний досвід у впровадженні таких рішень і є одним із провідних регіонів, що формують екологічну політику в містобудуванні. У країнах ЄС ці підходи стали невід'ємною частиною стратегій сталого розвитку міст, включаючи політичні, економічні, нормативні та наукові аспекти. Успішні приклади реалізації проектів зелених дахів у Німеччині, Франції, Нідерландах свідчать про їхню ефективність. Наприклад, у Гамбурзі активно діють муніципальні програми субсидування таких рішень, а в Парижі з 2020 року на законодавчому рівні запроваджено вимогу до обов'язкового озеленення нових будівель.

Ключовою особливістю європейського підходу є не лише технологічне впровадження озеленення, а й чітке законодавче регулювання та наукове обґрунтування відповідних рішень. ЄС активно реалізує політики, спрямовані на покращення якості повітря, скорочення викидів парникових газів та підвищення енергоефективності будівель, зокрема в рамках таких ініціатив, як European Green Deal та Директива про енергоефективність будівель (EPBD). Проведені наукові дослідження у країнах Європи демонструють позитивний вплив зелених дахів на зниження рівня дрібнодисперсного пилу та діоксиду вуглецю в міському повітрі, що є важливим аргументом для адаптації цих практик в інших країнах, зокрема в Україні.

Слід підкреслити, що впровадження зелених технологій розглядається в Європі не лише як екологічний обов'язок, а й як вигідна інвестиція в майбутнє міст. Зелені дахи дозволяють економити на витратах на охолодження приміщень, продовжують термін служби покрівлі, підвищують ринкову вартість нерухомості, зменшують ризики підтоплень завдяки акумуляції зливових вод. Крім того, вони сприяють підвищенню рівня комфортності міського простору, що позитивно впливає на соціальну згуртованість, добробут населення та туристичну привабливість міст.

З огляду на спільність деяких кліматичних зон, подібність урбаністичних проблем та наявні екологічні загрози, досвід Європейського Союзу є надзвичайно цінним для українських міст. Його адаптація може стати поштовхом до формування нової парадигми міського планування в Україні, орієнтованої на екологічну безпеку, стійкість до змін клімату та поліпшення якості життя. Враховуючи масштаб проблеми забруднення повітря та світові тенденції, тема впровадження зелених дахів і вертикального озеленення є надзвичайно актуальною як у науковому, так і в практичному вимірі.

Головною *метою роботи* є визначення впливу зелених дахів та вертикального озеленення на якість повітря в міських умовах, а також аналіз європейського досвіду впровадження цих технологій для розробки рекомендацій щодо їх адаптації в Україні.

*Предметом дослідження* є вплив зелених дахів та вертикального озеленення на якість повітря, включаючи механізми очищення, затримання дрібнодисперсного пилу, зменшення концентрації вуглекислого газу та інших шкідливих речовин.

*Об'єктом дослідження* є міські екосистеми, що включають елементи зелених дахів і вертикального озеленення, як складові сучасної урбаністичної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети вирішили такі *завдання*:

- Вивчили основні принципи функціонування зелених дахів та вертикального озеленення.

- Дослідили біологічні механізми впливу рослин на очищення повітря.
- Проаналізували ключові екологічні функції зелених дахів та вертикального озеленення.
- Оцінили їхню ефективність у зниженні концентрації забруднюючих речовин у повітрі.
- Вивчили практики впровадження зелених дахів у містах ЄС.
- Проаналізували нормативні акти та регуляції, які сприяли поширенню цих технологій у Європі.
- Оцінили можливості застосування європейського досвіду в українських містах.
- Виявили потенційні бар'єри та виклики для реалізації подібних проєктів.
- Розробили рекомендації для українських міст щодо впровадження зелених дахів та вертикального озеленення як елементів міського планування.

Для виконання цієї роботи використовували такі **методи дослідження**: літературний огляд, порівняльний аналіз, аналіз даних.

**Практичне значення** результатів проведеного дослідження полягає в можливості їх використання для розробки і впровадження конкретних екологічних рішень у міському плануванні, архітектурі та урбаністиці в Україні. Отримані дані та аналітичні висновки можуть слугувати науковим та методичним підґрунтям для ініціатив з озеленення міських територій, що спрямовані на покращення якості атмосферного повітря, зниження температури в міському середовищі, підвищення енергоефективності будівель та формування сприятливого мікроклімату.



## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1. Сучасні проблеми якості повітря у міських середовищах

Першим кроком до розуміння проблем якості повітря є усвідомлення причин забруднення атмосфери та наслідків цього явища для людини й довкілля. Сьогодні забруднення повітря у містах стало однією з найактуальніших екологічних загроз, що вимагає комплексного підходу до її вивчення та вирішення.

Одним із головних джерел атмосферного забруднення в міському середовищі є автотранспорт. Сучасні автомобілі не лише споживають велику кількість кисню, а й викидають значні обсяги вуглекислого газу та інших шкідливих сполук. За статистикою, на транспорт припадає близько 90% усіх викидів шкідливих речовин у повітря. Вихлопні гази — це складна суміш газоподібних продуктів згоряння пального та твердих часток, зокрема канцерогенів і водяної пари.

Серед основних компонентів, які утворюються під час спалювання бензину та дизельного пального, — вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), оксиди азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) та сірки ( $\text{SO}_2$ ), сажа (C), сполуки свинцю, вуглеводні ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) і альдегіди. Усі ці речовини здатні викликати серйозні порушення здоров'я: ураження центральної нервової системи, печінки, нирок, захворювання дихальних шляхів, алергії, інтоксикації та онкологічні процеси.

Однак ступінь впливу автотранспорту залежить не лише від кількості викидів, але й від здатності забруднювачів розповсюджуватись у повітрі, їхньої хімічної активності, а також метеорологічних умов. Первинні забруднювачі можуть вступати у взаємодію між собою, утворюючи ще більш токсичні сполуки — такі як сульфати ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), нітрати ( $\text{NO}_3$ ), органічні кислоти, фотооксиданти. Важливою складовою цього процесу є парникові гази, які окремо заслуговують на детальний розгляд.

Парникові гази — це гази, які здатні поглинати та випромінювати інфрачервоне випромінювання, що сприяє ефекту парникового ефекту і, як наслідок, зміні клімату. До них належать вуглекислий газ, метан, озон, закис азоту, водяна пара та деякі синтетичні сполуки []. Найбільш відомим серед них є  $\text{CO}_2$  — безбарвний газ, який у помірній кількості є необхідним для підтримання життя, але у надлишку викликає небажані кліматичні зміни.

Вуглекислий газ потрапляє в атмосферу як із природних джерел (розкладання органічних речовин, виверження вулканів, горіння лісів), так і внаслідок людської діяльності: спалювання викопного палива, викиди транспорту, промисловість, вирубка лісів, аграрні технології. Хоча  $\text{CO}_2$  не токсичний у звичних концентраціях, його надлишок посилює парниковий ефект, сприяє закисленню океанів і руйнуванню екосистем.

Ще одним небезпечним утворенням є озон. У природі він виконує захисну функцію на висоті 10–50 км (озоновий шар), запобігаючи проникненню шкідливого ультрафіолету. Водночас озон, який формується у нижніх шарах атмосфери (тропосфері) — вторинний забруднювач, що виникає під дією сонячного випромінювання за участі оксидів азоту та вуглеводнів. Він шкідливий як для здоров'я людини, викликаючи респіраторні захворювання, так і для довкілля, пригнічуючи ріст рослин і знижуючи врожайність.

У контексті міських викидів важливо також згадати метан ( $\text{CH}_4$ ). Хоча він трапляється в атмосфері у менших кількостях, ніж  $\text{CO}_2$ , метан має значно сильніший парниковий ефект — у 25 разів вищий протягом 100 років. Основними джерелами його викиду в містах є полігони твердих побутових відходів, каналізаційні системи, витоки газу. Через застарілі системи управління відходами проблема метану в українських містах стоїть особливо гостро.

За даними Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), зменшення викидів метану є одним із найефективніших заходів для швидкого поліпшення якості повітря та уповільнення глобального потепління (UNEP, 2021) [31].

Загрозливим є і той факт, що міські системи управління відходами в Україні здебільшого застарілі, а сміттєзвалища — неконтрольовані джерела викидів метану. У поєднанні з підвищеними температурами у місті, це створює вибухонебезпечне середовище з потенційно катастрофічними наслідками. Боротьба з викидами метану має стати одним із пріоритетів в екологічній політиці міст — шляхом модернізації інфраструктури, біогазових установок і ефективного управління органічними відходами.

Ще один серйозний парниковий агент — закис азоту ( $N_2O$ ), третій за впливом після  $CO_2$  та  $CH_4$ . У побуті він відомий як «звеселяючий газ» через свою анестезуючу та ейфорізуючу дію. Його викиди зумовлені як природними мікробіологічними процесами у ґрунті, так і діяльністю людини: використанням добрив, тваринництвом, промисловими процесами, а також спалюванням біомаси. А його вплив на атмосферу є особливо важливим і серйозним питанням у контексті зміни клімату та охорони навколишнього середовища.

На перший погляд, водяна пара може видаватися нешкідливою, адже вона — природний елемент атмосфери. Проте вона діє як підсилювач кліматичних змін: зі зростанням температури збільшується вміст вологи у повітрі, яка ще інтенсивніше утримує тепло.

У містах, де урбанізація змінює локальні мікрокліматичні умови, водяна пара відіграє значну роль у формуванні парникового ефекту на місцевому рівні. Щільна забудова, скорочення зелених зон, нагріті асфальтові поверхні — все це сприяє випаровуванню вологи та накопиченню в повітрі водяної пари. Зокрема, у великих містах влітку вологість може зростати до 70–90%, що не тільки створює дискомфорт, але й посилює вплив інших забруднювачів — таких як озон, сажа, формальдегіди.

Крім того, висока вологість повітря може збільшувати стійкість аерозолів та мікроскопічних часток у повітрі, що утруднює їх осадження та посилює ризик для здоров'я. Особливо це небезпечно для людей з хронічними захворюваннями дихальної системи. Експерти Європейського центру з питань

навколишнього середовища зазначають, що посилення гідрологічного циклу є однією з найсуттєвіших ознак зміни клімату в міських умовах (ЕА, 2021).

Завершуючи аналіз основних забруднювачів, слід звернути увагу на синтетичні хімічні сполуки, які утворюються внаслідок діяльності промислових підприємств, використання побутової хімії, пестицидів, лакофарбових матеріалів або спалювання пластику. Особливо небезпечними серед них є леткі органічні сполуки (ЛОС), фреони, поліхлоровані біфеніли. Вони можуть викликати серйозні наслідки як для здоров'я людей, так і для довкілля навіть у низьких концентраціях.

Багато з цих речовин є високотоксичними, канцерогенними або мають мутагенний ефект. Наприклад, формальдегід — частий компонент оздоблювальних матеріалів — при випаровуванні накопичується в приміщеннях і на вулиці, викликаючи головний біль, подразнення слизових оболонок та алергічні реакції. Фреони, що використовуються в кондиціонерах, холодильниках та аерозолях, руйнують озоновий шар, що додатково посилює вплив УФ-випромінювання на жителів міст.

Урбанізоване середовище міст перетворюється на хімічний коктейль, склад якого змінюється залежно від погоди, сезону, рівня індустріалізації та щільності населення. Проблема ускладнюється низьким рівнем контролю за викидами синтетичних речовин, зокрема в країнах, що розвиваються. Забруднення такого типу складно моніторити, оскільки ці речовини часто мають кумулятивний ефект і діють повільно, але системно.

Саме тому в Європейському Союзі діють суворі регламенти щодо використання синтетичних речовин, зокрема REACH Regulation (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals), який зобов'язує виробників доводити безпечність кожної хімічної речовини ще до її виведення на ринок. Такий підхід демонструє приклад, як баланс між прогресом і екологічною безпекою можна досягти за рахунок науково обґрунтованих рішень [46].

Проте особливу тривогу викликає зростання рівня дрібнодисперсного пилу (PM2.5 та PM10), що може проникати глибоко в легені і навіть у кровоносну систему людини. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), близько 99% міського населення Європи дихає повітрям, що не відповідає рекомендованим нормам якості повітря [54]. Ці частки пов'язують із підвищеним ризиком розвитку інсультів, серцево-судинних хвороб та раку легенів.

У міських середовищах забруднення повітря не тільки погіршує здоров'я мешканців, але й чинить потужний тиск на економіку: витрати на охорону здоров'я, зниження продуктивності праці, підвищення смертності. Згідно з дослідженням Європейського агентства з охорони довкілля (EEA), у 2020 році забруднення повітря стало причиною передчасної смерті понад 238 тисяч людей у Європейському Союзі [29]. В Україні ж ситуація ще складніша через відсутність сучасної системи моніторингу та контролю, недостатню екологічну свідомість громадян і слабку імплементацію європейських норм.

Зміни клімату лише підсилюють ці ризики. Зі зростанням середньорічної температури активізуються процеси фотохімічного забруднення, особливо влітку, коли утворення тропосферного озону досягає критичних рівнів. Такі умови поглиблюють і без того важкий стан атмосферного повітря у містах.

Міська забудова із щільними бетонними структурами, відсутністю зелених насаджень та низьким рівнем вентиляції створює так званий «міський тепловий острів», що погіршує мікроклімат і посилює забруднення. Повітря застоюється, а шкідливі домішки накопичуються. У таких умовах особливу роль відіграють природні фільтри – дерева, кущі, газони та вертикальні зелені стіни.

Усі вищезгадані чинники взаємодіють між собою, створюючи складну, агресивну атмосферу, яка впливає не лише на екологію, але й безпосередньо на здоров'я людей. В таких умовах міста потребують рішень, що поєднують технологічний прогрес і природну рівновагу. Зелені інфраструктурні рішення, зокрема зелені дахи та вертикальне озеленення, можуть стати відповіддю на

цей виклик, зменшуючи рівень забруднення і формуючи середовище, придатне для життя.

## **1.2 Зелені технології у містобудуванні: визначення та види**

Сучасне місто — це не лише скупчення будівель і доріг. Це динамічний організм, що щодня взаємодіє з природою і людьми. І саме на цьому перетині виникає потреба в новій філософії будівництва — зеленій.

Зелені технології у містобудуванні — це сукупність інноваційних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу будівництва та експлуатації міських об'єктів на навколишнє середовище. Вони включають використання екологічно чистих матеріалів, енергоефективних систем, управління водними ресурсами та інтеграцію природних елементів у міське середовище.

Поняття зелених технологій виникло у відповідь на глобальні екологічні виклики, такі як зміна клімату, забруднення довкілля та виснаження природних ресурсів. Перші концепції з'явилися у 1970-х роках, але широке впровадження розпочалося з 1990-х років, коли були розроблені перші стандарти зеленого будівництва, зокрема LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) у США та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) у Великобританії.

Зелені технології являють собою великий і багатогранний термін, який охоплює всі види технологій, створених з акцентом на дотримання екологічних стандартів і принципів сталого розвитку. Ці технології охоплюють весь процес – від розробки та виробництва до використання та утилізації. В умовах сучасного світу, де ресурси виснажуються швидше, ніж вони можуть бути відновлені природою, зелені технології стають все більш актуальними. Головна мета таких технологій полягає в тому, щоб мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, сприяти контролю над зміною

клімату і знижувати нашу залежність від невідновлюваних джерел енергії, таких як вугілля, нафта і газ.

Зелені технології покликані не тільки захистити екосистеми, а й допомогти людству адаптуватися до нових екологічних умов. Наприклад, вони можуть включати використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, а також технології, спрямовані на підвищення енергоефективності та зменшення викидів вуглекислого газу. Ці інновації дозволяють значно скоротити вуглецевий слід і мінімізувати шкідливий вплив на природу.

Вони є екологічно безпечними у порівнянні з викопним паливом і мають великий потенціал для забезпечення людства енергією у довгостроковій перспективі.

До основних видів ВДЕ належить енергія сонця, яка може бути перетворена на тепло, електрику або навіть хімічну енергію. Сонячне випромінювання, що надходить на поверхню Землі, за своїм обсягом здатне задовольнити всі глобальні енергетичні потреби. Ще одним джерелом є енергія вітру: вітрові турбіни перетворюють його кінетичну енергію на обертальний рух, який далі трансформується в електроенергію. Також широко використовується енергія води — передусім річок, що є одним із найдавніших джерел електроенергії. Крім того, у багатьох регіонах ефективно використовується геотермальна енергія — тепло з надр Землі, яке можна добувати у вигляді гарячої води чи пари з підземних шарів.

Серед основних переваг ВДЕ варто виділити їх екологічність: у процесі виробництва енергії викиди шкідливих речовин в атмосферу значно знижуються або відсутні зовсім, що позитивно впливає на стан довкілля та уповільнює зміну клімату. Також їхня ключова перевага — невичерпність: сонце, вітер і вода є постійно доступними природними ресурсами. Економічна вигода проявляється у довгостроковій перспективі, оскільки, незважаючи на високі початкові інвестиції, ВДЕ не потребують витрат на паливо, що знижує загальну вартість виробництва енергії з часом.

Однак ВДЕ мають і певні недоліки. Наприклад, деякі з них не є повністю екологічно нейтральними: зокрема, будівництво гідроелектростанцій може порушувати природний перебіг річок і впливати на біорізноманіття. Крім того, енергетична продуктивність ВДЕ часто залежить від погодних умов: сонце не завжди світить, вітер не завжди дме, що призводить до нестабільного виробництва. Також варто враховувати, що сонячні та вітрові електростанції потребують великих площ для встановлення обладнання, що може бути недоцільно в густонаселених чи цінних природних зонах.

Таким чином, відновлювані джерела енергії є важливим напрямом розвитку екологічної енергетики, але потребують комплексного підходу та врахування як переваг, так і обмежень.

Незважаючи на безліч переваг, пов'язаних з впровадженням зелених технологій, перед їх широким поширенням стоять певні виклики. До таких перешкод можна віднести високі початкові інвестиції, недостатню обізнаність і розуміння з боку споживачів, а також необхідність в державній підтримці і законодавчих ініціативах, що сприяють розвитку екологічно чистих технологій. Однак за останні роки сектор зелених технологій став одним з найбільш швидкозростаючих у світі, надаючи нові робочі місця та можливості для бізнесу.

Термін «технологія» в загальному розумінні охоплює застосування різних методів, навичок і процесів, що використовуються для досягнення певних цілей, будь то в наукових дослідженнях, виробництві або інших областях. Зелена технологія, або грінтек, являє собою підкатегорію, яка акцентує увагу на розробці та реалізації рішень, що сприяють сталому розвитку. Це може включати в себе не тільки виробництво екологічно чистих товарів, а й оптимізацію процесів, щоб вони стали більш ефективними і менш ресурсоемними.

«Green Tech» охоплює широкий спектр напрямків, включаючи, але не обмежуючись ними, відновлювані джерела енергії, переробку відходів, стійке сільське господарство та екологічно чисті будівельні технології. Всі ці



напрямки мають спільну мету — мінімізувати негативний вплив на природу і сприяти більш гармонійному співіснуванню людини і навколишнього середовища.

Важливо відзначити, що зелені технології не тільки сприяють охороні навколишнього середовища, але й можуть бути економічно вигідними. Інвестиції в «зелені» рішення можуть призвести до зниження витрат на енергію, поліпшення якості життя і створення нових робочих місць. Це робить їх привабливими як для бізнесу, так і для урядів, які прагнуть до сталого розвитку.

Таким чином, зелені технології являють собою ключовий елемент у боротьбі з екологічними викликами сучасності. Вони не тільки допомагають зберегти природні ресурси, але й відкривають нові горизонти для інновацій та економічного зростання. Важливо продовжувати розвивати та впроваджувати ці технології, щоб забезпечити стійке майбутнє для наступних поколінь.

Зелене будівництво. Sustainable Construction – це еко-орієнтована концепція, вперше сформульована в США в 1994 році. В основі даного підходу лежать гуманістичні принципи і концепція сталого розвитку, спрямовані на підвищення комфорту користувачів будівель при одночасному зниженні негативного впливу на навколишнє середовище і формування позитивних культурних і естетичних цінностей. Реалізація цієї концепції передбачає:

- Максимальну ефективність використання водних і енергетичних ресурсів.
- Застосування виключно екологічно безпечних будівельних матеріалів.
- Мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та обсягів відходів, що утворюються.
- Пріоритетне використання матеріалів місцевого виробництва з метою скорочення транспортних витрат і супутнього забруднення.

Екобудівництво — це сучасний підхід до проектування та зведення будівель, що ґрунтується на принципах сталого розвитку й гармонійного співіснування з природним середовищем. Оцінка ефективності екологічного

будівництва здійснюється за трьома ключовими напрямками: екологічний вплив, соціальна значимість і економічна доцільність.

Екологічні аспекти екобудівництва передбачають максимальне зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Це досягається за рахунок скорочення споживання природних ресурсів, зниження рівня забруднення повітря й води, а також захисту екосистем і збереження біорізноманіття. У рамках таких підходів активно впроваджуються відновлювані джерела енергії, застосовуються екологічно безпечні, нетоксичні будівельні матеріали, а також розробляються рішення для переробки відходів і повторного використання ресурсів. Проектування будівель враховує особливості клімату та ландшафту, що дозволяє краще адаптувати конструкції до умов навколишнього середовища.

Економічна доцільність екобудівництва проявляється в низці суттєвих переваг. Насамперед, це зменшення загальних витрат на будівництво та подальшу експлуатацію об'єктів. Завдяки енерго- й водозбереженню знижуються витрати на комунальні послуги. Крім того, екобудівлі сприяють підвищенню продуктивності праці та підтримці здорового способу життя мешканців. Розвиток таких проєктів стимулює зростання ринку екологічно чистих матеріалів і технологій. Одним із важливих рішень є впровадження систем рециркуляції води, що дозволяє ефективно використовувати природні ресурси та зменшити навантаження на інженерні мережі.

Соціальні переваги екологічного будівництва охоплюють підвищення якості життя завдяки врахуванню потреб мешканців і створенню комфортного середовища для проживання. Такі будівлі позитивно впливають на здоров'я людей завдяки поліпшенню якості повітря, природному освітленню, використанню безпечних матеріалів і забезпеченню хороших умов для повсякденного функціонування. Також екобудівництво допомагає знизити навантаження на місцеву інфраструктуру, оскільки об'єкти можуть бути частково або повністю автономними в питаннях енергозабезпечення, водопостачання та утилізації відходів.

Загалом, екобудівництво є важливою складовою переходу до сталого розвитку, поєднуючи турботу про довкілля, вигоди для економіки та підвищення якості життя людей.

На відміну від традиційної «сірої» інфраструктури, «зелена» використовує природні процеси для вирішення таких завдань, як регулювання водного балансу, пом'якшення спеки і очищення повітря. Наприклад, за даними EPA (Environmental Protection Agency), це може зменшити ризик повені в містах на 30%, а дослідження показують, що зелені насадження в містах допомагають знизити температуру під час спекотних періодів. Ключові елементи зеленої інфраструктури, такі як дощові сади, проникні покриття та біопруди, сприяють природному відведенню зливових вод, зменшуючи поверхневий стік і, як наслідок, ризик повеней. Стійкі дренажні системи (SuDS) є екологічним підходом до управління дощовою водою. Замість того, щоб швидко відводити воду з поверхні, SuDS прагнуть утримувати, збирати та очищати її безпосередньо на місці. Це дозволяє імітувати природні процеси, знижуючи навантаження на традиційні водостоки і пропонуючи цілий ряд переваг: від зниження ризику повеней і поліпшення якості води до створення сприятливого середовища для дикої природи і підвищення привабливості міського середовища. Впровадження SuDS допомагає створювати більш екологічну інфраструктуру, покращує самопочуття людей і підвищує вартість нерухомості.

Ксерискейпінг – це підхід до ландшафтного дизайну, спрямований на мінімізацію або повне виключення поливу. Це особливо важливо в регіонах з дефіцитом води і є ефективною альтернативою традиційному садівництву. Цей метод, також відомий як водозберігаючий, посухостійкий або розумний ландшафтний дизайн, передбачає використання місцевих рослин, пристосованих до посухи, та застосування технологій для запобігання втрат води. В результаті ксерискейпінг дозволяє скоротити споживання води на озеленення до 60% в порівнянні зі звичайними садами, і може застосовуватися в різних кліматичних умовах. На відміну від природного озеленення,

ксерискейпінг робить акцент на виборі рослин, які максимально заощаджують воду, створюючи при цьому стійкі та різноманітні екосистеми, які не потребують інтенсивного догляду. Проте, попри значний потенціал, їх впровадження може супроводжуватися певними труднощами. Узагальнені переваги та недоліки використання таких технологій наведено в таблиці нижче.

Таблиця 1.2

### Переваги та недоліки використання «зелених» технологій

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Екологічні:</b> зменшення викидів парникових газів, покращення якості повітря та води, збереження біорізноманіття.</li> <li>• <b>Економічні:</b> зниження витрат на енергію та воду, підвищення вартості нерухомості, доступ до грантів та субсидій.</li> <li>• <b>Соціальні:</b> покращення здоров'я та добробуту мешканців, створення привабливого міського середовища.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Високі початкові витрати:</b> впровадження зелених технологій може вимагати значних інвестицій.</li> <li>• <b>Необхідність спеціалізованих знань:</b> проектування та обслуговування таких систем потребує кваліфікованих фахівців.</li> <li>• <b>Можливі технічні складнощі:</b> інтеграція нових технологій у існуючу інфраструктуру може бути складною.</li> </ul>

Таким чином, зелені технології є ключовим елементом сталого розвитку міст. Вони сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля, покращують якість життя мешканців та забезпечують економічні вигоди. Незважаючи на певні виклики, пов'язані з впровадженням, переваги зелених технологій значно переважають їхні недоліки, що робить їх важливим напрямком у сучасному містобудуванні.

### 1.3 Біологічні механізми очищення повітря

Природа ефективно використовує мікроорганізми та рослини для очищення повітря від забруднень. Мікроорганізми, за наявності кисню, здатні розщеплювати широкий спектр забруднюючих речовин до простих і нешкідливих компонентів – вуглекислого газу та води. Дослідження кліматологів, опубліковані в журналі *Nature Geoscience*, показали, що мохи, лишайники та ціанобактерії щорічно переробляють до 7% вуглекислого газу, що виділяється всією біосферою Землі. Ці організми також відіграють важливу роль у кругообігу азоту, фіксуючи від 30% до 80% біологічного азоту залежно від умов середовища.

Мох – це вид вищих спорових рослин, який має деякі спільні риси з водоростями, але є більш складною формою. Його можна розділити на листостеблові і печінкові різновиди. Мох розмножується спорами, які утворюються в спеціальному органі, який називається спорофітом. Деякі види моху, такі як сфагнум, утворюють торф, який є горючим викопним паливом. Тут також варто згадати й про лишайники – своєрідну групу нижчих рослин (на думку деяких учених — відділ царства грибів) з унікальною (дуалістичною) будовою слані, до складу якої входять грибний (мікобіонт) і водоростевий (фікобіонт) компоненти [11].

На Землі існує безліч одноклітинних і багатоклітинних організмів, які поглинають вуглекислий газ і використовують його для виробництва поживних речовин. Незважаючи на велику кількість і різноманітність цих організмів, їх роль у кругообігу вуглецю в природі все ще недостатньо вивчена. Команда кліматологів під керівництвом Ульріха Пошля з хімічного Інституту Макса Планка в Майнці, Німеччина, оцінила внесок цих організмів у глобальний баланс вуглецю та вуглекислого газу в природі. Вони проаналізували результати більш ніж 200 наукових робіт, присвячених життєдіяльності мохів, лишайників, ціанобактерій та інших організмів.

Порівнюючи та об'єднуючи роботи інших вчених, Вульш та його колеги змогли отримати дані про колонії цих організмів у всіх регіонах Землі. Це дозволило їм оцінити їх загальний внесок у вуглецевий цикл. Вчені виявили,

що ці організми найбільш ефективно поглинають вуглекислий газ в лісах помірного і субтропічного поясу і найменш ефективно - в екваторіальних і тропічних регіонах. В результаті було виявлено, що європейські колонії лишайників і мохів найбільш ефективно перетворюють вуглекислий газ в біомасу, в той час як африканські колонії найменш активні в цьому процесі.

Крім того, ця група організмів відіграє значну роль у кругообігу азоту, оскільки вони є основними постачальниками азоту в біосферу. Вони вловлюють від 30% до 80% всього біологічного азоту, залежно від рельєфу місцевості та кліматичних умов, додаючи в біосферу в цілому 49 мільйонів тонн на рік, що становить приблизно 46% від щорічного приросту маси органічного азоту.

Дослідники припускають, що цей високий рівень фіксації азоту може вплинути на здатність інших рослин захоплювати вуглекислий газ, оскільки нестача азоту в ґрунті може обмежити здатність рослин поглинати CO<sub>2</sub>. Було доведено, що великі колонії лишайників, мохів і ціанобактерій позитивно впливають на ефективність фотосинтезу листя дерев, чагарників і трав. Мохи, лишайники та водорості також можна використовувати для озеленення дахів та стін.

У промисловості та міському середовищі для очищення повітря від забруднень застосовуються біофільтри та біоскрубери.

Біофільтри є системами, в яких забруднене повітря проходить через шар пористого матеріалу, заселеного мікроорганізмами. Ці мікроорганізми утворюють біоплівку, яка розкладає забруднювачі, такі як леткі органічні сполуки (ЛОС) та запахи, до нешкідливих продуктів. Біофільтри широко застосовуються в сільському господарстві, на очисних спорудах та в харчовій промисловості завдяки їхній високій ефективності та низьким експлуатаційним витратам [33].

Біоскрубери поєднують процеси абсорбції та біологічного розкладу. Забруднене повітря проходить через абсорбційну колону, де розчиняється у рідині, що містить мікроорганізми. У біореакторі ці мікроорганізми

розкладають забруднювачі до вуглекислого газу та води. Біоскрубери ефективні для видалення кислотних та лужних сполук, а також ЛОС [34].

Використання мохів, лишайників та ціанобактерій у поєднанні з біофільтрами та біоскруберами дозволяє створювати ефективні системи очищення повітря, які імітують природні процеси та сприяють зменшенню забруднення в урбанізованих середовищах.

#### **1.4 Зелені дахи та вертикальне озеленення: концепції, типологія, принципи роботи**

Зелені дахи — це системи, де на дахах будівель висаджуються рослини. Вони сприяють зменшенню ефекту міського теплового острова, покращують теплоізоляцію та знижують витрати на енергію.

Зелені стіни або вертикальне озеленення — це рослинні композиції на фасадах будівель. Вони покращують якість повітря, знижують рівень шуму та створюють естетично привабливе середовище.

Історія озеленення дахів сягає корінням в глибоку старовину. Ідея створення садів на дахах будівель існує вже кілька тисячоліть. Приклади таких садів можна знайти ще в стародавніх цивілізаціях, наприклад, в шумерському державі Ур, де на зиккуратах росли дерева. Найвідомішим прикладом є легендарні Висячі сади Семіраміди у Вавилоні, які вважалися одним із чудес світу. У Стародавній Греції та Римі було прийнято прикрашати тераси рослинами в горщиках. Археологічні знахідки в Помпеях і Геркуланумі свідчать про існування садів на дахах вілл. В епоху Відродження Італія славилася своїми садами, в тому числі і на дахах, як, наприклад, сад на віллі Медічі у Флоренції. Подібні сади створювалися і в інших країнах Європи, наприклад, в Німеччині та Швеції. Довгий час сади на дахах були привілеєм багатих. Лише в XIX столітті, з появою нових будівельних технологій і матеріалів, вони стали широко поширюватися в Європі. Першим, хто розробив конструкцію даху-саду, був Карл Рабітц. Він назвав свою систему «Naturdach

von vulkanischem Zement» (природний дах з вулканічного цементу). Вона являла собою плоский дах з дерев'яною опалубкою, ізолюючим шаром, шаром пружного цементу (ймовірно, бітумного) і шаром вулканічного цементу, який виготовлявся з суміші портландцементу (обпаленого вапняку і глини) з вулканічними породами і гравієм. Рабіц, впевнений в успіху свого винаходу, представив його на Всесвітній виставці в Парижі в 1867 році. Він продемонстрував модель будинку з садом на даху і опублікував брошуру, в якій описував переваги своїх дахів: вогнестійкість, красу, довговічність і доступність. У брошурі також була ілюстрація його власного саду на даху в Берліні. На початку ХХ століття мода на експлуатовані дахи охопила всю Європу. Великий внесок у розвиток цієї ідеї зробили архітектори та теоретики, такі як Ле Корбюзьє та Френк Ллойд Райт. Французький архітектор Ле Корбюзьє сформулював «5 вихідних точок сучасної архітектури», дві з яких безпосередньо пов'язані з розвитком садів на дахах: використання стовпів-опор і плоских дахів-терас. Він писав, що завдяки залізобетону будинок «піднімається в повітря», а під ним і на його даху можна розбити сад. Перший принцип дозволяв звільнити простір під будівлею, а другий – збільшити корисну площу будинку. Ле Корбюзьє здійснив багато проектів з експлуатованими дахами, від невеликих вілл до великих житлових комплексів, таких як "житловий блок" у Марселі. Надихнувшись європейським досвідом і новими будівельними можливостями, в кінці 1950-х років в Окленді був створений один з найбільших садів на даху. Сад площею 12 000 м<sup>2</sup> був розбитий на даху п'ятиповерхового гаража Кайзер-центру. Автором проекту був ландшафтний архітектор Теодор Осмундсон. Сад, розташований на монолітній залізобетонній плиті, активно використовувався для прогулянок співробітниками сусідньої будівлі. Зелень, квіти, газони і вільні обриси водного басейну створювали атмосферу мальовничого парку.

Розглянемо детальніше основні види озеленення дахів та стін.

Екстенсивне озеленення – це найпростіший тип зеленого даху, що характеризується невеликою вагою і мінімальними вимогами до догляду.



Використовується тонкий шар ґрунту (до 15 см), на якому ростуть невибагливі, низькорослі рослини. Такі дахи підходять для різних типів покрівель, від плоских до похилих, і часто не вимагають регулярного поливу або добрива. Цей дах призначений скоріше для догляду за рослинами, ніж для регулярних прогулянок. Однак постійне ходіння по ній не рекомендується. Для створення такого трав'яного покриття використовується легкий ґрунт, який укладається тонким шаром. Це дозволяє озеленити навіть дахи з невеликою несучою здатністю, включаючи пологі і вигнуті конструкції. Щоб запобігти сповзання ґрунту, застосовуються спеціальні решітки або сітки.

Інтенсивне озеленення – це найскладніший і найвибагливіший тип зеленого даху, який насправді є садом на даху. Використовується товстий шар ґрунту (більше 30 см), що дозволяє вирощувати широкий спектр рослин, включаючи дерева, чагарники, квіти і трави. Інтенсивні зелені дахи вимагають значного догляду, включаючи регулярний полив, добриво і обрізку, але зате надають можливість створити повноцінне рекреаційне простір.

Процес створення зеленого даху не є таким простим, як здається на перший погляд. Спочатку ретельно очищають і готують поверхню. Потім на неї настиляють рулонний бітумний пароізоляційний матеріал, посилений скловолокном і металеву фольгою, відрізняється підвищеною міцністю. Полотна укладають внахльст (10 см) і герметично з'єднують шви за допомогою газового пальника або будівельного фена. Потім поверх пароізоляції укладають кілька шарів теплоізоляційних плит з поліізоціанурата. Цей матеріал має високу міцність, відмінно зберігає тепло (низька теплопровідність) і не боїться вологи. Термін його служби становить понад півстоліття. Якщо основа спочатку не має ухилу для стоку води, його створюють за допомогою спеціальних клиноподібних теплоізоляційних плит. Для захисту від опадів використовують гідроізоляційну мембрану, стійку до проростання коренів. Ця мембрана виготовлена з високоякісного пластифікованого ПВХ, посиленого скловолокном. Дренажну функцію виконує двошарова профільована мембрана з поліетилену високої щільності.

На виступах мембрани закріпленій фільтруючий шар геотекстилю, який створює простір для відводу води. На дренажний шар насипають спеціальний субстрат, в який висівають газонну траву. Щоб запобігти засміченню водостоків, їх закривають захисними решітками і регулярно очищають від листя та іншого сміття.

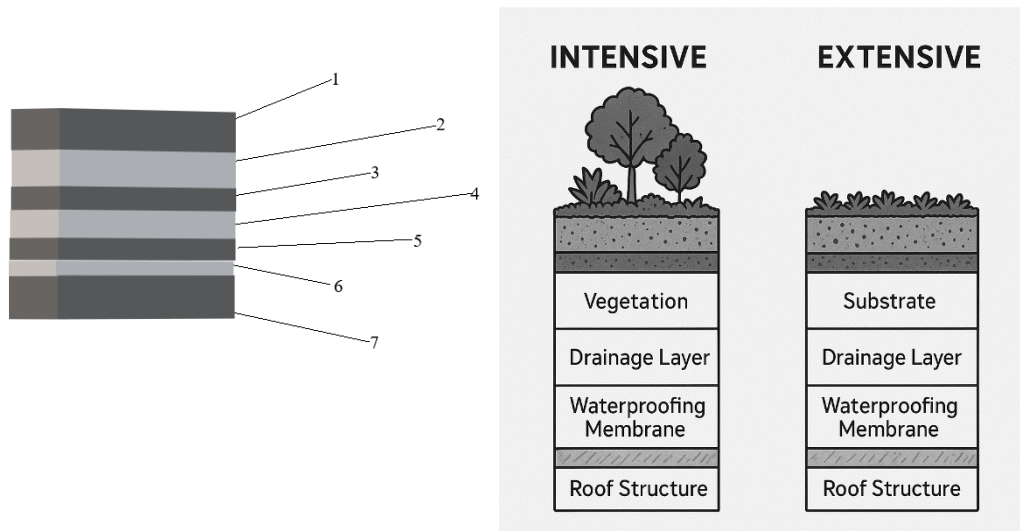


Рис. 1.4 Устрій зеленого даху

1 – рослини, 2 – ґрунт, 3 – фільтруючий шар, 4 – дренаж, 5 – захисний шар, 6 – бар'єр від коріння, 7 – фундамент(дах)

Вертикальне озеленення є одним із сучасних рішень для створення екологічного, естетичного та функціонального простору в умовах міської забудови. Існує кілька основних варіантів реалізації зелених стін, кожен з яких має свої особливості, переваги та рівень складності.

Найпростішим способом створення вертикального озеленення є використання рослин, що плетуться на опорах. Така конструкція базується на підлогових кашпо, які можуть бути як стаціонарними, так і мобільними. Для утворення перегородки підбирається довге кашпо та опори, які кріпляться до нього або до стелі. Хоча щільність такого озеленення не є високою, правильний вибір витких рослин та наявність підсвічування дозволяють досягти привабливого декоративного ефекту.

Іншим популярним варіантом є вертикальне озеленення за допомогою стелажів з горщиками. Цей спосіб дозволяє розміщувати широкий спектр

рослин — від ампельних до кущових, проте не створює суцільної зеленої стіни. Важливо враховувати, що такий тип озеленення вимагає регулярного догляду, зокрема щоденного поливу в спекотну погоду. Однак завдяки простоті реалізації він залишається доступним за вартістю.

Більш технологічним і естетичним рішенням є професійна фітостена. Це складна вертикальна конструкція, яка оснащується автоматизованою системою крапельного поливу та освітлення. Вона може бути модульною або двосторонньою, виконаною на основі штучного повсті з мінеральним чи кокосовим субстратом, у який висаджуються рослини. Така стіна виглядає щільною і повністю закриває технічну основу зеленим покривом.

Фітомодулі з пластику є економічною альтернативою професійним фітостенам. Вони складаються з модульної основи, що кріпиться до стіни і включає піддони для невеликих горщиків об'ємом близько 1 літра. Залежно від конструкції, у модулі може розміщуватися від кількох до кількох десятків горщиків, які можна комбінувати для створення великої зеленої стіни.

Окремо слід згадати вертикальні стіни з моху. Вони створюються за допомогою стабілізованого моху насиченого зеленого кольору, що зберігає природний вигляд без потреби в догляді. Такий матеріал дозволяє формувати як прості, так і складні декоративні композиції. Монтаж може виконуватися як власноруч, так і професіоналами, а готові модулі значно спрощують процес встановлення.

Окрім декоративної функції, зелені стіни та дахи мають значний екологічний та інженерний потенціал. Вони сприяють покращенню мікроклімату, охолоджуючи простір у спеку, зволожуючи повітря і фільтруючи його від шкідливих домішок. Рослинне покриття також знижує рівень шуму, адже ґрунтово-дренажні шари ефективно поглинають звукові хвилі. Крім того, озеленення захищає гідроізоляцію покрівлі від ультрафіолету, перепадів температур та опадів, подовжуючи термін її служби до 40–50 років. Рослини й субстрат діють як природний теплоізолятор, знижуючи тепловтрати взимку та перегрівання влітку, що сприяє

енергоефективності будівель. Зелені дахи також затримують і поступово випаровують дощову воду, зменшуючи навантаження на зливову каналізацію. Нарешті, вони формують стійку екосистему в місті, приваблюючи птахів, комах та інших представників фауни, сприяючи збереженню біорізноманіття.

Таким чином вертикальне озеленення є одним найефективніших рішень щодо поліпшення стану атмосферного повітря у міському середовищі. Воно є фінансово спроможним та має багату варіативність для реалізації.

## Висновки до розділу 1

У першому розділі представлено теоретичне обґрунтування актуальності проблеми погіршення якості атмосферного повітря в урбанізованих середовищах і аргументована необхідність застосування зелених інфраструктур в якості одного з методів її вирішення.

Аналіз сучасного стану повітряного басейну міст виявив системний і багатофакторний характер забруднення, обумовлений взаємодією природних і антропогенних факторів. До основних джерел забруднення віднесені: автотранспорт, промислові підприємства, енергетичні системи, житлово-комунальне господарство та нераціональне поводження з відходами.

Особливу увагу приділено таким забруднюючим речовинам, як РМ<sub>2.5</sub> і РМ<sub>10</sub>, діоксид азоту, чадний газ, тропосферний озон, формальдегіди, вуглекислий газ, метан і леткі органічні сполуки, що володіє токсичним, канцерогенним і кліматичним потенціалом.

Були також розглянуті теоретичні та практичні аспекти зелених технологій, що впроваджуються в містобудуванні, з акцентом на зелені дахи і вертикальне озеленення, як елементи сталого розвитку, що сприяють поліпшенню якості повітря і мікроклімату. Були розглянуті принципи функціонування екстенсивних та інтенсивних зелених дахів, які відрізняються за структурною складністю, типом рослинності, потребами у догляді та функціональним призначенням. Екстенсивні системи технологічно простіше, легше по масі і орієнтовані на мінімальне обслуговування, в той час як інтенсивні — це повноцінні зелені простори з деревами, кущами і трав'янистими рослинами, що виконують не тільки екологічні, а й соціально-рекреаційні функції.

Також були охарактеризовані типи вертикального озеленення-від простих опорних конструкцій до автоматизованих модулів з вбудованими системами поливу і освітлення, які можуть бути адаптовані як до внутрішніх, так і до зовнішніх архітектурних рішень. В цілому, результати теоретичного

аналізу дозволили зробити висновок, що зелені дахи і вертикальне озеленення є ефективними засобами поліпшення якості повітря в містах, зниження температури, зменшення рівня шуму, поглинання шкідливих речовин і дрібнодисперсного пилу. Вони також відіграють важливу роль у створенні привабливого міського простору, підвищенні енергоефективності будівель та сприянні біорізноманіттю.

Таким чином, у першому розділі були закладені фундаментальні теоретичні основи для подальшого дослідження практичних аспектів впровадження зелених дахів та вертикального озеленення в міських середовищах, а також їх потенційного впливу на якість повітря. У наступних розділах ці положення будуть розширені за рахунок аналізу механізмів фільтрації повітря, соціально-екологічного ефекту та оцінки європейського досвіду впровадження відповідних технологій.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ДОСВІДУ ЄС

#### 2.1 Політики та регуляції ЄС щодо зеленого будівництва

Будівельний сектор Європейського Союзу є одним із ключових елементів у досягненні кліматичних цілей, визначених Європейським зеленим курсом (European Green Deal). За даними Європейської комісії, саме будівлі споживають близько 40% усієї енергії в Союзі та продукують понад 36% викидів парникових газів [52]. Така ситуація зумовлює необхідність реалізації системної політики у сфері «зеленого будівництва», яка охоплює правові, фінансові, інфраструктурні та дослідницькі аспекти.

Головна мета цієї політики — зменшення вуглецевого сліду європейських міст, підвищення енергоефективності житлового та громадського фонду, а також покращення якості життя мешканців. Досягнення цих завдань забезпечується через імплементацію низки нормативно-правових актів, регламентів і директив, що встановлюють обов'язкові екологічні, енергетичні та експлуатаційні стандарти у сфері будівництва.

У табл. 2.1, нами було узагальнено ключові директиви, регламенти та стратегічні документи, які регулюють екологічні аспекти будівельної галузі в ЄС.

Таблиця 2.1

#### Основні нормативно-правові акти ЄС у сфері зеленого будівництва

Назва документа	Ключові положення	Рік прийняття / останнього оновлення
Директива 2010/31/EU (про енергоефективність будівель)	-Впровадження NZEB (будівель з майже нульовим енергоспоживанням) -Обов'язкова енергетична сертифікація -Національні стратегії модернізації фонду -Зниження CO <sub>2</sub> на $\geq 30\%$	2010 / 2018 / запропонована реформа – 2023

	-Використання $\geq 50\%$ вторинної сировини	
<b>Регламент (ЄС) № 305/2011</b> (CPR – Будівельні матеріали)	-Вимоги до експлуатаційних характеристик -Безпечність, довговічність, екологічність -Перехід до оцінки життєвого циклу матеріалів	2011 / у процесі перегляду
<b>Регламент (ЄС) 2020/852</b> (Таксономія сталого фінансування)	-Класифікація екологічно сталих інвестицій -Вимоги до енергоефективності, адаптації до клімату -Прозорість для інвесторів і банків	2020
<b>Стратегія «Реноваційна хвиля» (Renovation Wave)</b>	-Подвоєння темпів модернізації до 2030 року -Підтримка соціальної інфраструктури -Зниження енергетичної бідності	2020
<b>Рамкова система LEVEL(s)</b>	-Методика оцінки екологічного профілю будівель -Життєвий цикл, водоспоживання, якість повітря -Орієнтація на циркулярну економіку	впроваджено з 2020 року

Як видно з наведеної вище таблиці, правове регулювання зеленого будівництва в ЄС охоплює як проектування та зведення нових об'єктів, так і модернізацію існуючого будівельного фонду. Директива 2010/31/EU, з подальшими оновленнями, визначає загальну рамку енергетичної ефективності будівель, акцентуючи увагу на NZEB та декарбонізації. Регламент CPR (305/2011) зосереджений на вимогах до матеріалів, розширюючи критерії екологічної безпеки, що має принципове значення для переходу до циркулярної економіки.

Регламент 2020/852 встановлює критерії «екологічної значущості» інвестицій, сприяючи переорієнтації капіталу на сталу інфраструктуру. Важливу роль також відіграє стратегія Renovation Wave, яка має комплексний соціально-екологічний характер, спрямований на боротьбу з енергетичною бідністю та адаптацію до кліматичних змін.



Таким чином, політика ЄС щодо зеленого будівництва не обмежується лише декларативними закликами до екологічності, а має структуровану і багаторівневу нормативну основу, що поєднує обов'язкові вимоги та інструменти добровільної оцінки, стимулюючи інновації та сталі інвестиції в усіх сферах будівельної галузі.

Європейський Союз активно підтримує впровадження практичних ініціатив сталого будівництва в межах містобудівної політики. Нижче наведено типові кейси, що демонструють ефективність (або обмежену результативність) застосування екологічних принципів у реальному міському середовищі (див. Табл. 2.2).

Таблиця 2.2

## Приклади реалізації проектів зеленого будівництва в країнах ЄС

Місто	Проект	Основні характеристики та ефекти
Копенгаген	«Зелені дахи» на зупинках громадського транспорту	- Покриття дахів рослинністю • - Поглинання дощових вод - Збільшення біорізноманіття на 20%
Роттердам	Плаваючі квартали (Floating Homes)	- Адаптація до підвищення рівня моря - Повна автономія будинків - Нульовий рівень викидів CO <sub>2</sub>
Барселона	Суперквартали (Superblocks)	- Обмеження автотрафіку - Розширення пішохідної інфраструктури - Зниження забруднення повітря на 25% - - Збільшення зелених зон на 163%

Берлін	Система зеленого енергетичного паспорта	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Впровадження обов'язкової сертифікації</li> <li>- Підвищення прозорості щодо споживання енергії</li> <li>- Необхідність субсидування для малозабезпечених</li> </ul>
Прага	Екорайон «Слунічна» (Sluneční čtvrť)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Прототип енергоавтономного мікрорайону</li> <li>- Високі витрати на будівництво, обмежене масштабування</li> </ul>

Як бачимо з таблиці, проекти в Копенгагені, Роттердамі та Барселоні демонструють системний підхід до інтеграції екологічних практик у міське планування. «Зелені дахи» в Копенгагені не лише підвищили рівень біорізноманіття, але й сприяли зменшенню навантаження на дренажні системи [39]. Плавучі будинки в Роттердамі — це приклад архітектурної адаптації до зміни клімату, що має потенціал до масштабування в інших прибережних містах. Суперквартали в Барселоні поєднали екологічні та соціальні цілі — зменшення забруднення повітря, стимулювання мобільності та урбаністичного добробуту.

Водночас кейси в Берліні та Празі засвідчують, що навіть при наявності прогресивної нормативної бази можуть виникати виклики щодо економічної доцільності, масштабування або соціальної справедливості. Зокрема, реалізація енергоефективних паспортів у Берліні вимагає системного субсидування для уникнення зростання нерівності. У Празі амбітний проєкт «Слунічна» демонструє технологічну інноваційність, однак висока собівартість заважає розгортанню подібних ініціатив на рівні муніципалітетів з обмеженими ресурсами.

Політика ЄС щодо зеленого будівництва – це багаторівнева система, що поєднує обов'язкове законодавство, стратегічні ініціативи та добровільні

стандарти. Основними цілями є підвищення енергоефективності, скорочення викидів ПГ, зниження ресурсного навантаження і захист здоров'я населення. Розвиток нормативної бази і стимулювання приватних і державних інвестицій роблять ЄС одним зі світових лідерів в області сталого будівництва.

Таким чином, зелена трансформація будівельного сектору в ЄС є не лише результатом нормативного тиску, а й практичним процесом, який вимагає комплексного підходу — поєднання регуляторних рамок, інноваційних технологій, фінансових стимулів та соціального партнерства. Як свідчать приклади з європейських міст, успішність таких ініціатив залежить від локального контексту, управлінської спроможності муніципалітетів та активної участі громади.

## 2.2 Приклади впровадження зелених дахів у містах ЄС

У сучасних урбаністичних стратегіях країн Європейського Союзу зелені дахи посідають важливе місце як складова стійкого розвитку міст. Вони виконують низку функцій: зменшення ефекту теплового острова, утримання зливових вод, підвищення енергоефективності будівель, покращення якості повітря, створення біорізноманітного середовища та формування комфортного громадського простору. Нижче у таблиці 2.3 наведено приклади успішного впровадження зелених дахів у європейських містах.

Таблиця 2.3

### Приклади успішного провадження зелених дахів у містах ЄС

Місто, країна	Опис
Гамбург, Німеччина	Місто реалізує стратегію «Green Roof Strategy» з 2014 року, яка передбачає субсидування до 60% вартості зеленого даху, що еквівалентно загальному бюджету в 3 млн євро. Стратегія включає технічні рекомендації, обов'язковість озеленення 70% нових плоских дахів площею понад 100 м <sup>2</sup> , а також приклади масштабного

	<p>впровадження в житлових районах — як-от «Grüne Mitte Altona». Така політика сприяє формуванню сталої міської екосистеми та інтеграції природних елементів в урбаністичне середовище.</p>
<p>Відень, Австрія</p>	<p>У рамках програми «Ökologisch bauen» муніципалітет Відня надає субсидії до 10 000 євро на облаштування зелених дахів, які є обов'язковими для нових будівель з плоскими дахами. Район «Biotope City Wienerberg» демонструє комплексний підхід до екологічної урбаністики, поєднуючи зелені дахи, вертикальне озеленення та систему утримання дощової води (СУО).</p>
<p>Копенгаген, Данія</p>	<p>Із 2010 року в місті діє обов'язкова вимога на встановлення зелених дахів на всіх новобудовах з плоскими дахами. Ця ініціатива базується на стратегії управління зливовими водами та адаптації до зміни клімату. Один із флагманських проєктів — «Tåsinge Plads» — демонструє інноваційні рішення сталого благоустрою, включаючи повторне використання води та інтегровані елементи міської зелені.</p>
<p>Париж, Франція</p>	<p>Муніципалітет Парижа ставить за мету озеленити 100 гектарів дахів і фасадів до 2030 року. Зелені дахи стали обов'язковими для нових і відремонтованих державних і комерційних будівель. Показовий приклад — школа «Ecole Saint-Merri» з експериментальним даховим біогородом, доступним для освітньої діяльності.</p>
<p>Барселона, Іспанія</p>	<p>Програма «Cobertes Verdes» пропонує до 75% компенсації витрат на створення зеленого даху. У місті створено карту потенціалу дахового озеленення. Один із найцікавіших об'єктів — ринок «Mercat de Sant Antoni», де поєднано</p>

	функції енергоефективності, екології та створення громадського простору.
--	--

Аналіз цих прикладів показує, що міста ЄС активно використовують різноманітні інструменти для стимулювання впровадження зелених дахів, включаючи фінансові субсидії, обов'язкові вимоги для нового будівництва та комплексні стратегії. Ці ініціативи не лише покращують міську екосистему та адаптують міста до зміни клімату, а й сприяють створенню нових громадських просторів та освітніх можливостей. Загальна тенденція свідчить про розуміння міською владою важливості інтеграції природних рішень у розвиток урбаністичного середовища.

Проте, незважаючи на загальноєвропейську підтримку концепції зелених дахів, впровадження цих рішень далеко не завжди виявляється успішним. Ряд міст ЄС зіткнулися з технічними, фінансовими, інституційними або культурними бар'єрами, які обмежили масштаб або ефективність реалізації. Нижче, у таблиці 2.4 представлено узагальнення п'яти типових прикладів невдалого досвіду, що дозволяє виявити системні помилки та недоліки реалізації.

Таблиця 2.4

## Невдалі приклади впровадження зелених дахів у містах ЄС

<b>Країна</b>	<b>Місто</b>	<b>Опис кейсу</b>
<b>Італія</b>	Мілан	У межах муніципального плану "Piano Clima" з 2015 року передбачалося стимулювання зеленої інфраструктури, зокрема зелених дахів. Проте відсутність обов'язкових вимог, складна бюрократія та низька обізнаність фахівців призвели до того, що проєкти не вийшли за межі пілотних, охопивши <3% потенційних площ.

<b>Бельгія</b>	Брюссель	Програма субсидій "Prime toiture Verte" (2007–2011) передбачала фінансову підтримку встановлення зелених дахів. Через недостатній обсяг субсидій, труднощі з документацією, відсутність технічного супроводу та неякісне виконання, програма завершилась невдало і була припинена у 2011 році.
<b>Греція</b>	Салоніки	В рамках грантових програм ЄС з 2010-х років реалізовувались спроби встановлення зелених дахів на муніципальних будівлях. Висока температура, дефіцит води, слабка технічна база та проблеми з обслуговуванням зробили ці проекти нестійкими. Масштабування не відбулося після завершення фінансування.
<b>Польща</b>	Лодзь	Пілотні проєкти (2014–2016) фінансувалися з європейських фондів, але через відсутність міжвідомчої координації, брак довгострокового обслуговування та низький інтерес бізнесу, ініціатива не була продовжена. Зелені дахи залишились поодинокими прикладами без системної підтримки.
<b>Португалія</b>	Лісабон	Спроби інтеграції зелених дахів у стару забудову в межах програми "Lisboa Verde" наштовхнулися на обмеження, пов'язані з охороною пам'яток архітектури, високі витрати та опір власників. Успішна реалізація була можлива лише на нових будівлях або сучасних прибудовах.

Аналіз наведених кейсів свідчить, що зелені дахи як інструмент сталого розвитку потребують не лише ентузіазму чи фінансування, а й чіткої інтеграції

у стратегічне планування міста. Недостатня нормативна база, слабка технічна підтримка, бюрократія або неврахування локальних особливостей можуть звести нанівець навіть найкращі ініціативи. Успішні приклади (наприклад, Гамбург чи Копенгаген) показують, що системний, комплексний підхід із залученням усіх зацікавлених сторін — ключ до ефективного та масштабованого впровадження екологічних інновацій.

Таким чином, успішне або невдале впровадження зелених дахів у містах ЄС залежить не лише від наявності фінансової підтримки, а й від глибшого розуміння процесів урбаністичного планування, міжсекторальної координації, громадської участі та адаптації технічних рішень до локального контексту. Навіть найкращі приклади доводять, що стійкий результат можливий лише за умов довготривалої політичної волі, інституційної узгодженості та освітньо-інформаційної підтримки з боку муніципалітетів.

Порівняльний аналіз виявляє чіткі закономірності: там, де зелені дахи є частиною комплексної екологічної стратегії міста (наприклад, управління зливовими водами, енергетична ефективність, охорона біорізноманіття), вони отримують реальний розвиток. Натомість фрагментарне або ситуативне запровадження, без супроводу на етапах проектування, реалізації й обслуговування, у більшості випадків не дає стійких результатів.

Важливо також враховувати соціальний вимір: залучення мешканців, популяризація екологічної культури та формування спільного бачення розвитку міського середовища створюють підґрунтя для підтримки таких ініціатив на рівні громади. Зелені дахи — це не лише технічне рішення, а частина більшого бачення «зеленої трансформації» міста.

Отже, ефективне впровадження зеленої інфраструктури, зокрема дахового озеленення, вимагає системного підходу, адаптованого до потреб конкретного міста, із чіткою орієнтацією на довгострокову екологічну, економічну та соціальну сталість.

### **2.3 Порівняльний аналіз ефективності рішень**

Озеленення дахів стає одним із важливих інструментів у розвитку сталих міст, сприяючи екологічному балансу, енергоефективності та підвищенню якості життя. Для аналізу ефективності програм зелених дахів у європейських містах було розглянуто кілька ключових аспектів.

Щоб провести аналіз ми розглянули такі аспекти:

1. *Площа зелених дахів і щільність на душу населення.* Базель і Штутгарт демонструють найвищі показники за площею зелених дахів на душу населення, що свідчить про високу ефективність їх програм. Хоча такі міста, як Амстердам, Барселона та Мадрид, мають значно нижчі показники, що свідчить про необхідність посилення програм підтримки та регулювання.
2. *Регуляторні заходи та стимули.* Міста з обов'язковими вимогами до озеленення дахів (Базель, Цюрих) досягають більш високих показників впровадження зелених дахів. Субсидії і зниження плати за зливові стоки також сприяють збільшенню площі зелених дахів, як показано на прикладі Штутгарта і Гамбурга.
3. *Екологічні та кліматичні ефекти.* Зелені дахи сприяють зниженню температури повітря, утриманню дощової води, покращенню якості повітря та збільшенню біорізноманіття. Ці ефекти найбільш виражені в містах з високою щільністю зелених дахів, таких як Базель і Штутгарт.
4. *Технічні та економічні аспекти.* Вартість установки зелених дахів варіюється в залежності від типу: від 140 €/м<sup>2</sup> для екстенсивних до 250 €/м<sup>2</sup> для інтенсивних. Однак довгострокові вигоди, такі як зниження витрат на охолодження та продовження терміну служби дахів, роблять ці інвестиції економічно виправданими.

Для успішного впровадження зелених дахів критично важливими є обов'язкові регуляції, що вимагають їх встановлення на нових та реконструйованих будівлях, що значно підвищує ефективність програм. Паралельно з цим, фінансові стимули, такі як субсидії та податкові пільги, заохочують власників будівель інвестувати в озеленення. Важливу роль



відіграють також інформаційні кампанії, що підвищують обізнаність громадськості про переваги зелених дахів, сприяючи їх ширшому розповсюдженню. Нарешті, інтеграція цих ініціатив з іншими програмами сталого розвитку, наприклад, встановленням сонячних панелей, максимізує загальну ефективність зусиль, спрямованих на створення екологічно сталих міст.

Для оцінки ефективності впровадження зелених дахів у містах Європейського Союзу було проведено низку кількісних розрахунків, що дозволяють співставити масштаби та результативність цих екологічних ініціатив у різних міських контекстах. Основна увага приділялася трьом показникам: загальній площі зелених дахів, площі зелених дахів на одного мешканця, а також частці зелених дахів від загальної площі дахів у місті.

Перш за все було зібрано дані про загальну площу зелених дахів у містах. Ці показники базувалися на офіційних муніципальних звітах, наприклад, «Basel Umwelbericht 2020» для Базеля чи документах Мюнхенської програми щодо розвитку зелених дахів у Гамбурзі (2020–2022 рр.). У випадках, де прямі дані були відсутні, використовувалися авторитетні наукові джерела, зокрема дослідження «Green Roofs and Urban Heat Island Mitigation in Europe» (Elsevier, 2022) [43, 48, 45], а також регіональні екологічні моніторингові програми, зокрема ті, що ведуться у Штутгарті під егідою Міністерства охорони навколишнього середовища федеральної землі Баден-Вюртемберг.

Другим етапом аналізу стало обчислення площі зелених дахів на одного мешканця ( $\text{м}^2 / \text{чол.}$ ). Для того, щоб розрахувати площу зеленого даху на мешканця потрібно:

$$\text{Площа на мешканця} = \frac{\text{Загальна площа зелених дахів}}{\text{Населення міста}}$$

Приклад: Базель, населення  $\sim 175,000$  осіб, площа зелених дахів:  $\sim 1,000,000 \text{ м}^2$

$$5,71 = \frac{1000000}{175000}$$

*Відповідь:* Площа зелених дахів на мешканця Базеля становить  $5,71 \text{ м}^2/\text{чол.}$

Ще одним важливим показником була частка площі зелених дахів відносно загальної площі всіх дахів у місті. Цей розрахунок дозволяє оцінити, яку частину потенційного простору вже використано для озеленення. Формула виглядає наступним чином:

$$\text{Частка} = \frac{\text{Площа зелених дахів}}{\text{Оціночна площа всіх плоских дахів міста}} \times 100\%$$

Дані для проведення розрахунків беруться з муніципальних кліматичних стратегій. Наприклад, в Цюріху і Базелі наведені дані по загальній потенційній площі дахів. Якщо даних немає – використовувалися непрямі оцінки, засновані на типовому покритті плоскими дахами в містах (~30-40% міської забудови).

Приклад: Гамбург, загальна площа зелених дахів ~1,240,000 м<sup>2</sup> (Hamburg Gründachstrategie) (2020), загальна площа дахів в місті ~12,500,000 м<sup>2</sup> (Hamburg Roof Potential Report) (2014).

$$9,92\% = \left( \frac{1240000}{12500000} \right) \times 100\%$$

*Відповідь:* Частка зелених дахів від загальної площі всіх дахів в Гамбурзі становить 9,92%.

У процесі аналізу було враховано низку уточнень і припущень. Так, для міст, де відсутні повні офіційні дані, використовувалися оціночні методики на основі порівняння з аналогічними за розміром та структурою містами ЄС. Крім того, дані щодо кліматичних ефектів (наприклад, вплив на температуру чи кількість утриманих опадів) ґрунтувалися на наукових дослідженнях, які часто використовують методи комп'ютерного моделювання або аналіз супутникових знімків. У випадках, коли дах мав змішане покриття (зелений дах із сонячними панелями), в розрахунок включалися лише ті ділянки, що фактично засаджені рослинністю.

Таким чином, використання стандартизованих показників дозволило здійснити порівняльний аналіз впровадження зелених дахів у різних містах Європи. Результати подано у таблиці нижче, яка ілюструє ефективність

реалізації екологічної інфраструктури у контексті міського простору, населення та потенційного розвитку.

Нижче наведена таблиця 2.5 щодо ефективності зелених дахів в містах ЄС.

Таблиця 2.5

## Порівняльна таблиця ефективності зелених дахів в містах ЄС

Місто/країна	Площа зеленого даху(м <sup>2</sup> )	Площа на мешканця (м <sup>2</sup> /чол.)	Частка від загальної площі дахів(%)	Основні заходи підтримки та регуляції	Ефекти та показники ефективності
Амстердам, Нідерланди	~9,000	~0,01	~0,5	Проект Resilio: встановлення " синьо-зелених " дахів для управління дощовою водою	Утримання дощової води; зниження навантаження на каналізацію; поліпшення мікроклімату
Базель, Швейцарія	~1,000,000+	5.71	~40	Обов'язкове озеленення всіх плоских дахів з 2002 року; субсидії до 40 CHF / м2; стандарти по товщині субстрату і видам рослин	Зниження температури на 2-5°C; утримання до 80% опадів; збільшення біорізноманіття; поліпшення мікроклімату
Барселона, Іспанія	~35,000	~0.02	~0.3	План "зелена та біорізноманітна Барселона 2020"; субсидії на встановлення зелених дахів	Поліпшення якості повітря; збільшення зелених просторів
Берлін, Німеччина	~2,500,000	~1.3	~24.8	Субсидії; зниження плати за зливові стоки; рекомендації з озеленення дахів	Зниження температури; поліпшення якості повітря; збільшення зелених просторів
Гамбург, Німеччина	~1,240,000	~1.5	~10	Стратегія зелених дахів з 2014 року; субсидії до 100,000 Євро; обов'язкове озеленення з 2027 року	Утримання до 70% опадів; зниження температури на 1-3°C; продовження терміну служби дахів
Мадрид, Іспанія	~144,601	~0.04	~0.5	План реабілітації Мадрида 2023; субсидії на встановлення зелених дахів	Поліпшення якості повітря; збільшення зелених просторів

Цюрих, Швейцарія	~1,500,000	~3.0	~41.6	Обов'язкове озеленення всіх плоских дахів з 1991 року; рекомендації щодо використання місцевих рослин	Поліпшення біорізноманіття; зниження температури; затримка стоку дощової води
Штутгарт, Німеччина	~4,100,000	4.1	~20	Субсидії; зниження плати за зливові стоки; обов'язкове озеленення в нових проектах	Зниження ефекту теплового острова; поліпшення якості повітря

Аналіз Таблиці 2.5 дає змогу побачити різноманіття підходів до впровадження зелених дахів у містах Європейського Союзу та їхню ефективність. Найвищу площу зелених дахів мають міста Штутгарт (понад 4 млн м<sup>2</sup>), Берлін (2,5 млн м<sup>2</sup>) та Цюрих (1,5 млн м<sup>2</sup>), при цьому найвища питома площа на мешканця спостерігається в Базелі (5,71 м<sup>2</sup>/чол.) та Цюриху (3,0 м<sup>2</sup>/чол.). Такі результати пов'язані з чіткими регуляторними механізмами, зокрема обов'язковим озелененням плоских дахів, державними субсидіями та екологічними стандартами.

Ефекти реалізації таких програм включають зниження температури на 1–5°C, утримання великої частки дощових опадів (до 80%), покращення мікроклімату, збільшення біорізноманіття, а також економію ресурсів. Найуспішніші приклади демонструють швейцарські та німецькі міста, де поєднання стимулів і зобов'язань дало стабільні екологічні та соціальні результати.

А тепер розглянемо ефективність озеленення за іншими показниками. У Таблиці 2.6 представлено ширше розуміння ефективності озеленення в містах ЄС, з акцентом не лише на зелені дахи, а й на інші форми «зелених інфраструктур».

Таблиця 2.6

## Ефективність озеленення в містах ЄС за показниками

Показник	Дані/результат	Міста
Зниження температури	Зменшення на 2-8°C в "островах тепла"	Берлін, Барселона, Мілан

Поліпшення якості повітря	Сниження PM2.5 на 5–15%, NO <sub>2</sub> на 10–20%	Париж, Роттердам, Стокгольм
Біорізноманіття	+ 15-30% видового різноманіття в парках	Відень, Амстердам
Здоров'я населення	Зниження стресу на 20-30%, скорочення респіраторних захворювань	Копенгаген, Гельсінкі
Економічна вигода	€1.5-4 на кожен €1, вкладений в озеленення (економія на охороні здоров'я, енергія)	Лондон, Мюнхен
Площа зелених зон	В середньому 18-42% площі міст (ЄС)	Берлін (40%), Брюссель (27%)
Стік зливових вод	Зниження навантаження на дренаж на 25-60%	Гамбург, Мальме

Аналіз таблиці 2.6 дозволяє зробити висновок, що озеленення міського середовища, зокрема створення зелених дахів, дає комплексний позитивний ефект. Основні переваги охоплюють:

- Кліматичні зміни в місті: зниження температури в умовах «міських теплових островів» на 2–8°C, що сприяє зменшенню енергоспоживання на кондиціонування.
- Очищення повітря: фіксується зниження рівнів забруднення (PM2.5 на 5–15%, NO<sub>2</sub> на 10–20%), що позитивно впливає на здоров'я мешканців.
- Зростання біорізноманіття: кількість видів флори й фауни в озелених зонах зростає на 15–30%.
- Покращення здоров'я населення: наявність зелених просторів пов'язується зі зниженням стресу на 20–30% та зменшенням випадків респіраторних захворювань.

- Економічна вигода: кожен вкладений євро в озеленення повертається у вигляді €1.5–4 економії на охороні здоров'я, енергетиці та інфраструктурі.
- Інфраструктурна ефективність: зниження навантаження на зливові системи на 25–60%, що дозволяє уникнути затоплень та зменшити витрати на модернізацію дренажної інфраструктури.
- Збільшення площі зелених зон: у середньому міста ЄС мають 18–42% озелених територій, що суттєво впливає на якість життя.

Озеленення дахів — це не лише естетичне рішення, а й потужний інструмент сталого розвитку міст. Зелені дахи зменшують теплове навантаження, утримують дощову воду, покращують якість повітря, знижують рівень шуму та подовжують термін експлуатації покрівель. Проте ефективність цих рішень нерозривно пов'язана з вартістю їх реалізації.

Вартість залежить від типу конструкції, товщини субстрату, виду озеленення та технічного облаштування. Нижче представлена орієнтовна таблиця розрахунку вартості облаштування екстенсивного зеленого даху на площу 100 м<sup>2</sup>.

Таблиця 2.7

Орієнтовна вартість облаштування екстенсивного зеленого даху (100 м<sup>2</sup>)

Стаття витрат	Одиниця виміру	Орієнтовна ціна (грн)	Кількість	Загальна вартість (грн)
Гідроізоляційна мембрана	м <sup>2</sup>	150	100	15 000
Антикоренева мембрана	м <sup>2</sup>	100	100	10 000
Дренажний шар	м <sup>2</sup>	120	100	12 000
Геотекстиль	м <sup>2</sup>	40	100	4 000
Субстрат (10 см)	м <sup>3</sup>	900	10	9 000

Рослинність (седум, трави)	м <sup>2</sup>	150	100	15 000
Монтажні роботи	м <sup>2</sup>	200	100	20 000
Технічний нагляд та проектування	% від загальної	10%	—	8 500
<b>Разом</b>				<b>93 500 грн</b>

Примітка: ціни є орієнтовними станом на 2025 рік та можуть змінюватися залежно від регіону, складності об'єкта та типу матеріалів.

Отже, орієнтовна вартість облаштування екстенсивного зеленого даху на площі 100 м<sup>2</sup> становить близько 93 500 грн, або 935 грн/м<sup>2</sup>. Цей тип дахів є економічно доцільним рішенням для покращення мікроклімату, управління зливовими водами та зменшення навантаження на каналізацію у міських умовах. Для порівняння, інтенсивні дахи мають значно більшу вартість (від 12 000 грн/м<sup>2</sup> і вище), проте можуть включати рекреаційні функції, дерева, лавки, системи поливу тощо.

Крім того, рентабельність зелених дахів у довгостроковій перспективі підтверджується економією на енергії, зниженням витрат на охорону здоров'я та подовженням терміну експлуатації будівлі.

Отже, порівняльний аналіз впровадження зелених дахів у містах ЄС демонструє, що найбільших результатів досягають ті муніципалітети, де поєднуються обов'язкові регуляторні норми з фінансовими стимулами, чіткою стратегічною візією та інформаційною підтримкою. Зокрема, досвід Базеля, Цюриха, Штутгарта і Гамбурга доводить, що встановлення нормативних вимог щодо озеленення дахів у новому будівництві, підтримане субсидіями та екологічними стандартами, дозволяє швидко масштабувати екологічну інфраструктуру.

У той же час у містах, де такі програми є переважно добровільними (Амстердам, Мадрид, Барселона), прогрес відбувається значно повільніше, а площі зелених дахів залишаються незначними у порівнянні з потенційними

можливостями. Таким чином, ефективність реалізації програм зелених дахів прямо залежить від політичної волі, фінансової підтримки та активного екологічного менеджменту на муніципальному рівні.



## Висновки до розділу 2

У другому розділі було проаналізовано практичний досвід країн Європейського Союзу щодо впровадження зелених дахів та вертикального озеленення як інструментів покращення якості повітря в міському середовищі. Особливу увагу приділено політичним, нормативним та регуляторним підходам, що забезпечили системну інтеграцію «зелених» технологій у містобудівну політику ЄС.

Було виявлено, що ЄС демонструє послідовну та комплексну екологічну політику, спрямовану на декарбонізацію будівельного сектору, підвищення енергоефективності споруд, зниження викидів парникових газів та покращення мікроклімату в містах. Особливо важливими є такі документи, як Директива 2010/31/EU, Директива про енергоефективність будівель (EPBD), Стратегія щодо біорізноманіття та Європейський зелений курс.

Проаналізовані приклади з Німеччини, Франції, Нідерландів та інших країн ЄС демонструють, що впровадження зелених дахів та вертикального озеленення здійснюється не лише на рівні окремих будівель, але й на рівні міського планування. Практики включають субсидування екологічних проєктів, встановлення обов'язкових екологічних стандартів для новобудов, а також заохочення приватних ініціатив через гранти, податкові пільги та публічно-приватні партнерства.

Порівняльний аналіз показав, що ефективність впровадження зелених інфраструктур безпосередньо залежить від наявності політичної волі, законодавчого регулювання, технічних стандартів, фінансових стимулів і наукового супроводу. Також важливим чинником є рівень екологічної свідомості населення та залучення громад до участі в екологічних ініціативах.

Загалом, досвід ЄС доводить, що зелені дахи та вертикальне озеленення є дієвим засобом зниження рівня забруднення повітря, покращення якості життя містян, підвищення кліматичної стійкості міст та реалізації принципів сталого розвитку. Ці практики можуть бути адаптовані до українських умов із

врахуванням місцевих особливостей, що буде розглянуто в наступному розділі.

## РОЗДІЛ 3

### ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

#### **3.1. Потенціал українських міст для зелених дахів та вертикального озеленення**

В умовах стрімкої урбанізації, кліматичних змін та екологічної деградації, українські міста стикаються з необхідністю впровадження природоорієнтованих рішень для покращення якості життя мешканців. Серед таких рішень особливу увагу привертають зелені дахи та вертикальне озеленення, які не лише сприяють естетичному вдосконаленню міського середовища, але й виконують важливі екологічні функції [2].

Кліматичні умови України загалом сприятливі для розвитку зелених дахів. Зокрема, помірно-континентальний клімат центральної, західної та північної частин країни забезпечує достатню вологість та кількість опадів для підтримки рослинності без необхідності інтенсивного поливу. У південних регіонах, таких як Одеська, Херсонська та Миколаївська області, спостерігається дефіцит вологи, проте саме тут зелені дахи можуть ефективно знижувати ефект міського теплового острова, що робить їх впровадження особливо актуальним.

Більшість багатоповерхових житлових та комерційних будівель в українських містах мають плоскі дахи, що робить їх придатними для впровадження зелених дахів, особливо екстенсивного типу. Будівлі радянського періоду, зокрема "хрущовки", часто мають технічні поверхи, які можуть бути адаптовані під легке озеленення. Новобудови у великих містах, таких як Київ, Львів, Харків та Дніпро, дедалі частіше проектуються з урахуванням концепцій енергоефективності, що відкриває шлях до інтеграції зелених систем ще на етапі проектування.

У зв'язку зі зменшенням міських зелених зон через забудову, вертикальне озеленення стає важливим інструментом компенсації зелених

площ. Цей підхід дозволяє використовувати вертикальні поверхні будівель для розміщення рослинності, що особливо актуально в умовах обмеженого простору. Вертикальне озеленення сприяє зниженню температури повітря, покращенню якості повітря та зменшенню рівня шуму.

У Києві вже реалізовано кілька проектів вертикального озеленення, зокрема на адміністративних будівлях. Зокрема, у 2022 році Київська міська державна адміністрація (КМДА) ініціювала екологічний проєкт «Місто живих стін», спрямований на вертикальне озеленення фасадів будівель. Основним елементом цього проєкту є використання винограду Вічі, який швидко росте, не шкодить стінам і покращує мікроклімат, знижуючи забруднення повітря [23, 16].

Серед основних реалізованих кейсів в рамках даної програми варто виділити Дарницький район, де на фасаді будинку 7А по проспекту Миколи Бажана було висаджено дикий виноград (див. Рис. 3.1). Таке рішення дозволило озеленити будівлю, де не було можливості висадити дерева поруч. Внаслідок чого було знижено температуру всередині приміщення, зменшення нагрівання поверхні стіни та покращено якість повітря навколо [16].



Рисунок 3.1 Вертикальне озеленення на фасаді будинку 7А по проспекту Миколи Бажана [16]



До цієї ініціативи долучилися також Деснянський, Печерський, Солом'янський та Шевченківський райони, де озеленення проводиться біля шкіл, дитячих садків та житлових будинків [8].

Київрада та КМДА також долучились до вищезгаданої ініціативи з вертикального озеленення. Так, у внутрішньому дворіку мерії на Хрещатику, 36, було висаджено понад 20 паростків винограду Вічі, що сприяє охолодженню приміщень та покращенню естетичного вигляду будівлі [23, 8].

Дослідження показують, що на вулицях із вертикальним озелененням вміст діоксиду азоту зменшується на 40%, а зважених часток (пилу) — на 60%. Також температура всередині приміщень знижується в середньому на 5°C у порівнянні з аналогічними без озеленення [16].

Хоча Київ є лідером у впровадженні вертикального озеленення, інші міста України також демонструють зацікавленість у цій практиці.

Так наприклад, у Дніпрі вертикальне озеленення розвивається природним шляхом, без централізованих програм. Так, фасад однієї із багатоповерхівок на центральному проспекті було повністю вкритий диким виноградом, створюючи ефект «живого фасаду» (див. Рис. 3.2), що не лише покращує естетику, а й сприяє охолодженню будівлі влітку [21].

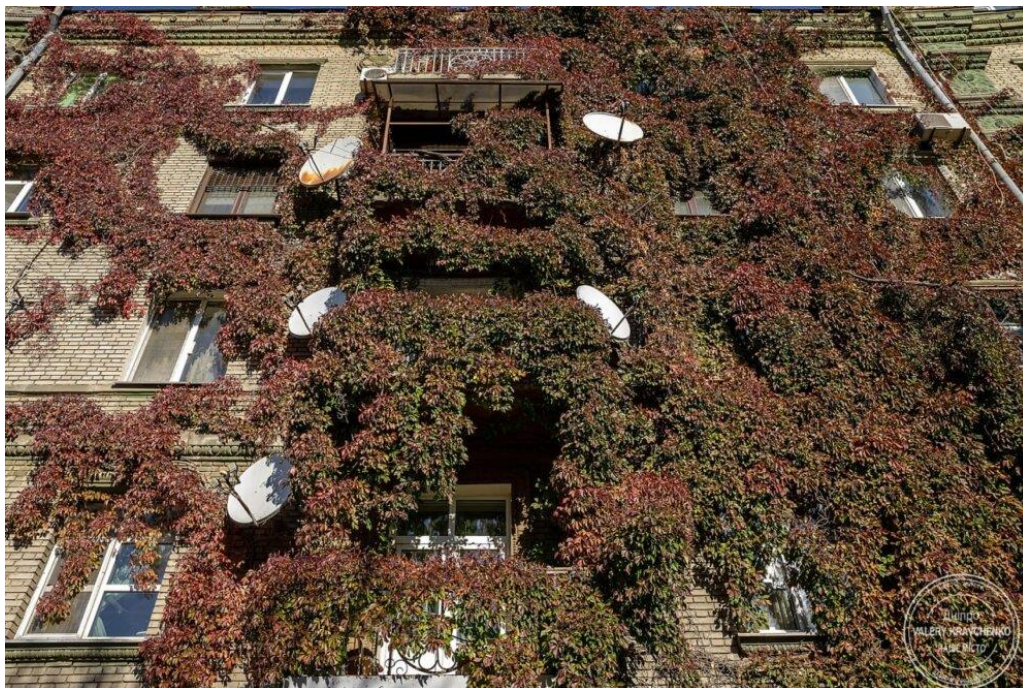


Рисунок 3.2 Вертикальне озеленення багатоповерхівки у м. Дніпро [21]

Ще одним прикладом вертикального озеленення у місті Дніпро є парк Глоби, де паркан у парку щільно обплетений диким виноградом, створюючи природний зелений бар'єр, який покращує мікроклімат та слугує прикрасою міського простору.

Щодо міста Львів, то тут варто згадати про Бернардинський дворик, що знаходиться біля церкви Андрія, де було створено «зелену стіну» в рамках урбаністичного фестивалю Майстерня міста 2024. Управління екології та природних ресурсів Львівської міської ради разом із садівниками Львова провели воркшоп з вертикального озеленення та висадки декоративного винограду Вічі [12].

З огляду на екологічні виклики, з якими стикаються українські міста — підвищення температури, зменшення зелених зон, зростання рівня забруднення повітря та урбанізаційний тиск — перспективи розвитку зелених дахів і вертикального озеленення є надзвичайно високими. Ці рішення відповідають глобальним тенденціям сталого розвитку та формують нову парадигму міського планування, орієнтовану на гармонію з природою.

Однією з основних передумов для розвитку таких ініціатив в Україні є наявність великої кількості будівель з плоскими дахами, особливо в житловому фонді радянського періоду. Саме ці дахи можна переобладнати під екстенсивні зелені системи без значних витрат на реконструкцію. Новобудови, зокрема в Києві, Харкові, Львові та Дніпрі, усе частіше проєктуються з урахуванням принципів енергоефективності, що створює потенціал для інтеграції зелених дахів ще на етапі проєктування. Крім того, у багатьох містах зберігається значна кількість вертикальних поверхонь, придатних для створення зелених стін, як на житлових, так і на громадських об'єктах.

Іншою перевагою є сприятливий клімат, особливо в центральних, північних і західних регіонах країни, де рівень опадів достатній для підтримання рослинності без інтенсивного зрошення. У південних регіонах, таких як Одеська, Миколаївська та Херсонська області, зелені дахи можуть бути ефективним інструментом зменшення ефекту міського теплового острова

та накопичення пилу, що робить їх упровадження доцільним навіть в умовах дефіциту вологи — з використанням ксерофітних (посуhostійких) рослин.

На рівні муніципального управління спостерігається зростаючий інтерес до зелених інфраструктур. Приклади таких проєктів, як київське «Місто живих стін» або озеленення фасадів адміністративних будівель у Дніпрі, демонструють, що навіть за умов обмежених бюджетів можливо впроваджувати ефективні екологічні рішення. Подібні ініціативи можуть масштабуватись шляхом залучення приватного сектору, ЖКГ, ОСББ та громадських організацій, що особливо важливо в умовах децентралізації.

Нарешті, вагомим чинником, що впливає на перспективи впровадження, є зростання екологічної свідомості серед населення. Урбаністичні фестивалі, воркшопи, громадські обговорення та освітні ініціативи (наприклад, у Львові чи Києві) створюють сприятливий соціальний клімат для поширення зелених технологій.

У перспективі, інтеграція зелених дахів та вертикального озеленення в систему містобудування може стати елементом національної політики адаптації до змін клімату, а також частиною державних програм з енергоефективності та охорони здоров'я. У поєднанні з інструментами стимулювання (субсидії, податкові пільги, спрощення дозволів), це дозволить перетворити зелені інфраструктури з окремих ініціатив у системне рішення для екологічної трансформації міст України.

### **3.2 Бар'єри та виклики для реалізації проєктів**

Незважаючи на очевидні переваги зелених дахів і вертикального озеленення — зменшення рівня забруднення повітря, покращення мікроклімату, підвищення енергоефективності будівель — в Україні їх впровадження натрапляє на низку істотних бар'єрів. Ці труднощі мають як економічний, технічний, так і соціально-інституційний характер. Для успішної

адаптації зелених технологій необхідно всебічно проаналізувати наявні перешкоди та сформувані ефективні механізми їх подолання.

Однією з основних перешкод для впровадження зелених дахів та вертикального озеленення в Україні є висока вартість їх встановлення. За даними компанії EuroRoofing, вартість встановлення екстенсивного зеленого даху становить від 100 до 250 євро за квадратний метр, залежно від складності системи та обраних матеріалів. Ці витрати включають проектування, гідроізоляцію, дренаж, субстрат, рослини та систему зрошення [38].

У країнах Європейського Союзу частина цих витрат компенсується за рахунок державних субсидій, податкових пільг або грантових програм. Наприклад, у Празі було введено обов'язкову норму щодо встановлення зелених дахів на нових будівлях з ухилом даху менше 20 градусів [27]. В Україні ж подібні механізми підтримки лише починають формуватися, що знижує мотивацію інвесторів та забудовників впроваджувати такі рішення.

Більшість будівель в українських містах були зведені в радянський період і не розраховані на додаткове навантаження, яке створює зелений дах. За даними EuroRoofing, вага екстенсивної системи в насиченому водою стані становить 165–180 кг/м<sup>2</sup>, а інтенсивної — до 665 кг/м<sup>2</sup> [38]. Це вимагає проведення додаткових розрахунків та, можливо, підсилення конструкцій перед встановленням зеленого даху.

Ще одним важливим технічним бар'єром є кліматична різноманітність території України — від посушливих степових регіонів до вологого клімату західних областей. Це створює додаткові труднощі для уніфікації проектних рішень. Наприклад, системи озеленення, які успішно працюють у Німеччині чи Чехії, не завжди є придатними для умов Харкова або Херсона без адаптації до спеки, суховіїв чи зимових температурних коливань. Через відсутність адаптованих до регіональних умов технологій зростає ризик пошкодження покрівель або загибелі рослин.

Крім того, в Україні спостерігається нестача фахівців, які мають досвід у проектуванні та обслуговуванні зелених дахів і вертикального озеленення.



Адже на освітньому рівні тематика зелених технологій представлена досить фрагментарно. Навіть у профільних вищих навчальних закладах, які готують архітекторів, інженерів-будівельників або фахівців з ландшафтного дизайну, відчутно бракує спеціалізованих навчальних дисциплін, присвячених системному підходу до проектування зелених дахів, вертикального озеленення та інших видів екологічної архітектури. Як правило, ці питання розглядаються поверхнево в рамках загальних курсів з екології, ландшафтного планування або енергоефективного будівництва, без детального аналізу конструктивних рішень, вибору рослин, систем поливу чи аналізу кліматичних особливостей регіонів України.

У порівнянні з європейськими університетами, де діють окремі магістерські програми з «зеленого будівництва» (наприклад, Green Infrastructure або Sustainable Urban Design), в українських навчальних планах бракує інтеграції таких міждисциплінарних курсів. Зокрема, майбутні спеціалісти майже не знайомі з сучасними системами гідроізоляції та дренажу, агротехнічними вимогами до субстратів, або ж нормами навантаження на дах при встановленні озеленених систем.

Крім того, у навчальному процесі переважає теоретична складова без належної практики. Студенти рідко отримують можливість взяти участь у реальних проєктах або практичних тренінгах із зеленого озеленення. Відсутність прикладної компоненти призводить до того, що навіть випускники з профільною освітою не мають достатньої кваліфікації для самостійного проектування або супроводу подібних ініціатив.

Ситуацію ускладнює і те, що науково-методична база залишається застарілою. Більшість підручників та методичних матеріалів, які використовуються у ВНЗ, не включають сучасні технології озеленення будівель і не враховують новітні європейські стандарти. Відповідно, випускники часто стикаються з реальністю, в якій доводиться самостійно шукати знання й досвід вже після отримання диплому.

Таким чином, для сталого розвитку галузі потрібне реформування освітніх програм у профільних вишах. Варто запровадити курси з біоархітектури, зелених дахів, екологічного урбанізму, а також розширити співпрацю між університетами, муніципалітетами та бізнесом — наприклад, через стажування на екопроектах, польові дослідження, хакатони або міські лабораторії.

Крім того, в Україні майже відсутнє локальне виробництво спеціалізованих компонентів для зелених дахів і вертикального озеленення — таких як геотекстиль, водоутримуючі мати, легкі субстрати або автоматизовані зрошувальні системи. Це призводить до залежності від імпорту, що ускладнює логістику, підвищує вартість проєктів і зменшує оперативність реалізації. В умовах коливань валютного курсу або обмежень імпорту це може зірвати або заморозити впровадження навіть підготовлених ініціатив.

На законодавчому рівні в Україні теж відсутні чіткі регламенти та стандарти, що стосуються зелених дахів та вертикального озеленення. Хоча в 2024 році були прийняті законодавчі ініціативи щодо покращення екологічного законодавства, вони переважно стосуються відновлюваної енергетики та не охоплюють питання зеленого будівництва .

Відсутність чітких нормативів ускладнює процес проєктування та погодження таких об'єктів, а також створює правову невизначеність для забудовників та інвесторів.

Рівень обізнаності населення щодо переваг зелених дахів та вертикального озеленення залишається низьким. Багато хто сприймає їх як декоративний елемент або елітну забаганку, не усвідомлюючи їх екологічну та енергозберігаючу функцію.

На муніципальному рівні відсутня системна політика щодо стимулювання зеленого будівництва. Більшість ініціатив реалізуються точково, за підтримки міжнародних організацій або місцевих активістів. Наприклад, у Києві було впроваджено вертикальне озеленення на деяких

будівлях, але ці проєкти мають обмежений масштаб та не є частиною загальної стратегії міста.

Також в Україні практично не ведеться системний збір та аналіз даних щодо ефективності впроваджених рішень зеленого будівництва. Відсутність відкритої статистики щодо економії енергії, підвищення вартості нерухомості, зниження температури в міському середовищі тощо, ускладнює обґрунтування таких проєктів для інвесторів та громад. Як наслідок, будь-який новий проєкт змушений проходити повний цикл випробувань «з нуля», без можливості використання вже наявного досвіду або типових рішень.

Відсутність координації між державними органами, науковими установами та бізнесом ускладнює обмін досвідом та впровадження інноваційних рішень у сфері зеленого будівництва.

Отже, впровадження зелених дахів та вертикального озеленення в Україні стикається з численними бар'єрами, що охоплюють економічні, технічні, освітні та інституційні аспекти. Висока вартість реалізації, відсутність чітких нормативів, нестача фахівців і наукових досліджень, а також слабка державна підтримка значно уповільнюють розвиток цієї сфери. Для подолання цих викликів необхідна комплексна стратегія, яка включатиме реформу освіти, розвиток нормативно-правової бази, стимулювання локального виробництва та посилення міжсекторної співпраці.

### **3.3. Рекомендації для адаптації європейського досвіду в Україні**

Впровадження зелених дахів та вертикального озеленення в Україні потребує комплексного підходу, який враховує успішні практики європейських країн. Нижче наведено ключові рекомендації, які можуть сприяти ефективній адаптації європейського досвіду в українських умовах.

У багатьох європейських містах впроваджено програми фінансової підтримки для стимулювання встановлення зелених дахів. Наприклад, у Гамбурзі діє програма субсидій, яка покриває до 60% витрат на встановлення

зелених дахів, включаючи матеріали та роботу. Ця програма є частиною стратегії міста щодо управління дощовими водами та зменшення ефекту міського теплового острова [40].

В Україні доцільно розробити подібні механізми фінансової підтримки, які можуть включати: ссубсидії на встановлення зелених дахів для приватних та громадських будівель; податкові пільги для власників будівель, які впроваджують зелені технології; грантові програми для муніципалітетів та громадських організацій, що сприяють розвитку зеленої інфраструктури.

Такі заходи можуть стимулювати інвесторів та забудовників до впровадження екологічно сталих рішень.

Відсутність чітких нормативів та стандартів щодо зелених дахів ускладнює їх впровадження в Україні. У європейських країнах, таких як Швейцарія, діють обов'язкові вимоги до встановлення зелених дахів на нових та реконструйованих будівлях з певним ухилом даху [41].

Україні слід розробити та впровадити:

- будівельні норми та стандарти, що регламентують проектування та встановлення зелених дахів;
- вимоги до використання місцевих рослин та матеріалів для забезпечення біорізноманіття;
- керівництва для архітекторів та інженерів щодо інтеграції зелених технологій у проекти.

Це створить правову основу для розвитку зеленої інфраструктури та забезпечить її відповідність екологічним стандартам.

Важливим аспектом є також розробка системи моніторингу та оцінки ефективності зелених дахів. Це дозволить відстежувати їхній вплив на мікроклімат, управління водними ресурсами та біорізноманіття. Збір та аналіз таких даних дасть змогу вдосконалювати чинні програми та розробляти нові, більш ефективні рішення, спираючись на фактичні показники.

Освіта відіграє ключову роль у підготовці фахівців, здатних впроваджувати зелені технології. У європейських університетах діють

програми, спрямовані на вивчення та дослідження зелених дахів. Наприклад, проєкт GREENO2 об'єднує вищі навчальні заклади з різних країн для розвитку досліджень у цій сфері [42].

В Україні доцільно було б впровадити спеціалізовані курси з зеленого будівництва в архітектурних та будівельних вишах. Крім того, варто було б організовувати різноманітні практичні тренінги та стажування на об'єктах з зеленою інфраструктурою. Не варто також забувати про важливість підтримки наукових досліджень та проєктів, спрямованих на розвиток зелених технологій. Усе це безумовно сприятиме формуванню кваліфікованих кадрів та поширенню знань про переваги зеленої інфраструктури.

Окрім підготовки фахівців, необхідно активно розвивати інноваційні рішення та технології для зелених дахів, адаптовані до українських умов. Це включає розробку нових субстратів, систем поливу та дренажу, а також вибір рослин, стійких до місцевого клімату. Підтримка вітчизняних розробок та впровадження їх у промислове виробництво знизить вартість таких проєктів і зробить їх більш доступними для широкого впровадження.

Інформування населення про переваги зелених дахів є важливим аспектом їх впровадження. У багатьох європейських містах проводяться інформаційні кампанії та освітні заходи для залучення громадськості до екологічних ініціатив.

З цією метою в Україні рекомендується:

- організовувати публічні лекції, семінари та виставки, присвячені зеленим технологіям;
- створювати демонстраційні об'єкти з зеленими дахами для ознайомлення громадськості;
- залучати громадські організації та активістів до реалізації проєктів зеленої інфраструктури.

Адже усе це сприятиме формуванню екологічної свідомості та підтримці з боку населення.

Нарешті, ефективна адаптація європейського досвіду неможлива без розвитку державно-приватного партнерства. Залучення бізнесу до фінансування та реалізації проєктів із зеленими дахами, а також створення сприятливих умов для інвестицій у зелену інфраструктуру, дозволить масштабувати ініціативи та прискорити їхнє впровадження. Взаємодія між державними органами, приватними компаніями та громадськими організаціями створить міцний фундамент для сталого розвитку міст.

Варто також посилити співпрацю з європейськими країнами, що дозволить Україні перейняти найкращі практики та адаптувати їх до місцевих умов. Участь у міжнародних проєктах та програмах, таких як Interreg та LIFE, може забезпечити фінансову та технічну підтримку для розвитку зеленої інфраструктури [49]. Для цього рекомендується брати участь у міжнародних конференціях та форумах з питань зеленої інфраструктури та налагоджувати партнерські відносини з містами, які мають успішний досвід впровадження зелених дахів. Крім того, потрібно намагатися залучати міжнародних експертів для консультування та навчання українських фахівців. Це сприятиме швидшому впровадженню ефективних рішень та розвитку національної експертизи у сфері зеленої інфраструктури.

Як бачимо, адаптація європейського досвіду впровадження зелених дахів в Україні вимагає комплексного підходу, що включає фінансові стимули, нормативно-правову базу, освітні програми, підвищення обізнаності населення та міжнародну співпрацю. Застосування цих рекомендацій сприятиме розвитку сталого міського середовища, покращенню якості життя та досягненню екологічних цілей країни.

### Висновок до розділу 3

У третьому розділі було проаналізовано потенціал, бар'єри та перспективи впровадження зелених дахів і вертикального озеленення в Україні, а також сформульовано практичні рекомендації з адаптації європейського досвіду до національного контексту.

Результати дослідження свідчать, що в багатьох українських містах існують сприятливі передумови для розвитку зеленої інфраструктури — зокрема, наявність відповідних кліматичних умов, високий рівень урбанізації та зростаюча потреба у вирішенні екологічних проблем, зокрема забруднення повітря. Водночас були виявлені значні бар'єри, що ускладнюють реалізацію відповідних проєктів: висока вартість впровадження, технічні складнощі через застарілий житловий фонд, нестача кваліфікованих кадрів, фрагментарність освітніх програм, відсутність законодавчих норм і обмежена підтримка з боку держави.

На основі аналізу практик Європейського Союзу запропоновано комплекс рекомендацій, які можуть стати основою для інтеграції зелених дахів та вертикального озеленення в українське містобудування. Зокрема, рекомендовано: впровадження державних і муніципальних субсидій, розробку технічних регламентів і стандартів, реформування освітніх програм у профільних вишах, створення демонстраційних пілотних проєктів, стимулювання участі громадськості та розвиток міжнародної співпраці.

Отже, впровадження зелених дахів і вертикального озеленення в Україні є доцільним і перспективним напрямом, який може забезпечити покращення якості повітря, зниження температури в містах, підвищення енергоефективності будівель і формування комфортного середовища для життя. Успішна реалізація цих ініціатив потребує координації між державою, муніципалітетами, науковими установами, бізнесом і громадськістю.

## ВИСНОВКИ

У межах виконання дипломної роботи нами було здійснено комплексне дослідження впливу зелених дахів та вертикального озеленення на якість повітря в урбанізованому середовищі. Особливу увагу приділено аналізу досвіду країн Європейського Союзу з впровадження подібних екологічних технологій.

Ми проаналізували наукові джерела та нормативні документи, що стосуються зеленої інфраструктури в міському середовищі.

1. Встановлено, що зелені дахи та вертикальне озеленення сприяють:

- зменшенню рівня забруднення повітря;
- покращенню мікроклімату;
- зниженню енергоспоживання будівель;
- підвищенню екологічної рівноваги.

Ми класифікували зелені дахи на:

- екстенсивні – легкі, економічні в обслуговуванні, з мінімальним шаром субстрату;
- інтенсивні – з глибшим субстратом, різноманітною рослинністю та можливістю створення рекреаційних просторів.

Проаналізовано типи вертикального озеленення — від простих опор до складних фітостін із системами автоматичного поливу та освітлення.

2. Ми дослідили здатність рослин до фільтрації атмосферного повітря.

Встановлено, що рослини абсорбують:

- діоксид вуглецю;
- оксиди азоту й сірки;
- леткі органічні сполуки;
- тверді частинки (PM2.5, PM10).



Підтверджено, що рослинність виконує роль природного біофільтра, покращуючи фізичний та психологічний стан мешканців і підвищуючи якість міського простору.

3. Ми проаналізували політики та приклади впровадження зелених технологій у містах ЄС (Париж, Копенгаген, Гамбург, Роттердам, Мілан, Відень).

Виявлено, що успішність інтеграції зелених рішень залежить від:

- наявності чіткої нормативно-правової бази;
- політичної волі;
- фінансових механізмів підтримки;
- наукового супроводу;
- рівня екологічної свідомості населення.

Оцінено дієвість директив, стандартів і рекомендацій ЄС, спрямованих на стимулювання енергоефективності та адаптацію до кліматичних змін.

4. Також ми провели зіставлення європейських практик із реаліями українських міст.

Встановлено наявність потенціалу для впровадження зелених дахів і вертикального озеленення, зважаючи на:

- подібність кліматичних умов;
- високий рівень забруднення повітря;
- потребу в екологічній модернізації інфраструктури.

Ідентифіковано бар'єри:

- відсутність системної державної політики;
- фрагментарність законодавчого регулювання;
- низький рівень обізнаності учасників ринку;
- дефіцит фінансових ресурсів;
- нестача адаптованих інженерних рішень і фахівців.

5. Ми розробили низку рекомендацій для впровадження зеленої інфраструктури:

- реалізація пілотних проєктів у містах із критичним рівнем забруднення;
- створення муніципальних програм субсидування екологічного озеленення;
- спрощення дозвільних процедур;
- адаптація будівельних норм до сучасних викликів;
- проведення інформаційно-роз'яснювальної кампанії.

Пропонується активна участь громадськості, науковців, архітекторів та екологів у формуванні локальних стратегій розвитку зеленої інфраструктури.

Підсумовуючи, ми підтвердили, що зелені дахи та вертикальне озеленення є ефективним інструментом:

- покращення якості повітря;
- підвищення енергоефективності будівель;
- зниження рівня викидів парникових газів;
- адаптації міст до кліматичних змін;
- збереження біорізноманіття.

Результати дослідження можуть бути використані:

- як теоретична основа для подальших наукових робіт;
- як практичні рекомендації для органів місцевого самоврядування, архітекторів, урбаністів та екологів.

Ми дійшли висновку, що за умови системного підходу Україна має реальні передумови для інтеграції в європейський простір сталого розвитку через впровадження зеленої інфраструктури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белашов О. В. Зелене будівництво: навчальний посібник. Київ: Ліра-К, 2020. 312 с. URL: [https://library.nlu.edu.ua/POLN\\_TEXT/MONOGRAFII\\_2020/GreenBuilding\\_Bielashov.pdf](https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/MONOGRAFII_2020/GreenBuilding_Bielashov.pdf) (дата звернення: 20.05.2025).
2. Вертикальне озеленення будівель: що потрібно знати. *Екодія*. URL: [https://ecoaction.org.ua/vertikalne-ozelenennia.html?utm\\_source](https://ecoaction.org.ua/vertikalne-ozelenennia.html?utm_source) (дата звернення: 02.06.2025).
3. Войко Н. Ю., Добровольська О. Ю. Роль зелених насаджень в організації комфортного міського середовища. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Вип.47 2017. С. 231-237.
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
5. Ермішина І. І. Урбаністика і сталий розвиток: навч. посіб. Київ: НАУ, 2022. 208 с.
6. Зелена модернізація будівель: рекомендації для громад. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Київ, 2020. URL: <https://sae.gov.ua> (дата звернення: 20.05.2025).
7. Кабінет Міністрів України. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. — Київ, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-%D1%80> (дата звернення: 20.05.2025).
8. Київрада та КМДА долучились до ініціативи з вертикального озеленення. *Вечірній Київ*. URL: [https://vechirniy.kyiv.ua/news/70095/?utm\\_source](https://vechirniy.kyiv.ua/news/70095/?utm_source) (дата звернення: 02.06.2025).

9. Київська міська державна адміністрація. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року. URL: <https://kyivcity.gov.ua/strategiya> (дата звернення: 20.05.2025).
10. Коваленко І. В. Вертикальне озеленення будівель: сучасні рішення. Харків: ХНУБА, 2021. 144 с.
11. Лишайники. *Фармацевтична енциклопедія*. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2060/lishajniki> (дата звернення: 01.06.2025).
12. Майстерня міста: у Львові створили «зелену стіну» та розвіяли міфи про вертикальне озеленення. *Львівська міська рада*. URL: <https://city-adm.lviv.ua/news/society/public-sector%20/303237-maisternia-mista-u-lvovi-stvoryly-zelenu-stinu-ta-rozviialy-mify-pro-vertykalne-ozelenennia> (дата звернення: 02.06.2025).
13. Міненерго України. Національний план дій з енергоефективності до 2030 року. URL: <https://mev.gov.ua> (дата звернення: 20.05.2025).
14. Міністерство розвитку громад та територій України. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. URL: <https://www.minregion.gov.ua> (дата звернення: 20.05.2025).
15. Мірошниченко А. І. Архітектурна екологія. Дніпро: Пороги, 2016. 224 с.
16. Місто живих стін: у Дарницькому районі пропагують вертикальне озеленення будинків. *Вечірній Київ*. URL: [https://vechirniy.kyiv.ua/news/82921/?utm\\_source](https://vechirniy.kyiv.ua/news/82921/?utm_source) (дата звернення: 02.06.2025).
17. Міщенко В. О., Карпенко О. В. Урбоекологія: навч. посіб. Київ: Либідь, 2019. 304 с.
18. Парникові гази. *Gastech*. URL: <https://gastech.com.ua/UA/parnykovi-gazy/> (дата звернення: 01.06.2025).
19. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко, Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 3. С. 67–74.

20. Струтинський В. М., Мельничук М. Г. Урбанізація і навколишнє середовище. Львів: ЛНУ, 2017.
21. Супрун Ю. Килим з листя: у Дніпрі рослина перетворила фасад багатоповерхівки у витвір мистецтва. *Наше місто*. URL: <https://nashemisto.dp.ua/2024/10/27/kylym-z-lystia-u-dnipri-roslyna-peretvoryla-fasad-bahatopoverkhivky-u-vytvir-mystetstva/> (дата звернення: 02.06.2025).
22. Таран С. А. Екологічне місто: концепції сталого розвитку. Харків: ВНТУ, 2020. 192 с.
23. У Дарницькому районі столиці розпочали вертикальне озеленення фасадів будівель. *Київвлада*. URL: [https://kyivvlada.com.ua/news/u-darnitskomu-rajoni-stolitsi-rozpochali-vertikalne-ozelenennya-fasadiv-budivel/?utm\\_source](https://kyivvlada.com.ua/news/u-darnitskomu-rajoni-stolitsi-rozpochali-vertikalne-ozelenennya-fasadiv-budivel/?utm_source) (дата звернення: 02.06.2025).
24. Чумак В. В. Озеленення міських територій. Київ: Урожай, 2015. 280 с.
25. Шевчук В. Я. Екологічна безпека України. Київ: Центр екологічної освіти, 2018. 296 с.
26. Щорічна доповідь про стан довкілля. Державна екологічна інспекція України. 2023. URL: <https://dei.gov.ua> (дата звернення: 20.05.2025).
27. A green roof is a must! A new building code was introduced in Prague. *Pragmatika*. URL: <https://pragmatika.media/en/news/zelenij-dah-obov-jazkovij-u-prazi-zaprovadili-novu-budivelnu-normu> (дата звернення: 03.06.2025).
28. Air pollution and child health: Prescribing clean air. *WHO*. 2018. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health> (дата звернення: 20.05.2025).
29. Air quality in Europe 2022. *EEA*. URL: [https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution?utm\\_source](https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution?utm_source) (дата звернення: 01.06.2025).

30. Aksamija, A. Sustainable Facades: Design Methods for High-Performance Building Envelopes. Wiley, 2013. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Sustainable+Facades> (дата звернення: 01.05.2025).
31. An Eye on Methane: International Methane Emissions Observatory 2021 Report. UNEP. URL: [https://www.unep.org/resources/report/eye-methane-international-methane-emissions-observatory-2021-report?utm\\_source](https://www.unep.org/resources/report/eye-methane-international-methane-emissions-observatory-2021-report?utm_source) (дата звернення: 01.06.2025).
32. Berardi, U. Green roofs in sustainable landscape design. *Building and Environment*. 2015. № 83, pp. 31–40.
33. Biofiltro. *Akterlat*. URL: [https://alterlat.com/?page\\_id=769&lang=uk](https://alterlat.com/?page_id=769&lang=uk) (дата звернення: 01.06.2025).
34. Bioscrubbers for the biological removal of VOCs, odors, and ammonia. *Condorchem Enviro Solutions*. URL: [https://condorchem.com/en/bioscrubbers/?utm\\_source](https://condorchem.com/en/bioscrubbers/?utm_source) (дата звернення: 01.06.2025).
35. Brown R. D., Gillespie T. J. Microclimatic landscape design. *Designing the Spaces Between Buildings*. Wiley, 2016. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Microclimatic+Landscape+Design> (дата звернення: 20.05.2025).
36. CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions by: Hannah Ritchie, Pablo Rosado, and Max Roser
37. EPA (USA). Benefits of Green Roofs on Urban Heat Islands. 2021. URL: <https://www.epa.gov/heat-islands> (дата звернення: 20.05.2025).
38. Exploited Green Roofs Installation. *Euroroofing*. URL: [https://euroroofing.ua/en/green\\_roofs](https://euroroofing.ua/en/green_roofs) (дата звернення: 02.06.2025).
39. Green Infrastructure and Territorial Cohesion. Copenhagen. EEA. 2011.
40. Green roof subsidy programme – Hamburg. *Interlake*. URL: <https://interlace-hub.com/green-roof-subsidy-programme-hamburg> (дата звернення: 03.06.2025).
41. Green roofs deliver for biodiversity: how Basel put nature on top. *The Guardian*. URL:

- <https://www.theguardian.com/environment/2025/feb/28/green-roofs-deliver-for-biodiversity-how-basel-put-nature-on-top?utm> (дата звернення: 03.06.2025).
42. Green Roofs in higher education institutions as sustainable cEnters for research, participation, ENvironmental consciousness and O2 generation. *KHY*. URL: <https://international.knu.ua/en/green-roofs-in-higher-education-institutions-as-sustainable-centers-for-research-participation-environmental-consciousness-and-o2-generation/?utm> (дата звернення: 03.06.2025).
43. Huber M., et al. Assessing Urban Green Roof Policies across Europe. *Sustainability*. 2022.
44. Lovell S. T., Taylor J. R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure. *Landscape Ecology*. № 28 (8), 2013.
45. Oberndorfer E., et al. Green Roofs as Urban Ecosystems. *BioScience*. 2007. № 57 (10), pp. 823-833.
46. REACH Regulation. *European Commission*. URL: [https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation\\_e](https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_e) (дата звернення: 01.06.2025).
47. Renovation Wave Strategy. European Commission. Brussels. 2020. URL: [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en) (дата звернення: 20.05.2025).
48. Sörensen J. Urban Climate Adaptation through Green Infrastructure. *Sustainable Cities and Society*. 2022.
49. Subsidy for green roofs. *Nature Green*. URL: <https://naturegreenroof.com/subsidy/?utm> (дата звернення: 03.06.2025).
50. Susca T., Gaffin S.R., Dell’Osso G.R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*. 2011. № 159 (8-9), pp. 2119–2126.
51. Urban Green-Blue Grids. Netherlands, 2019. URL: <https://www.urbangreenbluegrids.com> (дата звернення: 20.05.2025).

52. Urban Greening Plans under the EU Biodiversity Strategy. *European Commission*. Brussels, 2021. URL: <https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/biodiversity-strategy-2030> (дата звернення: 20.05.2025).
53. URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions> (дата звернення: 20.05.2025).
54. WHO Ambient Air quality database. *WHO*. URL: [https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database?utm\\_source](https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database?utm_source) (дата звернення: 01.06.2025).
55. Wong, N.H., et al. Handbook of Green Building Design and Construction. Butterworth-Heinemann, 2012. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124079100> (дата звернення: 20.05.2025).
56. World Urbanization Prospects 2018. United Nations. New York: UN Department of Economic and Social Affairs. URL: <https://population.un.org/wup> (дата звернення: 20.05.2025).
57. Zinzi M., Agnoli S. Cool and green roofs: An energy and comfort comparison. *Energy and Buildings*. № 41 (3), 2009. pp. 255–265.
58. Екологічна безпека в умовах сталого розвитку: кол. монографія / Х. С. Мітюшкіна, О. М. Пастернак, В. В. Іванова, І. В. Петрик та ін.; за заг. ред. Х. С. Мітюшкіної. – Київ : МДУ, 2024. – 206 с.
59. Environmental security in the national security system: Ukraine [3.1] / К. Mitiushkina, O. Pasternak, V. Ivanova, I. Petryk // Transformations, challenges and security: collective monograph / ed. Ž. Simanavičienė ; Mykolas Romeris University. – Vilnius, 2024. – С. 184–210.